

Arnold Wiemers

*Strategien für den Aufbau von Multilayern
unter dem Aspekt der Zuverlässigkeit*



Revisionsstand 04.07.2010 / Arnold Wiemers

Für das Treffen des BFE am 06.07.2010 bei Multek in Böblingen

1



? Zuverlässigkeit

2

Wir beginnen am Ende...

Fazit



Es ist heute ausgeschlossen, ohne die Dokumentation eines Multilayer-Lagenaufbaus eine elektronische Baugruppe *zuverlässig* produzieren zu können.

Das ist für Sie sicher nichts Neues. Hoffe ich.

Die Frage stellt sich eher, was ist "Dokumentation", was beinhaltet eine notwendige Dokumentation, wann findet das Dokumentieren statt und wer dokumentiert was, und auf welche Art tut er das?

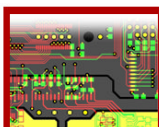
3

Der Ablauf

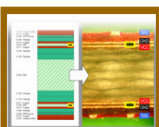
- ◆ Am Anfang steht das *Konzept* für die Konstruktion einer elektronischen Baugruppe / eines Gerätes
- ◆ Der erstellte *Schaltplan* und die erforderliche Materialliste sind die Vorlagen für das CAD-Layout
- ◆ Der *CAD-Postprozeß* liefert die Daten für die Fertigungsvorbereitung durch die CAM des Leiterplattenherstellers
- ◆ Die *Leiterplatte* schafft die Voraussetzung für die Verknüpfung der Netze und dient der Baugruppenproduktion
- ◆ Die *Baugruppenfertigung* montiert die mechanischen und elektronischen Komponenten auf der Leiterplatte



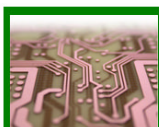
Schaltplan



CAD



CAM



Leiterplatte



Baugruppe

4

Technologische Aspekte

Hintergründe

Viele Aufgabenstellungen bei der Konstruktion elektronischer Baugruppen können im ersten Anlauf nicht gelöst werden, weil die Nebenbedingungen nicht erkannt werden. Dafür zeichnet die Diversifikation verantwortlich. Die Kombinationsmöglichkeit unterschiedlichster Qualitäten hat in den letzten Jahren zu einer dramatischen Zunahme an Fallunterscheidungen geführt.

Hieß es beispielsweise früher:

"Welchen minimalen Abstand können zwei Leiterbahnen haben?";

so heißt es heute :

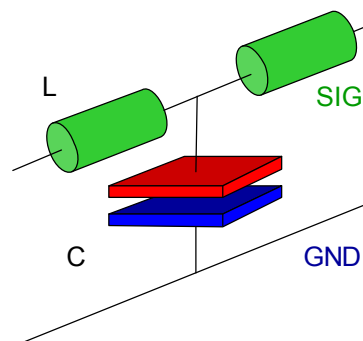
"Welchen minimalen Abstand können zwei Leiterbahnen mit 100µm Breite haben, wenn die Basiskupferdicke 17µm beträgt, und welcher Mindestabstand muß dann zur Tangente des nächstgelegenen Vias eingehalten werden, und welche Reststringbreite ist dann noch minimal zulässig?"

5

Technologische Aspekte

Hintergründe

Der Querschnitt einer Leiterbahn definiert über die Leitungslänge das **Gewicht**, den **elektrischen Widerstand**, die **Signalübertragungsgeschwindigkeit**, die **Kapazität**, die **Induktivität** und die **Entwärmung**.



Das elektromagnetische Feld zwischen den Leiterbahnen definiert über die Einkopplung die **Impedanz**, die **Signalintegrität** und das **EMV-Verhalten**. Der räumliche Abstand zwischen den Leiterbahnen definiert das **Übersprechen**, die **Kriechströme** und die **Spannungsfestigkeit**.

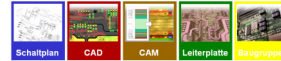
Diese Effekte wirken direkt auf die Funktion einer Baugruppe.



Die qualitativen Konsequenzen für die physikalischen Eigenschaften einer Baugruppenkonstruktion müssen präzise vorausgesagt werden können.

6

Was ist Zuverlässigkeit



Das gibt uns erste Ansatzpunkte. Offensichtlich ist die möglichst langfristig gleichbleibende *Funktion* eines elektronischen Gerätes ein Maß für dessen Zuverlässigkeit.

Eine Voraussetzung für das Erreichen dieser Zuverlässigkeit ist ebenso offensichtlich die Kenntnis von den physikalischen Eigenschaften, die seitens der Teilkomponente "Leiterplatte" erfüllt werden müssen.

Wenn sich das physikalische Umfeld nicht ändert, und das ist auf diesem Planeten nicht zu erwarten, dann bleibt eine einmal richtig eingestellte physikalische Funktion langfristig gleichbleibend erhalten.

Nun bedient "Zuverlässigkeit" nicht nur die Funktion sondern auch die *Zukunftserwartung*. Der Konstrukteur einer Baugruppe möchte vorher wissen, ob das spätere Gerät zuverlässig funktionieren wird. Wenn man über empirisches Wissen verfügt, noch besser sind natürlich geeignete mathematische Rechenmodelle, dann sind diese Auskünfte möglich.

► Die physikalische Kompetenz ist somit ein Maß für die wahrscheinliche zu erwartende Zuverlässigkeit einer Baugruppe.

7

Was ist Zuverlässigkeit



Beispiel Bei vielen *High-Speed-Baugruppen* wird das Routing der Leiterbahn-Vektoren um einen Wert zwischen 7% bis 11% gegen die vertikale respektive horizontale Ausrichtung gedreht. Hintergrund für diese Vorgehensweise ist die *vermutete* mangelnde Homogenität des zum Einsatz kommenden Basismaterials.

Mit dieser Vorgehensweise wird jedoch lediglich sichergestellt, daß die Leiterbahnführung für alle Netze *gleich schlechte* Übertragungseigenschaften definiert. Das Ziel muß aber sein, *optimierte* und *gleich hochwertige* Betriebsbedingungen für High-Speed-Baugruppen zu schaffen.

Diese Strategie ist unkontrolliert und ohne Regelkreis. Technologische Veränderungen der Materialerstellung werden nicht berücksichtigt.

Es wäre sicher sinnvoller, die Einflüsse der Leiterplattentechnologie zu analysieren und zu prüfen, ob die Auslöser für die o.a. Vorgehensweise überhaupt noch existieren.

► Die Zuverlässigkeit von Baugruppen ist abhängig vom Wissen über Materialien und Fertigungsverfahren.

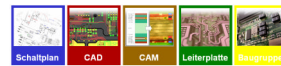
8



Basismaterialeigenschaften

9

Zuverlässigkeit + Basismaterialvarianz

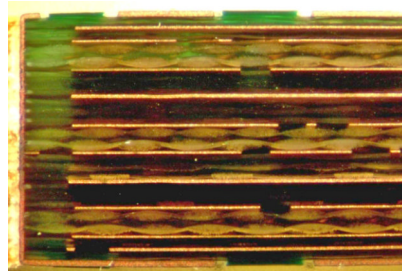


Mit Bezug auf das vorgenannte Beispiel betrachten wir nachfolgend den Einfluß von Basismaterialien auf die Funktion einer Baugruppe.

Von speziellem Interesse sollen die Prepregs sein. Die Bewertung der mechanischen Eigenschaften wird zeigen, daß bereits die Dicke eines Prepregs einen Einfluß auf das physikalische Verhalten eines Multilayers hat. Betroffen ist die Signalintegrität, da sich durch die Dickenänderung die kapazitiven Eigenschaften auf den benachbarten Lagen ändern.

Das wirkt sich direkt auf die resultierenden Impedanzwerte der Signalleiterbahnen aus. Ob die Dickenänderung zu einer vernachlässigbaren oder einer schwerwiegenden Abweichung der Impedanzwerte führt, hängt letztlich von der Geometrie der gerouteten Leiterbilder ab und von der Multilayer-Konstruktion.

Schliff durch einen 12-Lagen-Multilayer.
Lamine & Prepregs, Signal & Power
wechseln sich im Lagenaufbau ab.

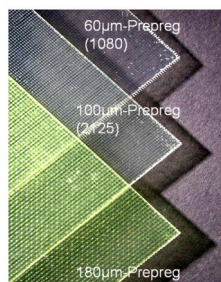


10

Basismaterialeigenschaften

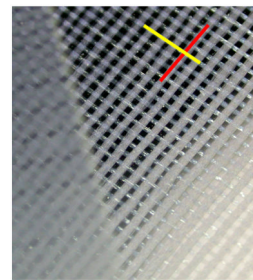
Die physikalischen Eigenschaften von Leiterplatten werden weitgehend von den Eigenschaften der verbauten Basismaterialien bestimmt. (Fast) alle elektronischen Baugruppen basieren auf dem Basismaterial FR4. Durch die Integration der Geometrien, die durch das CAD-System konstruiert werden, ergibt sich die individuelle physikalische Funktion eines Multilayers.

► Der Aufbau eines Multilayers mit Laminaten und Prepregs legt seine physikalischen Eigenschaften fest.



Unterschiedliche Prepreg-Dicken

Glasgewebe als Basis für FR4-Laminat



11

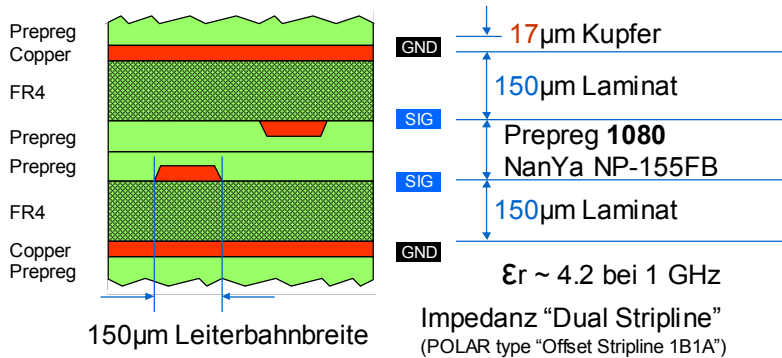
Basismaterialeigenschaften / Prepregs

NanYa Prepreg NP-155FB			
Glass fabric	Nominal thickness	Resin content	Pressed thickness
106 SR	50 µm	70 ± 3 %	48 ± 8 µm
1080 SR	60 µm	64 ± 3 %	64 ± 8 µm
1080 MR	60 µm	67 ± 3 %	71 ± 8 µm
1080 HR	60 µm	70 ± 3 %	76 ± 8 µm
2116 SR	115 µm	52 ± 3 %	105 ± 10 µm
2116 MR	115 µm	56 ± 3 %	118 ± 10 µm
2116 HR	115 µm	60 ± 3 %	132 ± 10 µm
7628 SR	180 µm	45 ± 3 %	181 ± 10 µm
7628 MR	180 µm	49 ± 3 %	191 ± 10 µm
7628 HR	180 µm	52 ± 3 %	199 ± 10 µm

Regel In Abhängigkeit vom Harzgehalt schwankt die effektiv verpresste Dicke eines Prepregs. (Reference : Technolam / NanYa)

12

Basismaterialeigenschaften / Einfluß



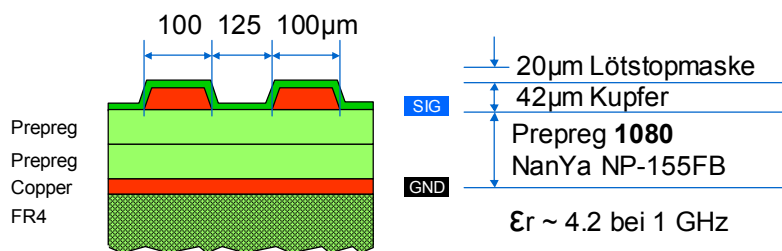
Impedanztoleranz mit Bezug auf den Harzgehalt des Prepregs

SR - resin	$64-8 = 56 \cdot 2 = 112$	$+150-17 = 245$	49.6 Ohm
SR + resin	$64+8 = 72 \cdot 2 = 144$	$+150-17 = 277$	50.8 Ohm
MR - resin	$71-8 = 63 \cdot 2 = 126$	$+150-17 = 259$	50.1 Ohm
MR + resin	$71+8 = 79 \cdot 2 = 158$	$+150-17 = 291$	51.2 Ohm
HR - resin	$76-8 = 68 \cdot 2 = 136$	$+150-17 = 269$	50.5 Ohm
HR + resin	$76+8 = 84 \cdot 2 = 168$	$+150-17 = 301$	51.5 Ohm

13

Basismaterialeigenschaften / Einfluß

Impedanz "Differential Coated Microstrip"
(POLAR type "Edge-Coupled Coated Microstrip 1B")



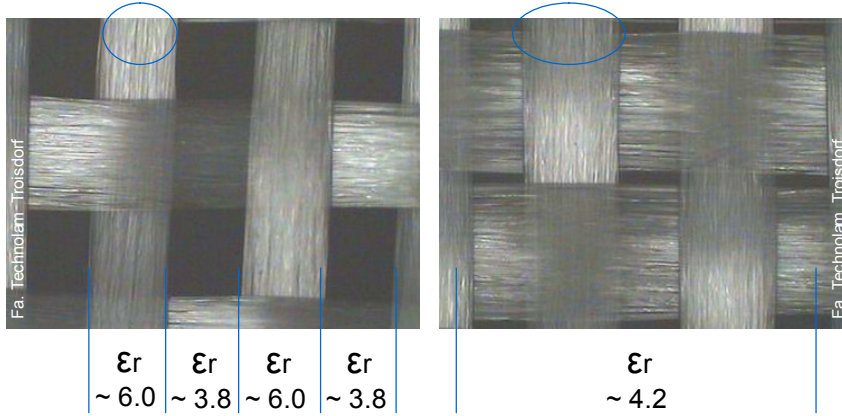
Impedanztoleranz mit Bezug auf den Harzgehalt

SR - resin	$64-8 = 56 \cdot 2 = 112$	97.2 Ohm
SR + resin	$64+8 = 72 \cdot 2 = 144$	102.7 Ohm
MR - resin	$71-8 = 63 \cdot 2 = 126$	99.9 Ohm
MR + resin	$71+8 = 79 \cdot 2 = 158$	104.4 Ohm
HR - resin	$76-8 = 68 \cdot 2 = 136$	101.6 Ohm
HR + resin	$76+8 = 84 \cdot 2 = 168$	105.4 Ohm

14

Basismaterialeigenschaften / Glasgewebe

Die Glasgewebefäden haben unterschiedliche Ausprägung. Die Fadenbreite (hier: Prepreg-Typ "1080") variiert und hat einen Einfluß auf die Gleichmäßigkeit des dielektrischen Umfeldes einer Leiterbahn.



Regel für zirka 1 GHz

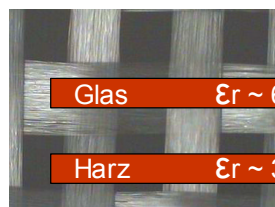
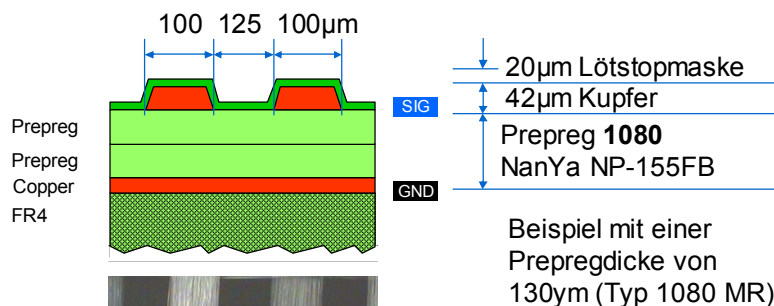
Die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Signals hängt (auch) von der Platzierung der Leiterbahn auf dem Basismaterial ab.

15

Basismaterialeigenschaften / Glasgewebe

Impedanz "Differential Coated Microstrip"

(POLAR type "Edge-Coupled Coated Microstrip 1B")



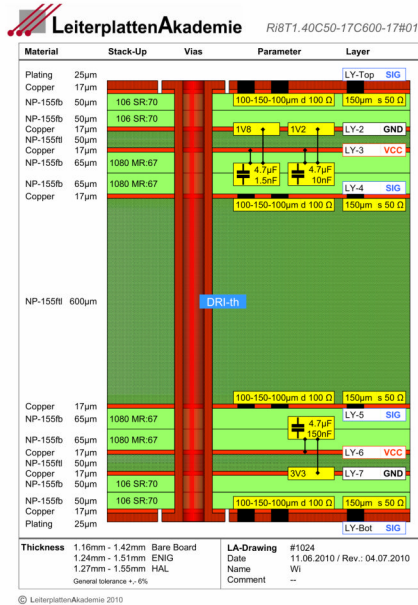
89.5 Ohm

103.7 Ohm

Der Impedanzwert kann für Leiterbahnen sehr unterschiedlich sein, wenn das dielektrische Umfeld des Basismaterials nicht homogen ist.

16

Die Dokumentation von Multilayern / Lagenaufbau



Die Produktion von hochwertigen Multilayern, insbesondere bei Anwendungen im High-Speed-Bereich, darf nicht der Willkür überlassen werden.

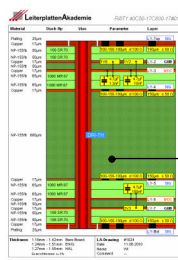
Die Materialauswahl, der Lagenaufbau, die Kontaktierungsstrategie und die physikalischen Anforderungen an die Leiterplatte müssen verbindlich, rückverfolgbar und wiederholbar dokumentiert sein.

Die Multilayer-Dokumentation muß ein verbindlicher technischer und juristischer Bestandteil der Bestellung von Leiterplatten (...und Baugruppen sein).

19

Die Dokumentation von Multilayern / Materialeigenschaften

Material per PCB	#	Glass	Resin	Pressed Thickness	Company
Prepreg NP-155fb	4	106	SR:70%	48µm +/- 8µm	NanYa
Prepreg NP-155fb	4	1080	MR:67%	71µm +/- 8µm	NanYa
Core NP-155ftl	2	n.a.	n.a.	50µm	NanYa
Core NP-155ftl	1	n.a.	n.a.	710µm	NanYa



Main Material Properties

IPC-Specification sheet	IPC-4101C / 124
Epoxy-System	FR4
Curing agent	phenolic
Flame retardend mech.	RoHS compliant Bromine
UL-zertificate	UL94 V-0
Dielectric value	4.1@1GHz
Loss tangent	0.014@1GHz
Tg	155° by DSC / TMA
CTE x/y/z	before Tg : 18/18/60 after Tg : 18/18/300
Electrical strength	40 kV/mm minimum
Adhesive strength	0.78 n/mm minimum for copper foils >17µm

Technolam Data sheet /NanYa, May 2010

Die klassische Beschreibung eines Multilayers reicht nicht mehr aus. Die Materialeigenschaften müssen im Detail zuverlässig belegt sein. Heute ist die präzise Nomenklatur der Materialien unverzichtbar...

20

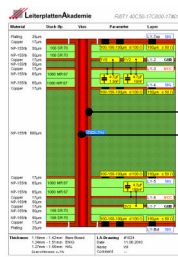
Die Dokumentation von Multilayern / Materialeigenschaften

► ...Die technischen Eigenschaften der Basismaterialien müssen zweifelsfrei in der zugehörigen Dokumentation aufgelistet sein. Referenzen zu Standard-Richtlinien sind notwendig (z.B: DIN EN, IPC). Die Angabe elementarer physikalischer Eigenschaften ist notwendig.

- Beispiel UL**
Wenn "UL" eine Qualität der Leiterplatte sein soll, dann muß die Zertifizierbarkeit bekannt sein.
- Beispiel Loss Tangent und Dielectric Value**
Wenn die Signallaufzeiten und die Übertragungsqualität *vorab* simuliert werden sollen, dann müssen diese Parameter vor Beginn der Layoutarbeit bereits bekannt und fixiert sein.
- Beispiel Tg, Td und CTE(z)**
Wenn das Reflowprofil gezielt definiert werden soll, dann müssen die thermische Belastbarkeit und die Z-Achsen-Ausdehnung der Leiterplatten zuverlässig eingeschätzt werden können. Es sind *Leitwerte* notwendig.

21

Die Dokumentation von Multilayern / CAD-Spezifikation



PCB & CAD-Layout Specification

PCB Class	Rigid
Cores mounted	Inside
Copper Thickness	25µm for throughhole barrels
Throughhole Vias	CAD : 100µm diameter + 400µm pad minimum Tool : 200µm diameter minimum
Aspect-Ratio	1:8 or better is necessary
BuriedVias	no
BlindVias	no
Track width	100µm minimum on all signal layers
Track distance	90µm minimum on all signal layers
Solder Mask	double sided, fotolithographic, thickness 20µm
Plugging	no
Edge Metallisation	no
UL	yes

Jeder Multilayer ist inzwischen mit einer verbindlichen Anwendung verknüpft.

Die technischen Eigenschaften eines individuellen Aufbaus müssen durch die Dokumentation der Anforderungen an die Qualität der Leiterplatte nicht nur beschrieben sondern auch jederzeit zuverlässig nachvollziehbar offengelegt werden... ►

22

Die Dokumentation von Multilayern / CAD-Spezifikation

► ...Nur mit einer aussagefähigen Dokumentation wird im Fall einer Layout-Revision die Wiederholbarkeit der Produktion einer Leiterplatte (...+ Baugruppe) zuverlässig sichergestellt.

Beispiel

Viadurchmesser und Aspect-Ratio

Das "Aspect-Ratio" bestimmt den minimalen Viadurchmesser, der seinerseits die geometrischen Freiheitsgrade für das CAD-Layout fixiert. Weil per Definition eine Verknüpfung zwischen der kontaktierbaren Hülsenlänge und dem Bohrwerkzeughdurchmesser besteht, ist durch die Dicke der Leiterplatte der kleinstmögliche Viadurchmesser vorgegeben. Das "Aspect-Ratio" ist individuell abhängig von der Anlagentechnologie des Leiterplattenherstellers.

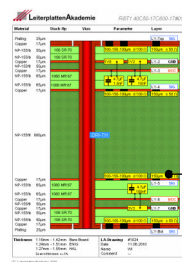
Beispiel

Leiterbahnbreite und Leiterbahnabstand

Die minimal prozessierbare Leiterbildgeometrie gibt ebenfalls die zuverlässig nutzbaren Freiheitsgrade für das CAD-Layout vor und ist ebenfalls abhängig von der Anlagentechnologie des Leiterplattenherstellers.

23

Die Dokumentation von Multilayern / Physik



Electromagnetical & physical Properties

MultiPowerSystem	2 pairs GND + VCC with 50µm distance
Impedance	50 Ω single ended 100 Ω differentiell
Decoupling	1 pair 4.7µF + 1.5nF on top (GND to 1V8) 1 pair 4.7µF + 10nF on top (GND to 1V2) 1 pair 4.7µF + 150nF on bottom (GND to 3V3)
Power Integrity	
Signal Integrity	
EMI	
Thermal properties	

Impedance calculated with POLAR Si8000 V9.02.00
Decoupling Capacitors are calculated with DCC Silent V.4.0

Die Leiterplattenspezifikation definiert für sich allein noch nicht die dezidierten Eigenschaften des Produktes "Baugruppe". Für den Technologen im Vorfeld der Baugruppen- und Schaltungsentwicklung vermittelt sie die Eigenschaften eines Multilayers noch *nicht* mit der erforderlichen Transparenz... ►

24

Die Dokumentation von Multilayern / Physik

► ...Die weitestgehende Entscheidungssicherheit ergibt sich erst dann, wenn die zuverlässige Aussage erfolgt, in welchem physikalischen Leistungsspektrum sich ein Lagenaufbau bewegen wird.

Beispiel SI / Signal Integrity / Impedanz
 Die Leiterbahnbreiten und die Lagenabstände fixieren die Kapazität und damit die Signalübertragungsqualität. Die strategische Anordnung der Powerplanes und der Signalplanes definiert die Signalübertragungsräume. Die Deklaration der Rückstromplanes reduziert massiv unerwünschte Einkopplungen (i.e. "Crosstalk").

Beispiel PI / Power Integrity
 Die strategisch kluge Verteilung der Powerplanes sichert die Integrität der Stromversorgungsräume und damit auch die Stabilität des späteren EMV-Verhaltens des elektronischen Gerätes im Betrieb.

► Die **verantwortliche** Bewertung der technischen Eigenschaften eines Multilayeraufbaus zeichnet den **Leiterplattenhersteller** aus.

25

Die Dokumentation von Multilayern / Statistische Parameter

Statistic Values		
Copper volume + weight	Powerplane	Copper thickness 17µm Density 80%
	136 mm ³ /dm ²	
	1.21 gr/dm ²	
Dielectric weight	Signallayer	Copper thickness 17µm Density 40%
	136 mm ³ /dm ²	
	0.68 gr/dm ²	
Summary	Signallayer	Copper thickness 42µm Density 40%
	136 mm ³ /dm ²	
	1.68 gr/dm ²	
Via Copper weight	NP-155f	Reference thickness 100µm
	2.0 gr/dm ²	
Summary		33.24 gr/dm ² at 1.5mm PCB-thickness
Via Copper weight		0.171 gr/100vias Tool diameter 200µm

Die Produktion der Baugruppe ist üblicherweise in die Vorbetrachtung zur Konstruktion eines Multilayer-Lagenaufbaus *nicht* eingebunden. Mit Blick auf die *systematische* und *zuverlässige* Vorabplanung von Lötprofilen (...für welche Oberfläche?) ist dies ein eklatanter Mangel. Allerdings ist das Problem, daß es kein Anforderungsspektrum gibt... ►

26

Die Dokumentation von Multilayern / Statistische Parameter

► ...Welche Parameter für eine zuverlässige Baugruppenproduktion bekannt sein müssen, muß erst noch erarbeitet werden.

Beispiel **Kupfervolumina**
Die Wärmeaufnahme einer Leiterplatte ist eine wichtige Größe bei der Erstellung des Reflowprofils für die zuverlässige Lötung einer Baugruppe.

Beispiel **Feuchtigkeitsaufnahme**
Der Feuchtigkeitsgehalt einer Leiterplatte wird als Einflußfaktor auf das Delaminationsverhalten einer Leiterplatte gehandelt.
Problem Die Aufnahme von Feuchtigkeit wird als Prozentwert angegeben (...Gewicht oder Volumen?). Allerdings nehmen Kupfer und Glasgewebe keine Feuchtigkeit auf. Es verbleibt das Harzsystem, dessen Volumen allerdings nur bei detaillierter Kenntnis des Lagenaufbaus, des Basismaterials und des spezifischen Gewichtes auf umständliche Art ermittelbar ist.

27

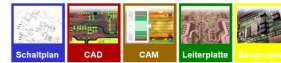


DaCapo: Fazit

28



Lernen und Handeln



Persönliche Kompetenz entscheidet

Wichtig für die Konstruktion und die Fertigung eines Layouts, einer Leiterplatte und einer Baugruppe sind formales technisches Wissen, ausgewogene Kreativität und exzellente Kombinationsfähigkeit.

Die Komplexität des Produktes erfordert eine intensive Kenntnis der miteinander verknüpften Bereiche "Konstruktion", "CAD", "CAM", "Leiterplatte" und "Baugruppe". Die Materialien und die Fertigungsprozesse der Partner müssen den Beteiligten vertraut sein.

Die Kompetenz für die Erstellung eines CAD-Layouts ist NICHT an ein Software-Programm delegierbar. Software ist ein Werkzeug. *Entscheiden* muß der Mensch auf der Basis seines Könnens.



Nur die *qualifizierte* und *kontinuierliche* Ausbildung der Menschen, die dieses Produkt herstellen, garantiert die *zuverlässige* Funktion anspruchsvoller Baugruppen.

29

...und wir enden am Anfang



Fazit

Die Zuverlässigkeit eines Multilayers definiert sich nicht allein durch die überlegte Aufeinandererschichtung von Basismaterialien.

Die Strategie muß sein, alle Partner von dem Entwurf des Schaltungskonzeptes bis hin zur Produktion der Baugruppe einzubeziehen. Das setzt ein hohes Maß an Bereitschaft zur **Kommunikation** voraus. Die erarbeiteten Vorgaben müssen systematisiert eingebunden werden. Das geht nur mit einer verlässlichen **Organisation**. Weil eine Baugruppenproduktion dynamisch ist, muß diszipliniert mit **Information** umgegangen werden.



Die Zuverlässigkeit, mit der ein CAD-Layout, eine Leiterplatte oder eine Baugruppe herstellbar ist, ist direkt proportional zu der Qualität der Information, die zum Zeitpunkt der Bearbeitung zur Verfügung gestanden hat.

30



Kontakt LeiterplattenAkademie

31

LA - LeiterplattenAkademie GmbH

Kontakt

LA - LeiterplattenAkademie GmbH
Krefelder Straße 18
10555 Berlin

Geschäftsleitung

Kathrin Fechner

Telefon 030 / 34 35 18 99
Telefax 030 / 34 35 19 02

eMail

info@leiterplattenakademie.de

Internet www.leiterplattenakademie.de

Technischer Direktor

Arnold Wiemers

Telefon 0171 / 358 3712
Telefax 0531 / 126441

eMail

awi@leiterplattenakademie.de

32