

Elektronik Praxis

12.-14. Juli 2016 in München

Arnold Wiemers

Ambitionierte Multilayersysteme für Highspeed-Baugruppen

Strategie - Funktion - Kosten

*Aufbau, Konstruktion und Berechnung von höherlagigen
Multilayern für eine definierte Signalübertragung*



LeiterplattenAkademie





Vorwort	3
Basismaterial	6
Chemie des Basismaterials	13
Signalgeschwindigkeit	17
Kritische Leiterbahnlänge	22
Impedanz	27
Bohrungen	32
Signalführung	35
Stromversorgung	42
Multilayerdokumentation	47
Kosten für Multilayer	54
Fazit	58





Vorwort



Plazierung von Bauteilen im CAD-Layout

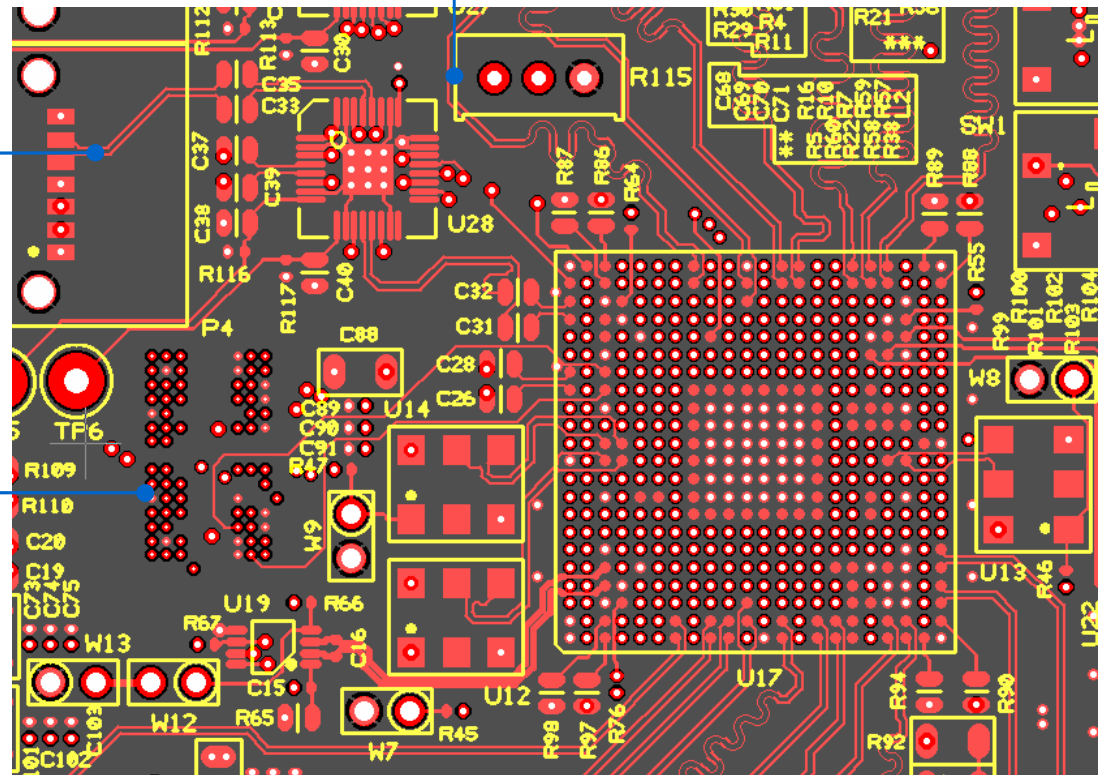
Jedes Bauteil benötigt für sich eine Grundfläche, die auf der Leiterplatte zur Verfügung gestellt werden muß.

Alle Bauteile werden zu Beginn der Erstellung des CAD-Layouts auf der (...späteren) Leiterplattenfläche mit einem *notwendigen Abstand* zueinander verteilt.

Für den **Signaltransfer** muß dieser Abstand mit Leiterbahnen überbrückt werden.

Für die **Stromversorgung** muß Energie an die Bauteile herangeführt werden.

Im Idealfall sind die Signalverbindungen über **Leiterbahnen** direkt und kurz geführt.



Durch den Einbau von **Powerplanes** im Lagenaufbau eines Multilayers kann die Energieversorgung vor Ort zuverlässig sichergestellt werden.



...auf ein Wort...

lat. "integritas"

▶ [unversehrt], [unbeschädigt], [unbeschränkt]

Ergo ist Signal*integrität* der unbeschädigte Transfer einer elektronischen Information von einem Netzpunkt zu einem anderen Netzpunkt.

Ergo ist Power*integrität* die unversehrt zur Verfügung gestellte Energie, die erforderlich für den Betrieb einer elektronischen Komponente ist.

Die Konstruktion eines CAD-Designs erfolgt immer in Erwartung einer Qualität respektive einer Funktion, die ein Produkt in der Zukunft haben wird/soll.

Die spätere Integrität der Funktion einer Baugruppe setzt die **Kontrolle** über das Design voraus. Vordergründig bedeutet das die Kontrolle der elektrophysikalischen Funktionen auf den einzelnen Flächen/Lagen eines Multilayers. Die übereinander gestapelten Flächen/Lagen definieren dann letztlich nichts anderes als einen virtuellen Raum.

▶ *Ergo ist Integrität die Kontrolle der Flächen und der Räume auf einer Leiterplatte, die sich durch die CAD-Konstruktion ergeben.*





Basismaterial



Basismaterial : Herstellerfirmen / Trägermaterial / Dielektrikum

Material	Hersteller	Trägermaterial (Verstärkung)	Füllstoff (Dielektrikum)
FR4 Duraver 104ML	Isola	Glasgewebe	Epoxydharz
NP-155F	Nan Ya	Glasgewebe	Epoxydharz
NPG-150R	Nan Ya	Glasgewebe	Epoxydharz
RT/duroid 5870	Rogers	Glasfiber	PTFE Random
RT/duroid 5880LZ	Rogers	Composite	PTFE filled
RT/duroid 6002	Rogers	Composite	PTFE Keramik
Ro3003	Rogers	Kein Träger	PTFE Keramik
Ro3006	Rogers	Kein Träger	PTFE Keramik
Ro3010	Rogers	Kein Träger	PTFE Keramik
Ro4003C	Rogers	Glasgewebe	Hydrokarbon Keramik
Ro4360G2	Rogers	Glasgewebe	Hydrokarbon Keramik
TMM 13i	Rogers	Kein Träger	Hydrokarbon Keramik
TMM 4	Rogers	Kein Träger	Hydrokarbon Keramik
TMM 6	Rogers	Kein Träger	Hydrokarbon Keramik
Ultralam 3850	Rogers	Kein Träger	LCP Liquid Cryst.Polymer
XT/duroid 8100	Rogers	Glasgewebe-VS	PEEK Polyetheretherketon



Basismaterial : ϵ_r / Tg / CTE / tan δ

Material	ϵ_r	[f]	Tg	CTE(x,y,z)			tan δ	[f]
FR4 Duraver 104ML	4.30	1 GHz	135	10	10	170	0.0280	1 GHz
NP-155F	4.10	1 GHz	150	10	14	60	0.0140	1 GHz
NPG-150R	4.20	1 GHz	150	13	13	50	0.0110	1 GHz
RT/duroid 5870	2.33	10 GHz		22	28	173	0.0012	10 GHz
RT/duroid 5880LZ	1.96	10 GHz		44	43	42	0.0019	10 GHz
RT/duroid 6002	2.94	10 GHz		16	16	24	0.0012	10 GHz
Ro3003	3.00	10 GHz		17	16	25	0.0013	10 GHz
Ro3006	6.15	10 GHz		17	17	24	0.0020	10 GHz
Ro3010	10.20	10 GHz		13	11	16	0.0022	10 GHz
Ro4003C	3.38	10 GHz		11	14	46	0.0027	10 GHz
Ro4360G2	6.15	10 GHz		13	14	28	0.0038	10 GHz
TMM 13i	12.85	10 GHz		19	19	20	0.0019	10 GHz
TMM 4	4.50	10 GHz		16	16	21	0.0020	10 GHz
TMM 6	6.00	10 GHz		18	18	26	0.0023	10 GHz
Ultralam 3850	2.90	10 GHz		17	17	150	0.0025	10 GHz
XT/duroid 8100	3.45	10 GHz		18	19	67	0.0042	10 GHz



Basismaterial : Feuchtigkeitsaufnahme / Flammklasse / Gewicht

Material	Feu. Auf. [%]	Flamm-klasse	Wärmeleitfähigkeit [(W/m)/K]	Spezifisch. Gewicht [kg/dm ³]	Abzugskraft [N/mm]
FR4 Duraver 104ML	0.36	UL94 V-0	nd	2.10	2.00
NP-155F	0.30	UL94 V-0	0.49	2.00	0.78
NPG-150R	0.18	UL94 V-0	0.58	2.10	0.88
RT/duroid 5870	0.02	UL94 V-0	0.22	2.20	4.80
RT/duroid 5880LZ	0.22	UL94 V-0	0.33	1.40	0.66
RT/duroid 6002	0.02	UL94 V-0	0.60	2.10	1.60
Ro3003	0.04	UL94 V-0	0.50	2.10	2.20
Ro3006	0.02	UL94 V-0	0.79	2.60	1.20
Ro3010	0.05	UL94 V-0	0.95	2.80	1.60
Ro4003C	0.04	non FR	0.71	1.80	1.05
Ro4360G2	0.08	UL94 V-0	0.75	2.16	0.91
TMM 13i	0.13	non FR	0.76	3.00	0.70
TMM 4	0.07	non FR	0.70	2.10	1.00
TMM 6	0.06	non FR	0.72	2.40	1.00
Ultralam 3850	0.04	VTM-0	0.20	1.40	0.95
XT/duroid 8100	0.25	VTM-0	0.30	nd	1.10

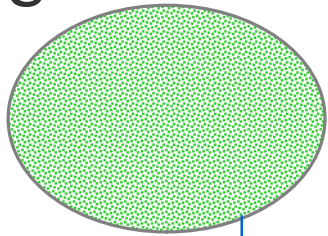


Glasgewebe

Gewebestruktur (Dichte und Querschnitt)

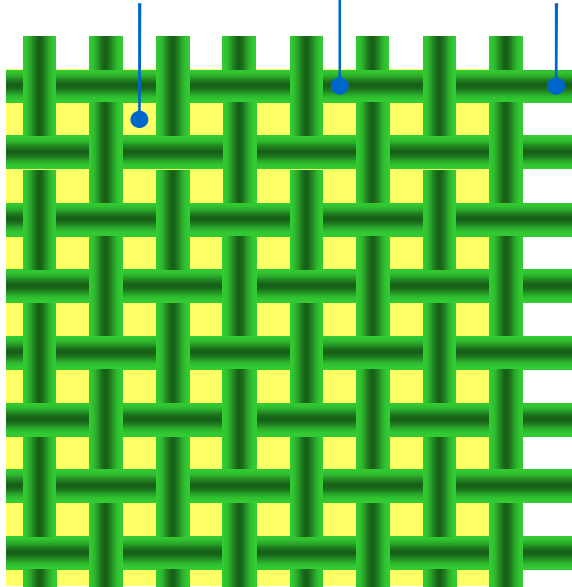
Die Glasgewebe der Prepregs können eine unterschiedliche Dichte und eine unterschiedliche Querschnittsgeometrie haben. Die Qualität des Gewebes nimmt zu, wenn die Lücken zwischen benachbarten Glasfäden abnehmen und wenn die Geometrie des Glasfadentyps sehr flach ist.

Typ S

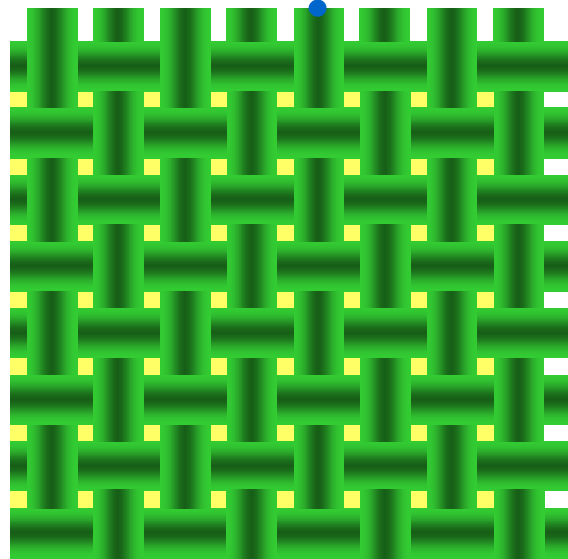
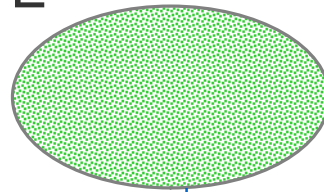


Epoxydharz

Gewebestruktur

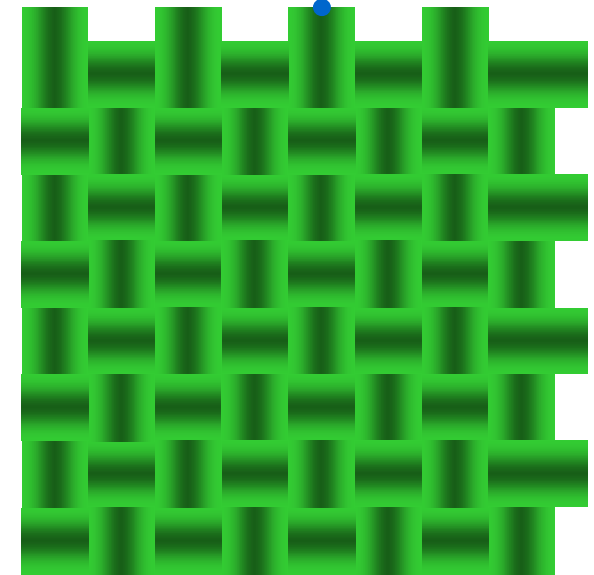
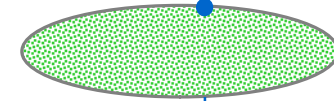


Typ E



Nomenklatur ISOLA

Typ MS



Glasgewebe : Beispiel 1

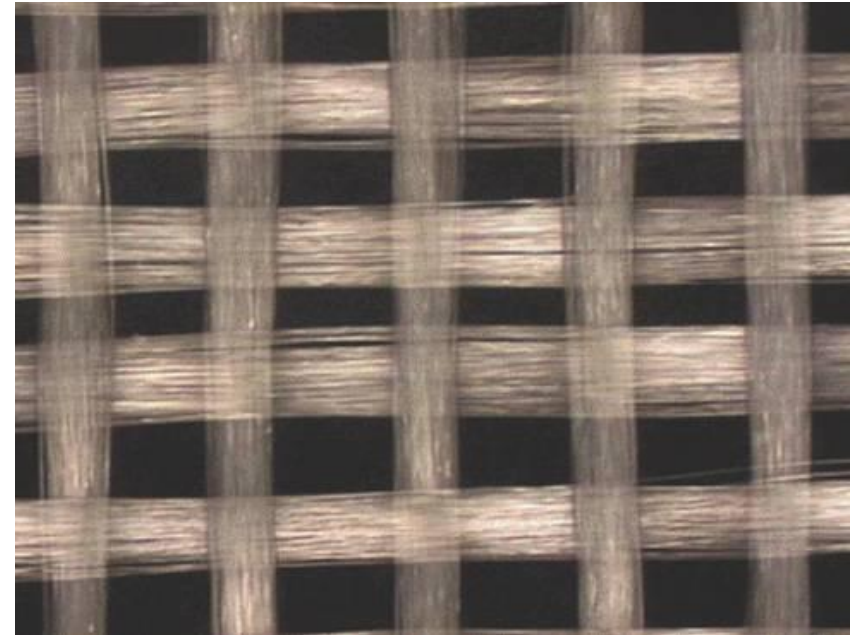
Beispiel (FR4-Glasgewebevarianten)

Glasgewebe für die Fertigung von FR4-Prepregs und FR4-Laminaten.

Gewebetyp	106
Gewebedicke	38µm
Kettfäden	56 / in 2.20 / mm
Schußfäden	56 / in 2.20 / mm

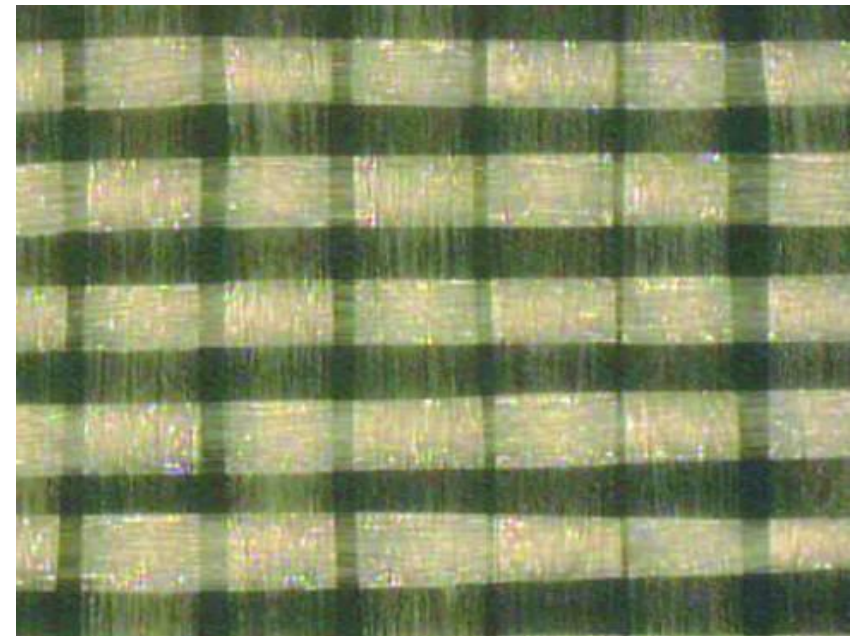
Gewebetyp	1067
Gewebedicke	32µm
Kettfäden	70 / in 2.75 / mm
Schußfäden	70 / in 2.75 / mm

MS Glass Fabric used by Isola



Vergrößerung ca. 50-fach

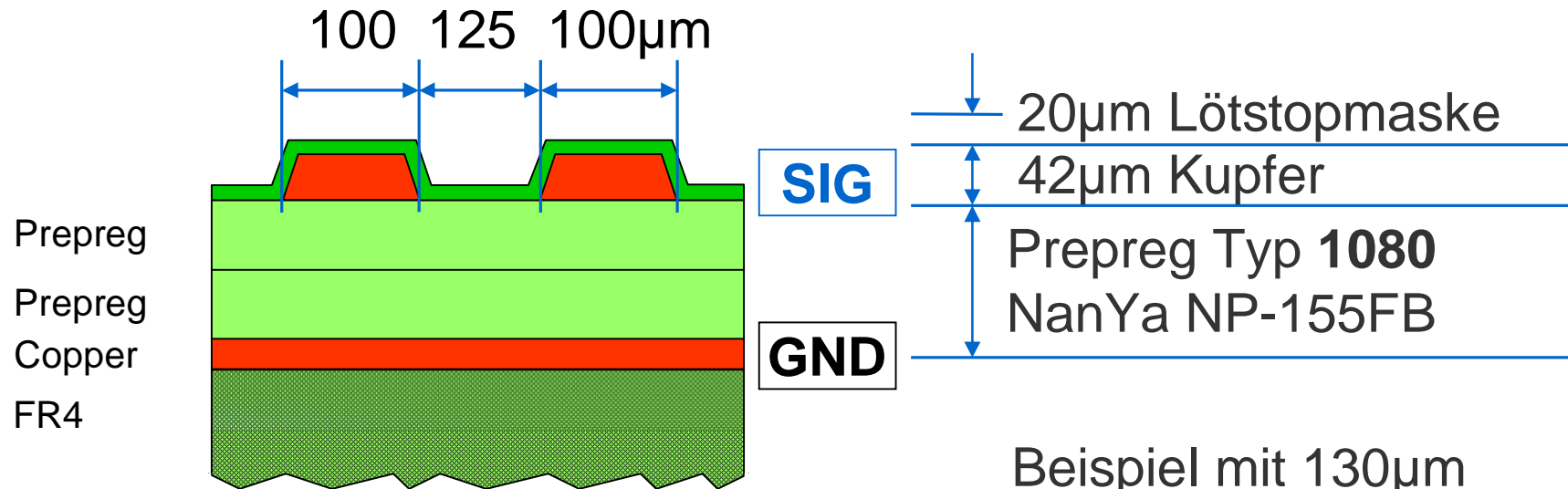
Quelle : ISOLA



Impedanzabweichungen abhängig vom Glasgewebe 2

Impedance type "Differential Coated Microstrip"

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



Beispiel mit 130µm
Prepregdicke für den
Typ 1080 MR



Glasgewebe $\epsilon_r \sim 6.0$ bei 1 GHz

89.5 Ohm

Harz $\epsilon_r \sim 3.8$ bei 1 GHz

103.7 Ohm

Die Werte für differentielle Impedanzen können wegen der unterschiedlichen dielektrischen Werte für Harz und Glasgewebe stark abweichen.





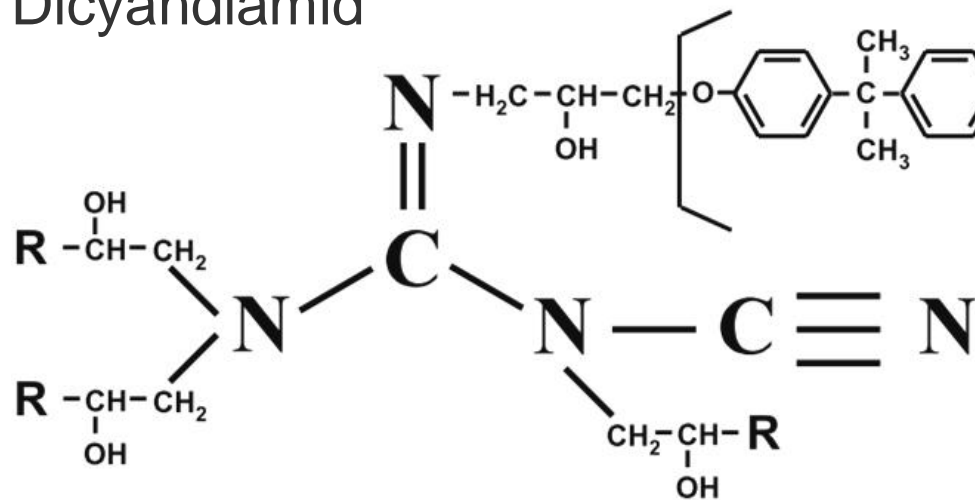
Chemie des Basismaterials



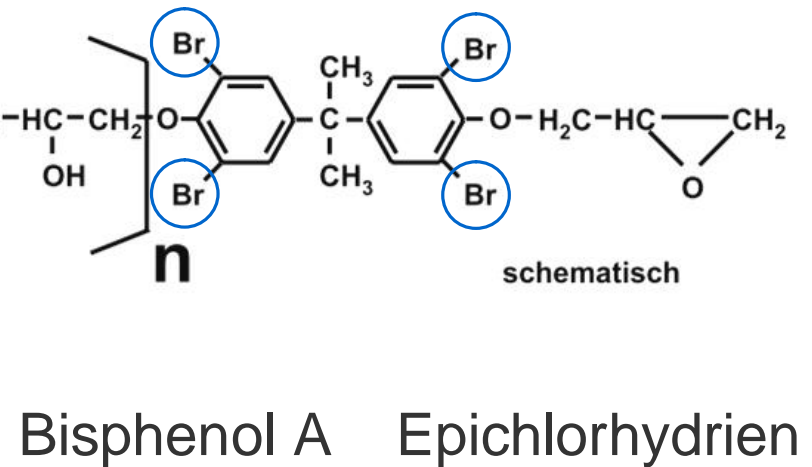
Epoxydharz und Härter 2

Das Epoxydharz und der Härter beginnen zu reagieren, sobald diese Substrate zusammengebracht werden. Für starre Laminatläuft diese Reaktion schnell ab. Für Prepregs muß die Reaktion erheblich langsamer ablaufen, damit ausreichend Zeit für die Auslieferung an den Leiterplattenhersteller bleibt. Dort müssen die Prepregs nach der Einlagerung noch für bis zu 6 Monate verarbeitbar sein.

Dicyandiamid



TBBA als Flammhemmer



Bisphenol A Epichlorhydrin

Quelle V.Klafki

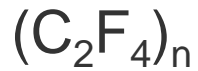
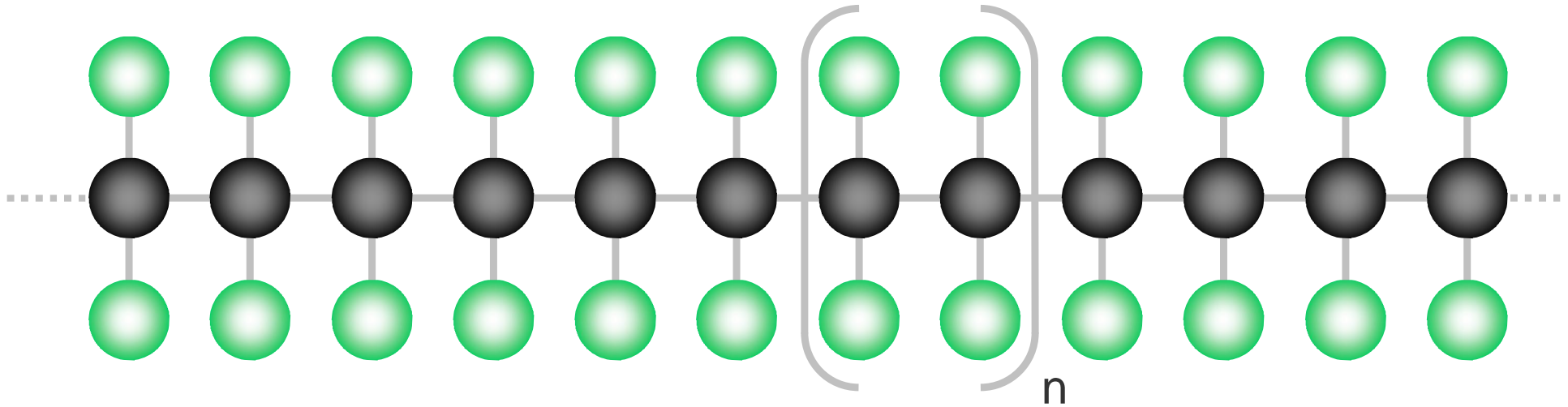
Begriff (TBBA) ~ Tetrabromobisphenol A

Hinweis (Epoxydharz)

Je nach Basismaterialhersteller gibt es Beimischungen zum Epoxydharz, die funktionale Eigenschaften des Harzsystems unterstützen sollen.



Polytetrafluorethylen



Polytetrafluorethylen

Teflon® Hostaflon® PTFE

Tetrafluorethylen

PTFE (...ein Thermoplast) ist beständig gegen aggressive Säuren, alle Basen, Alkohole, Ketone, Benzine und Öle. Unbeständig bei starken Reduktionsmitteln wie Lösungen von Alkalimetallen (z. B. Natrium), in flüssigem Ammoniak oder (...bei höheren Temperaturen) bei sehr starken Oxidationsmittel wie elementarem Fluor.

PTFE ist frostbeständig bis -270 °C . Die Einsatztemperatur geht bis $+260\text{ °C}$.

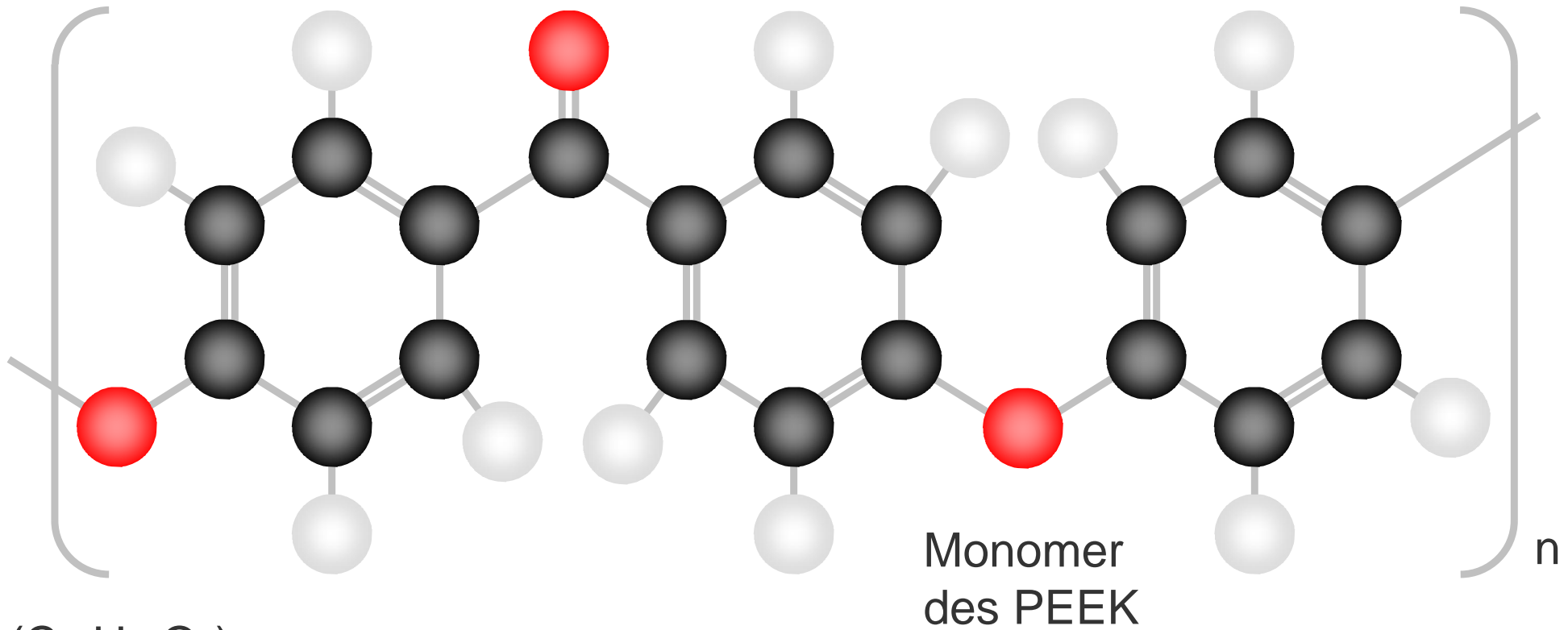
Bei Temperaturen über 360 °C ausgasen hochtoxischer Phyrolyseprodukte (COF_2), die beim Menschen zum "Polymehrfieber" führen. Das Einatmen größerer Mengen ist tödlich.

Eigenständige chemische Stoffgruppe für Leiterplattenbasismaterialien.

 Fluor  Kohlenstoff



Polyetheretherketon



Polyetheretherketon

PEEK

KetaSpire

Gatone

Victrex

Polyetheretherketon ist ein beigefarbener und hochtemperaturbeständiger thermoplastischer Kunststoff. Die Schmelztemperatur beträgt 335° C. PEEK ist beständig gegen viele organische und anorganische Chemikalien. Unbeständig ist es gegen UV-Strahlung, konzentrierte Salpetersäure, allgemein saure oxidierende Bedingungen und gegen einige Halogenkohlenwasserstoffe.

PEEK löst sich in konzentrierter Schwefelsäure bei Raumtemperatur vollständig auf.

● Kohlenstoff ● Sauerstoff ● Wasserstoff





Signalgeschwindigkeit



Signalgeschwindigkeit : Physik und Leiterplattentechnologie

Hinweis (Signalgeschwindigkeit)

Die Signalgeschwindigkeit ist abhängig von den dielektrischen Eigenschaften des Basismaterials.

Definition (Signalgeschwindigkeit)

Für die Signalgeschwindigkeit $v_{(\text{sig})}$ gilt :

$$v_{(\text{sig})} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Hinweis (Permittivität)

Die Variable "c" (...vom lateinischen *celeritas*) steht für die *Ausbreitungsgeschwindigkeit* elektromagnetischer Wellen und hat im Vakuum einen Wert von $3 \cdot 10^{11} \text{ mm/s} \sim 3 \cdot 10^2 \text{ mm/ns} \sim 30 \text{ cm/ns}$.

Mit der Variablen " ϵ_r " wird die *relative Dielektrizitätskonstante* oder auch die *relative Permittivität* (...vom lateinischen *permittere* ~ durchlassen) des Basismaterials bezeichnet.

Die *Speicherkapazität* eines Basismaterials ist direkt proportional zu seiner relativen Permittivität.



Signalgeschwindigkeit

Regel (Signalgeschwindigkeit)

Alles, was sich innerhalb einer Einflußsphäre mit einem Radius von zirka $150\mu\text{m}$ bis $200\mu\text{m}$ um eine Leiterbahn befindet, hat einen signifikanten Einfluß auf die Signalübertragungsqualität.

Beispiel (offene Leiterbahn)

Das effektive Dielektrikum einer offenen Leiterbahn auf einer FR4-Außenlage liegt bei zirka 2.8.

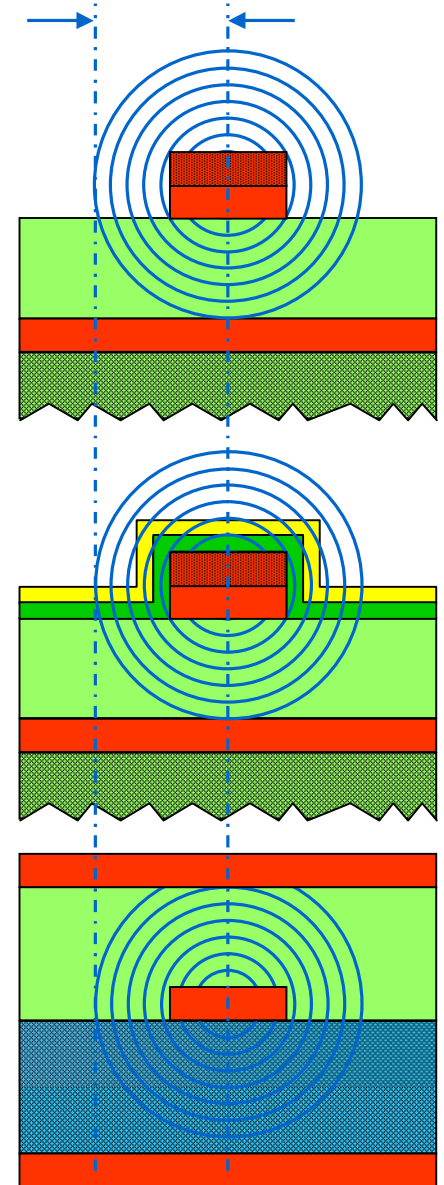
Beispiel (bedruckte Leiterbahn)

Das effektive Dielektrikum einer mit Lötstopplack bedruckten Leiterbahn auf einer FR4-Außenlage liegt bei zirka 3.8.

Beispiel (innenliegende Leiterbahn)

Das effektive Dielektrikum einer innenliegenden Leiterbahn ergibt sich aus den Dielektrika der angrenzenden Materialien.

Einflußsphäre
 $150\text{-}200\mu\text{m}$



Signalgeschwindigkeit

Beispiel (Signalgeschwindigkeit)

Vorgegeben ist eine relative Permittivität von 4.10 bei einer Frequenz von 1GHz. Referenz ist FR4 des Typs NP-155 der Fa. NanYa.

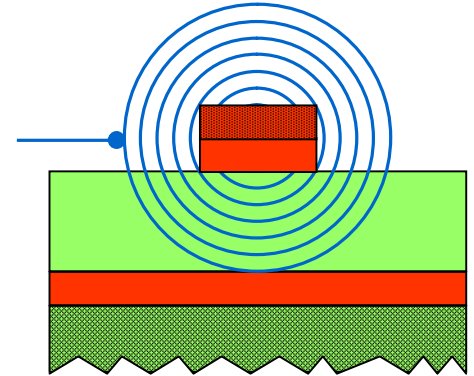
Die relative Permittivität muß sich an der effektiven Permittivität bzw. der effektiven Dielektrizitätseigenschaft orientieren, die sich aus den Geometrien der Lagenaufbaumoduln ergibt.

Für Leiterbahnen, die in ein homogenes Umfeld aus FR4 eingebettet sind, ist die Geschwindigkeit :

$$\begin{aligned}V_{\text{sig (FR4)}} &= \frac{30}{\sqrt{4.1}} \quad [\text{cm/ns}] \\ &= \frac{30}{2.02} \quad [\text{cm/ns}] \\ &= \underline{14.85} \quad [\text{cm/ns}]\end{aligned}$$

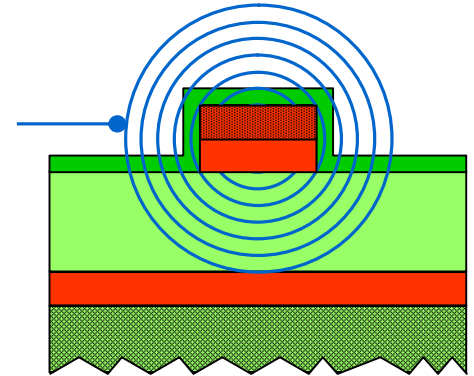
$$17.96 \quad [\text{cm/ns}]$$

$$\epsilon_{r_{\text{eff}}} = 2.8$$



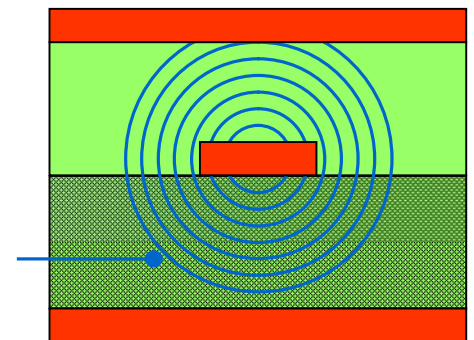
$$\epsilon_{r_{\text{eff}}} = 3.8$$

$$15.38 \quad [\text{cm/ns}]$$



$$\epsilon_{r_{\text{eff}}} = 4.1$$

$$14.85 \quad [\text{cm/ns}]$$



Signalgeschwindigkeit : Basismaterialeigenschaften

Material	Hersteller	Substrat	Tg	ϵ_r (1GHz)	$V_{(sig)}$ [cm/ns]
NP-155f	NanYa	FR4	150	4.10	14.85
Duraver 114	Isola	FR4	150	4.40	14.29
MC100	Matsushita	FR4	125	4.10	14.85
Duraver CE	Isola	CE	230	3.30	16.48
Duramid CE-Cu	Isola	CE	200	3.00	17.44
TMM6	Rogers	Keramik	n.d.	6.20	12.05
TMM10i	Rogers	Keramik	n.d.	10.0	9.49
Ro4003	Rogers	Glas/Keramik	200	3.58	16.13
Ro4350	Rogers	Glas/Keramik	280	3.68	15.62
D5880	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	2.20	20.27
D6002	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	2.94	17.54
D6006	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	6.15	12.10
Ultralam2000	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	2.50	18.99
Duraver P97	Isola	Polyimid/G30	260	4.40	14.29





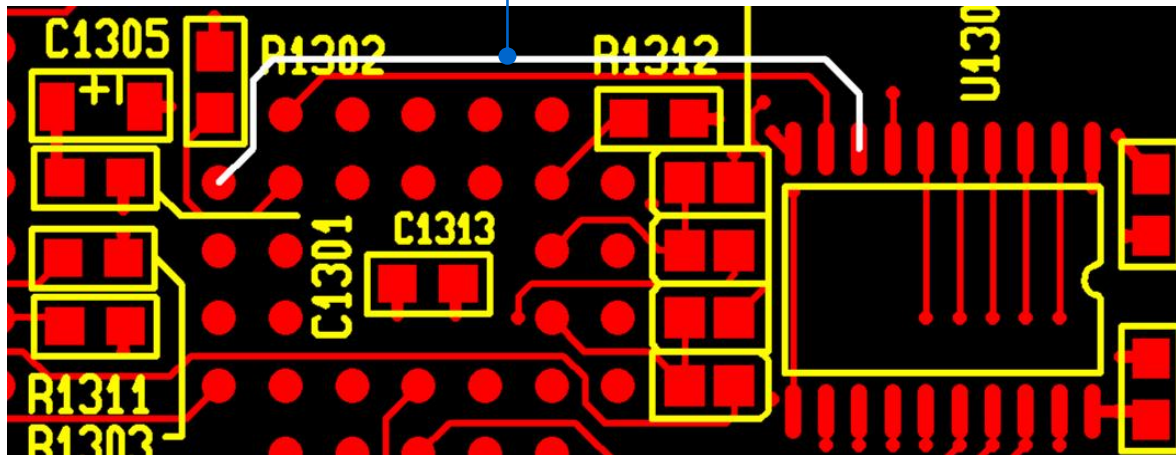
Kritische Leiterbahnlänge



Informationstransfer

Bei *langer* Signalanstiegszeit befindet sich *eine* Information auf der Signalleitung auf dem Weg vom Sender zum Empfänger.

LowSpeed



Bei *kurzer* Signalanstiegszeit befinden sich *mehrere* Informationen auf der Signalleitung auf dem Weg vom Sender zum Empfänger.

HighSpeed



Propagation Delay

Wenn ein Signal auf einer Leiterbahn (~ Transmission Line) übertragen werden soll, dann muß der Einfluß des Basismaterials beachtet werden.

Epsilon-R	[cm/ns]	[ns/cm]	Hersteller / Materialbeispiel
1.00	29.98	0.0334	unbekannt / Luft
2.20	20.21	0.0495	Rogers / D5880
2.94	17.46	0.0573	Rogers / D6002
3.68	15.63	0.0640	Rogers / Ro4350
4.10	14.81	0.0675	NanYa / NP-155f (~ FR4)
4.40	14.29	0.0700	Isola / Duraver P97 (~ PD)
4.40	14.29	0.0700	Isola / Duraver 114 (~ FR4)
6.20	12.04	0.0831	Rogers / TMM6
10.00	9.48	0.1055	Rogers / TMM10i

Beispiel Bei einer Permittivität (~ Epsilon-R) von 4.1 legt ein Signal in 1 ns eine Weglänge von 14.81 cm zurück.

Für eine Weglänge von 1 cm benötigt ein Signal 0.0675 ns.



Kritische Signalweglänge 3

Beispiel 3 (Kritische Signalweglänge)

Für eine Baugruppe mit sehr hoher Leistung werden einige Bauteile mit einer Signalanstiegszeit von 0.2 ns eingesetzt. Um die Geschwindigkeit für die Signalübertragung zu erhöhen, wird das Material D5880 der Fa. Rogers eingesetzt, das einen ϵ_r von 2.2 hat mit Referenz zu 1 GHz.

Für ein ϵ_r von 2.2 beträgt die innerhalb einer ns zurückgelegte Weglänge 20.21 cm. Als Propagation Delay ergibt sich daraus für die Weglänge von 1 cm eine Zeit von 0.0495 ns. Durch Einsetzen dieser Werte läßt sich die kritische Signalweglänge ermitteln.

$$KWL_{(sig)} = \frac{0.2 \text{ [ns]}}{2 \cdot 0.0495 \frac{\text{[ns]}}{\text{[cm]}}} = \frac{0.2 \text{ [ns} \cdot \text{cm]}}{0.099 \text{ [ns]}} = \underline{2.02 \text{ [cm]}}$$

Ab einer Signalweglänge von 2.02 cm kann es zu Reflexionen kommen. Sowohl die Signalgeschwindigkeit als auch die Impedanz müssen dann beachtet werden.

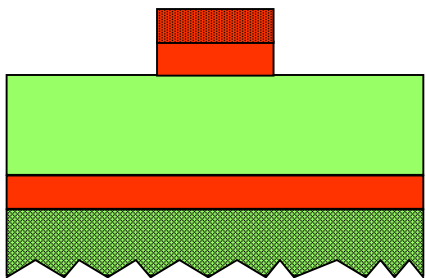


Signalübertragung in Abhängigkeit von der Topologie

Beispiel (Signalübertragung)

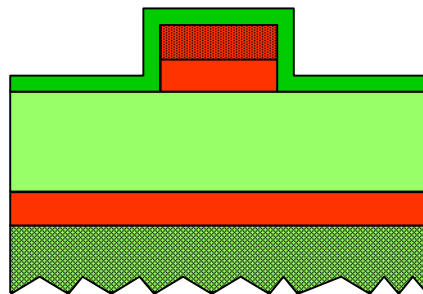
Vorgabe ist ein Dielektrikum von 4.10 bei 1GHz für ein FR4-Material.
 Bei konstanter Signalanstiegszeit T_{rise} sind die Signalgeschwindigkeit $v_{(sig)}$,
 die Propagationdelay T_{delay} und die kritische Weglänge $KWL_{(sig)}$ variabel
 in Abhängigkeit von der topologischen Platzierung der Leiterbahn.

Leiterbahn ohne
Lötstoplack



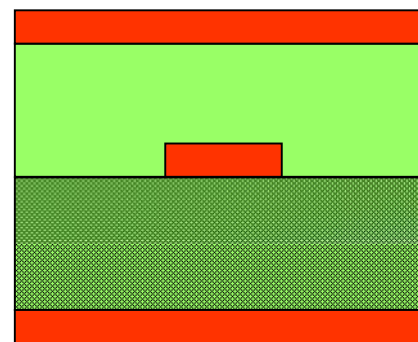
$\epsilon_{r_{eff}}$ 2.8

Leiterbahn mit
Lötstoplack



$\epsilon_{r_{eff}}$ 3.8

Eingebettete
Leiterbahn



$\epsilon_{r_{eff}}$ 4.1

Optionen für die
Platzierung einer
Leiterbahn in
einem Multilayer

Dielektrikum

17.96 [cm/ns]
 0.0558 [ns/cm]
 0.5 [ns]
 4.48 [cm]

15.38 [cm/ns]
 0.0650 [ns/cm]
 0.5 [ns]
 3.84 [cm]

14.85 [cm/ns]
 0.0675 [ns/cm]
 0.5 [ns]
 3.70 [cm]

$v_{(sig)}$
 T_{pdelay}
 T_{rise}
 $KWL_{(sig)}$





Impedanz



Impedanz : Typische Impedanzwerte

Die typischen Werte für Impedanzen auf digitalen Baugruppen orientieren sich an der Art der Signalübertragung. Übliche Signale werden auf einer einzelnen Leiterbahn übertragen. Für eine schnelle und störsichere Übertragung werden Leitungspaare eingesetzt.

Single Ended (~ Einzelleitung)

40, 50, 65 Ω Digitale Signale

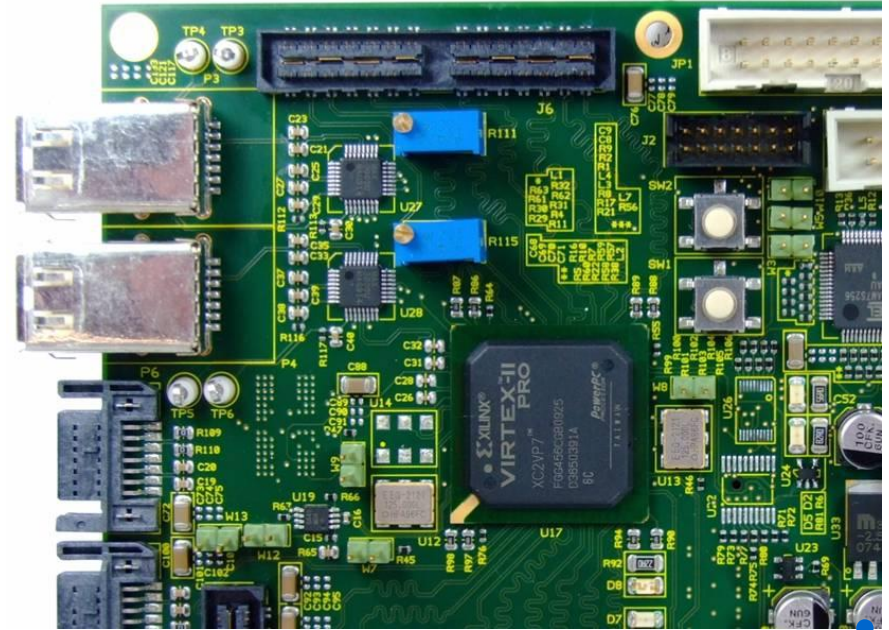
75 Ω Videosignale

Differentiell (~ Leitungspaar)

80, 90 Ω DDR3, USB

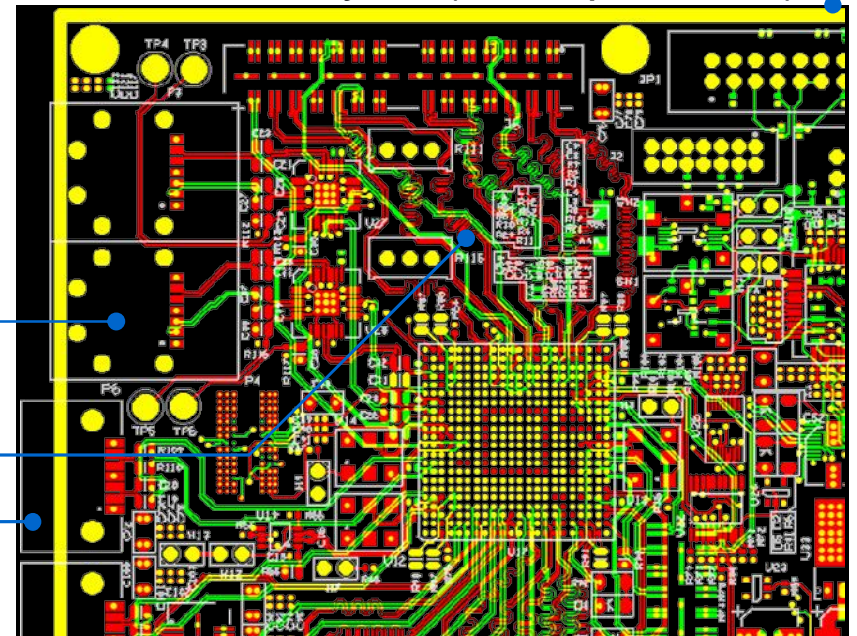
100 Ω Infiniband
Bussysteme
SATA

120 Ω CAN-Bus



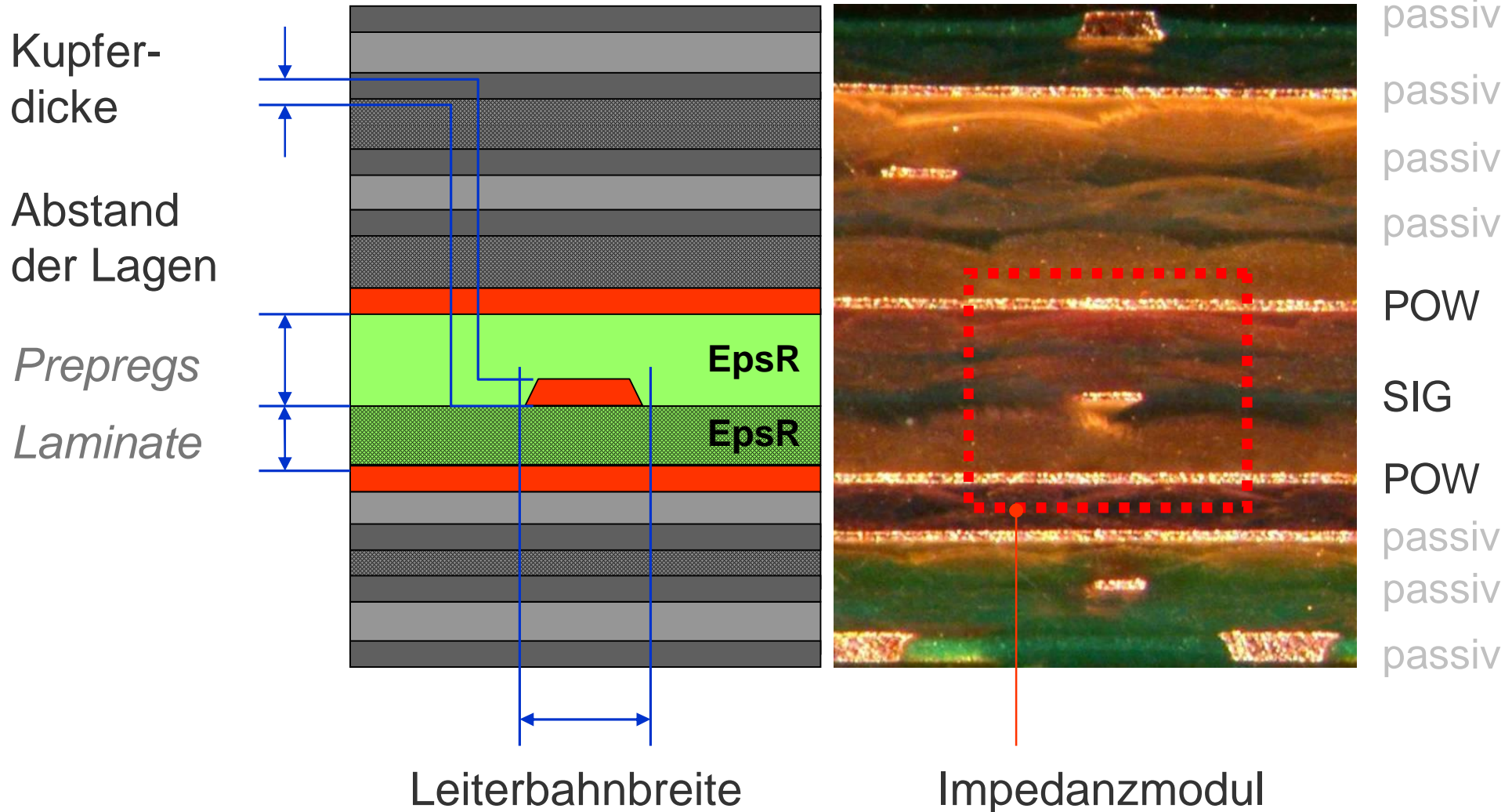
Bestückte Baugruppe

CAD-Layout (LY-Top, LY-Bot)



Impedanzmodul „Single Ended Stripline“ : Geometrien

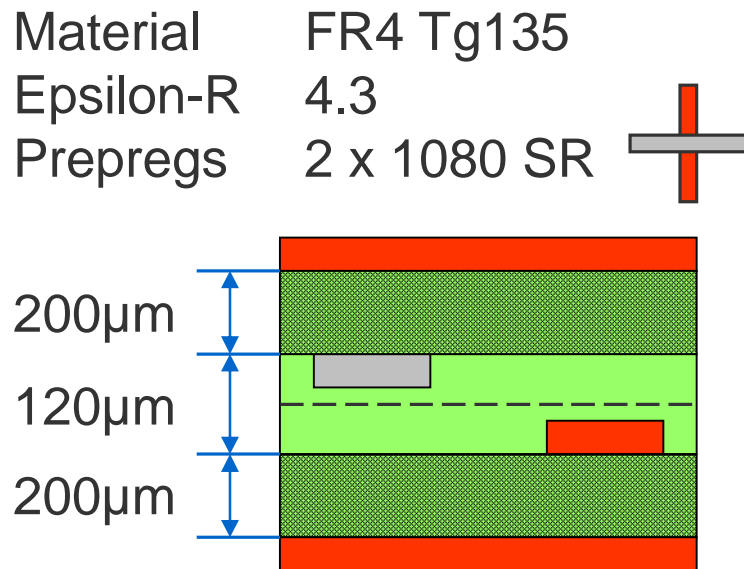
Die Funktion und die Qualität eines Impedanzmoduls werden durch die Leiterbahnbreite, die Kupferdicke, den Lagenabstand und den Epsilon-R-Wert des Basismaterials festgelegt. Materialien und Layer außerhalb des jeweiligen Impedanzmoduls sind passiv und bleiben ohne Einfluß.



Impedanzmodul : Single Ended Dual Stripline

Beispiel (Impedanz : Single Ended Dual Stripline)

Zwei 200 μm -Laminare sind mit zwei 1080er-Prepregs verpreßt. Bei einer Leiterbahnbreite von 200 μm und einer Kupferdicke von 17 μm ergibt sich eine rechnerische Impedanz von 49.8 Ω . Bei vorgegebener Modulgeometrie läßt sich die Impedanz über die Leiterbahnbreite modifizieren.



Leiterbreite	Kupferdicke		
	5 μm	17 μm	35 μm
300 μm	42.1 Ω	40.4 Ω	38.4 Ω
200 μm	52.3 Ω	49.8 Ω	47.0 Ω
150 μm	59.7 Ω	56.6 Ω	53.0 Ω
120 μm	65.5 Ω	61.8 Ω	57.6 Ω
100 μm	70.3 Ω	66.0 Ω	
80 μm	76.1 Ω		

Regel (Identische Geometrien) Wenn die Geometrie und das Dielektrikum zweier Impedanzmoduln in einem Multilayersystem identisch sind, dann sind auch die resultierenden Impedanzwerte identisch.

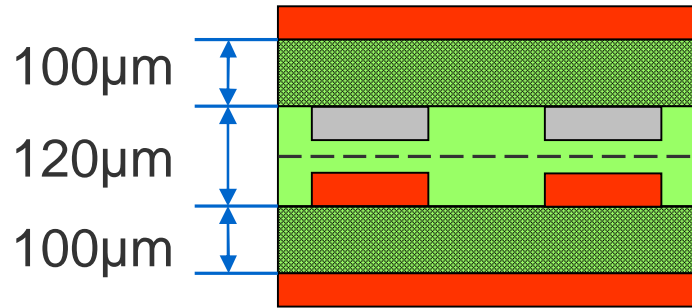
Deshalb können konfektionierte Impedanzmoduln vorberechnet werden.



Impedanzmodul : Differential Dual Stripline

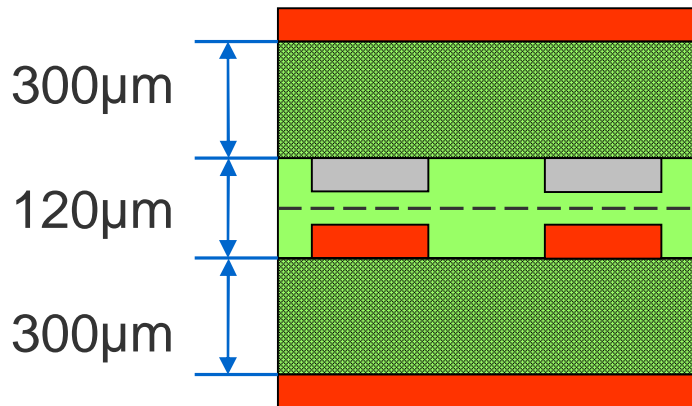
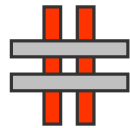
Konfektionierte Moduln vom Typ "Differential Dual Stripline".

Material FR4 Tg135
 Epsilon-R 4.3
 Prepregs 2 x 1080 SR



Leiter- breite	Leiter- abstand	Kupferdicke		
		5µm	17µm	35µm
300µm	100µm	52.4 Ω	49.3 Ω	45.6 Ω
300µm	200µm	55.8 Ω	53.1 Ω	49.9 Ω
200µm	100µm	66.4 Ω	61.8 Ω	56.4 Ω
200µm	200µm	71.9 Ω	67.8 Ω	63.1 Ω
100µm	100µm	92.3 Ω	83.8 Ω	74.6 Ω
100µm	125µm	96.1 Ω	87.9 Ω	79.0 Ω

Material FR4 Tg135
 Epsilon-R 4.3
 Prepregs 2 x 1080 SR



Leiter- breite	Leiter- abstand	Kupferdicke		
		5µm	17µm	35µm
300µm	100µm	74.1 Ω	69.3 Ω	63.8 Ω
300µm	200µm	85.9 Ω	81.2 Ω	76.8 Ω
200µm	100µm	85.7 Ω	79.4 Ω	72.2 Ω
200µm	200µm	101.6 Ω	95.8 Ω	89.1 Ω
100µm	100µm	107.2 Ω	97.2 Ω	86.4 Ω
100µm	125µm	114.2 Ω	104.4 Ω	93.8 Ω



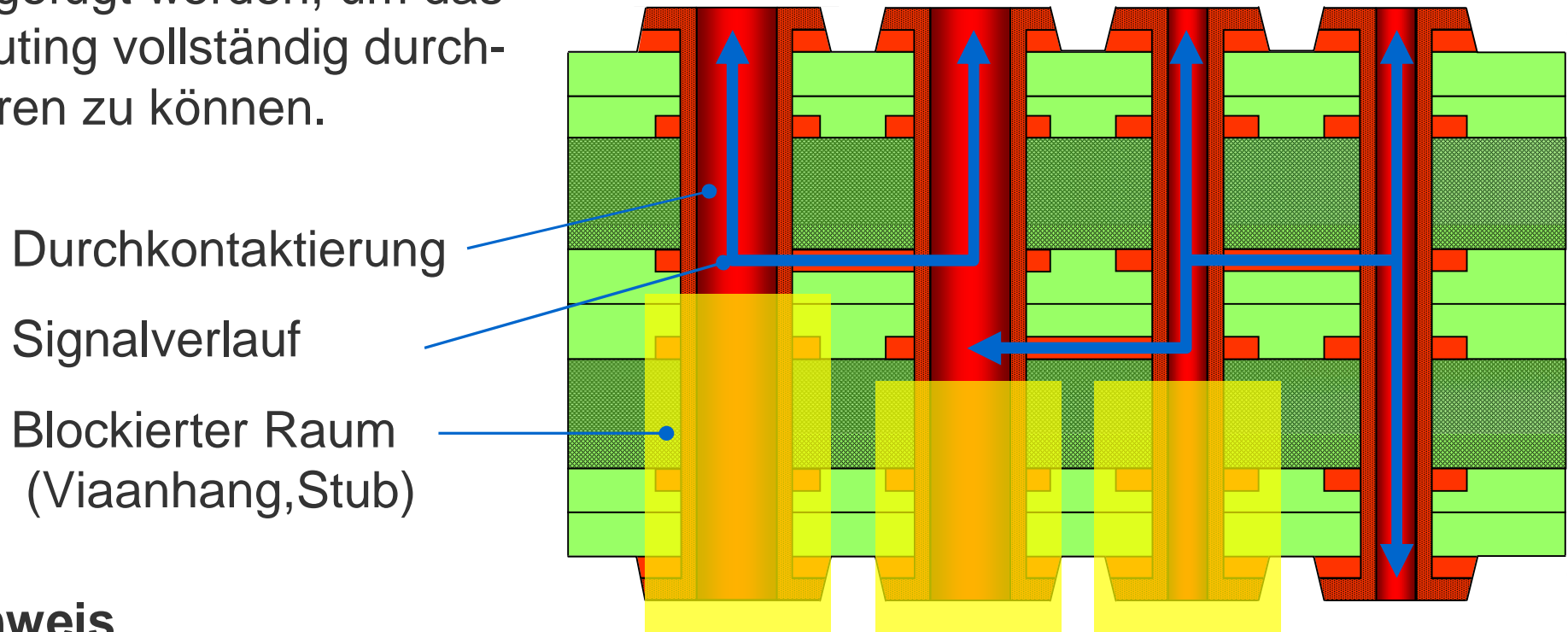


Bohrungen



Bohrungen : Kontaktierungsstrategien bei Multilayern 1

Für das Fan-Out der Signale, für die Herstellung der Signalverbindungen und für die Stromversorgung der Bauteilkomponenten werden am CAD-System Vias gesetzt. Sehr oft wird eine Verbindung nur über zwei Lagen geführt. Wird dazu eine Durchkontaktierung eingesetzt, dann blockiert die Bohrung in den nicht genutzten Lagen den Raum für das CAD-Layout weiterer Leiterbahnen. Gegebenenfalls müssen zusätzliche Signallagen eingefügt werden, um das Routing vollständig durchführen zu können.



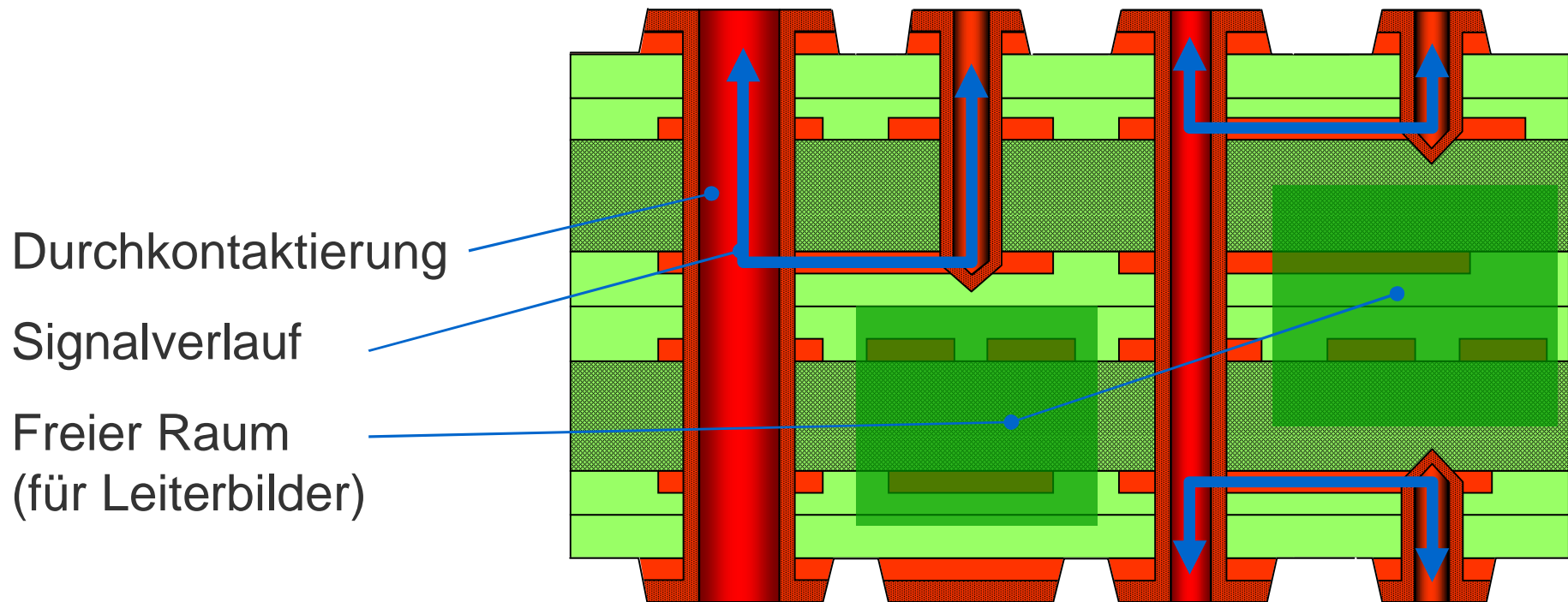
Hinweis

Die ungenutzten Viaanhänge (~ Stubs) können das EMV-Verhalten der Baugruppe ungünstig beeinflussen.



Bohrungen : Kontaktierungsstrategien bei Multilayern 2

Kontaktierungen in einem 6-Lagen Multilayer : die Signalverbindungen werden über Bauteilbohrungen und über DK-Bohrungen geführt. Als zusätzliche Kontaktierungsoptionen ermöglichen BlindVias von der Ober- und von der Unterseite kurze und effektive Signalwege. Die Verdrahtung ist kompakt und schafft innerhalb der Leiterplatte Freiräume, die für das Layout genutzt werden können.



Hinweis

Ein direkter Signalweg von Netzknoten zu Netzknoten verbessert die Signalintegrität sowie das EMV-Verhalten einer Baugruppe.





Signalführung



Bohrungen : Routingkanäle

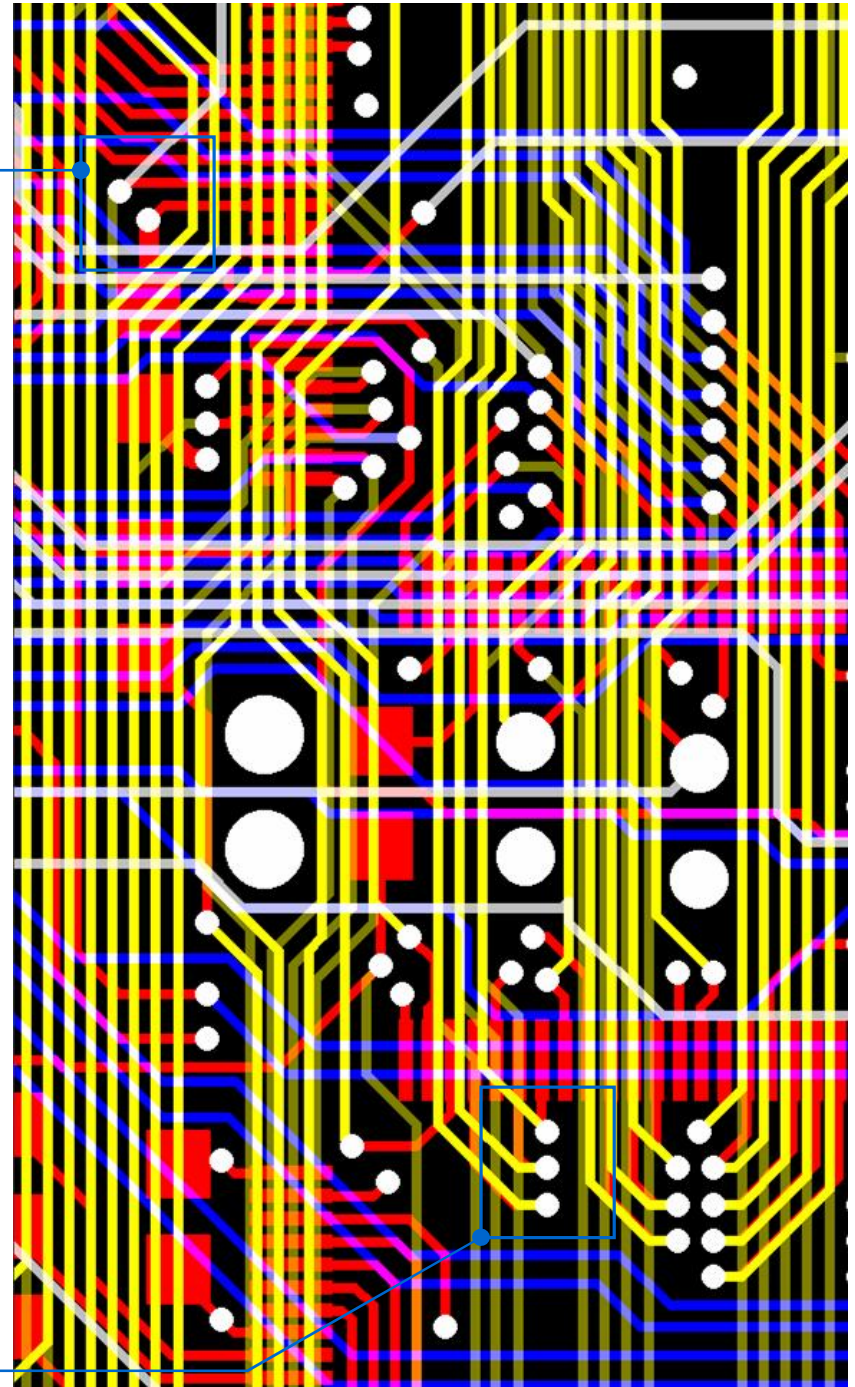
Im CAD-Layout benötigt die Geometrie eines Viapads im Durchmesser mehr Platz, als eine Leiterbahn.

Regel (minimaler Viadurchmesser)

Für eine Optimierung des Routings muß der Viadurchmesser minimal sein.

Beispiel

Für ein Via mit einem Enddurchmesser von $200\mu\text{m}$ ist üblicherweise ein Viapad mit einem Durchmesser von minimal $500\mu\text{m}$ erforderlich. Auf einer Breite von $500\mu\text{m}$ können im Layout drei $100\mu\text{m}$ -Leiterbahnen mit einem Abstand von $100\mu\text{m}$ zwischen den benachbarten Leiterbahnen geroutet werden. Die Vias müssen zudem so platziert werden, daß möglichst viele Routingkanäle für Leiterbahnen zur Verfügung stehen.

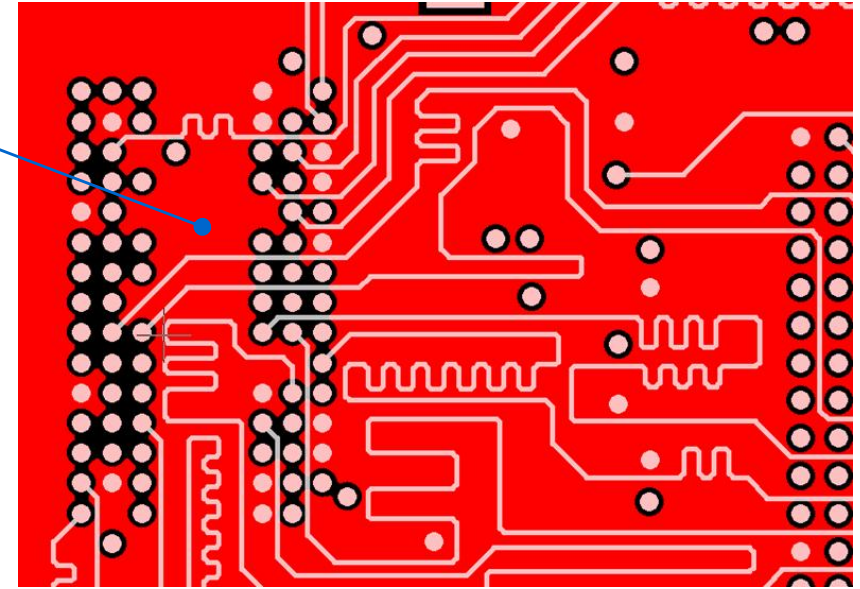


LP2010 : Analyse der Rückstromwege 1

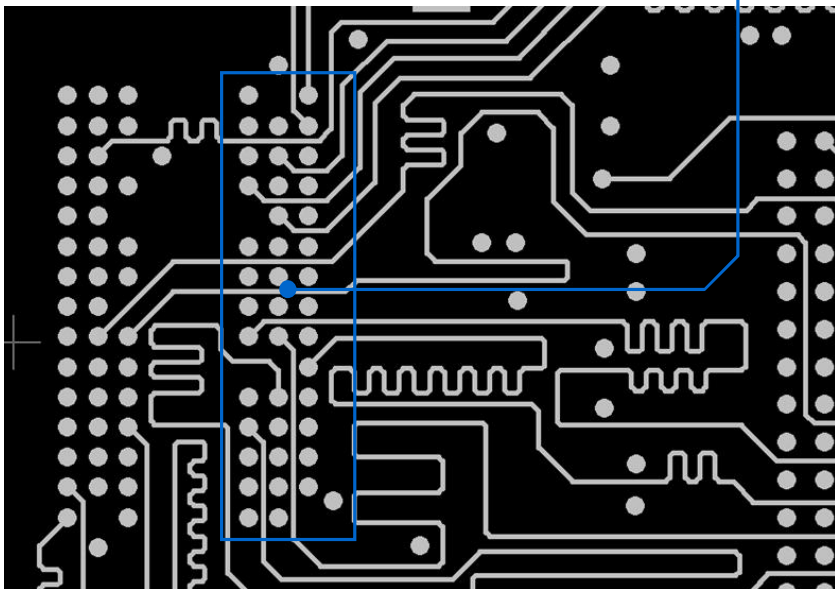
Ansicht auf die benachbarten Layer SIG und GND im Steckerbereich.

Durch die zu großen Isolationspads ergibt sich ein langer, breiter Schlitz auf dem GND-Layer.

Die Signale sind mit einem Längenausgleich geroutet. Beim Weg durch den rechten Stecker geht allerdings auf dem GND-Layer die Referenz für den Rückstrom verloren.

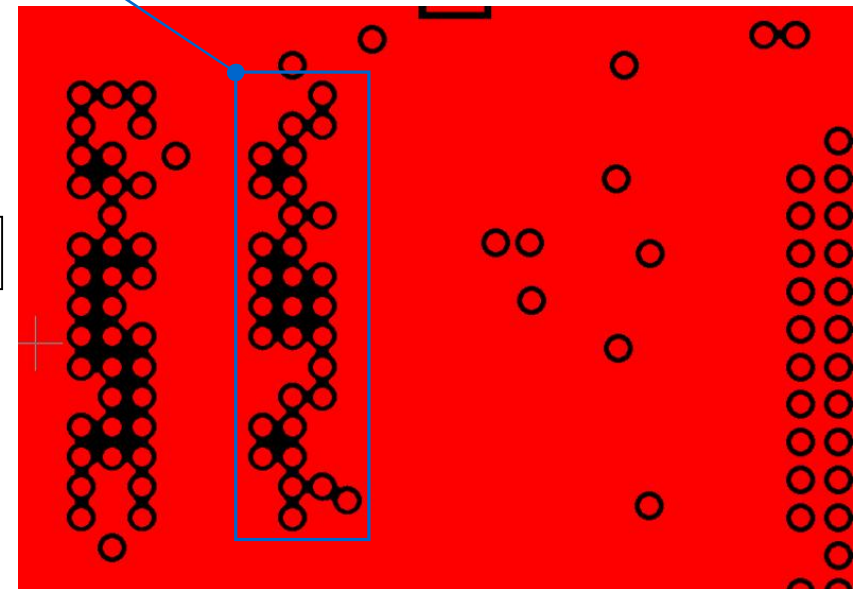


Ansicht **GND** + **SIG**



GND

SIG



LP2010 : Analyse der Powerplane 2

Beispiel (Schlitze in Powerplanes)

In der Powerplane sind Flächen ausgespart und etliche Leiterbahnen eingebettet.

Die daraus folgende Zerstückelung der Powerplane (3V3) ist eine sehr schlechte Lösung.

Die Abschirmwirkung der Plane mit Blick auf das EMV-Verhalten wird stark reduziert.

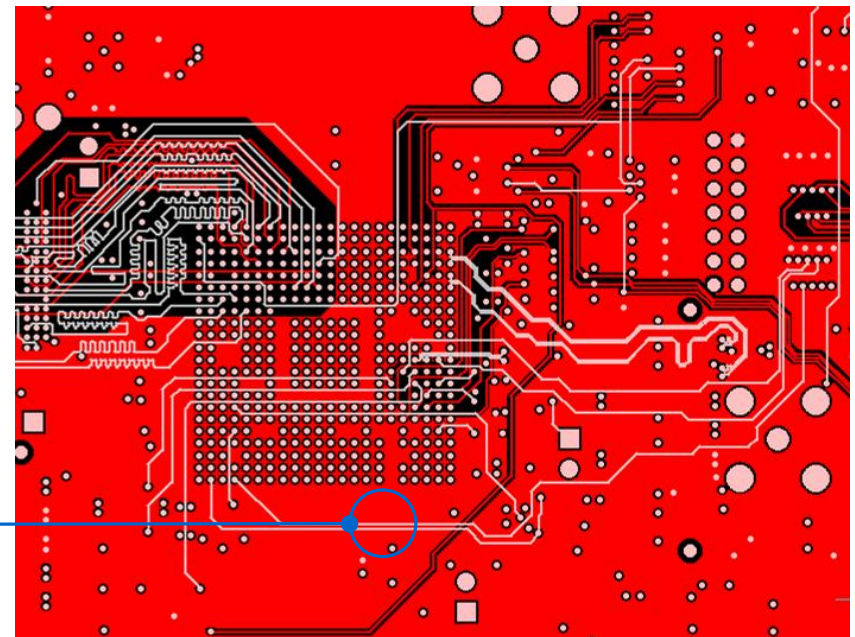
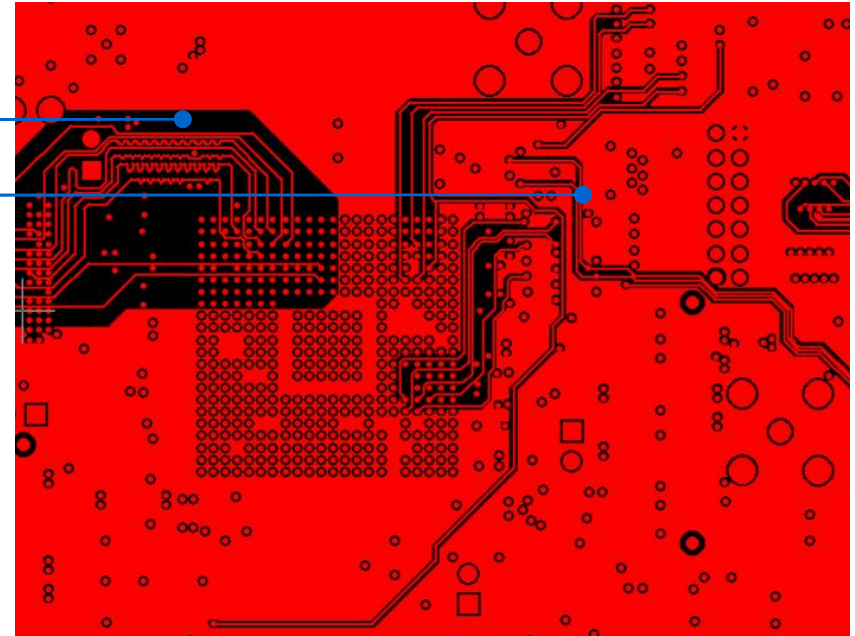
LY-8

LY-8, LY9

Regel (Segmentierte Powerplanes)

Powerplanes dürfen *niemals* segmentiert werden.

Weil der Rückstromweg fehlt, ist die Übertragungsqualität der Signale auf den benachbarten Lagen nicht optimal.



Signalplane und Powerplane 2

Die Ansicht ist eine Kombination aus LY-6 und LY-7.

Oben ist das Gesamtbild, unten die Ausschnittvergrößerung.

Regel

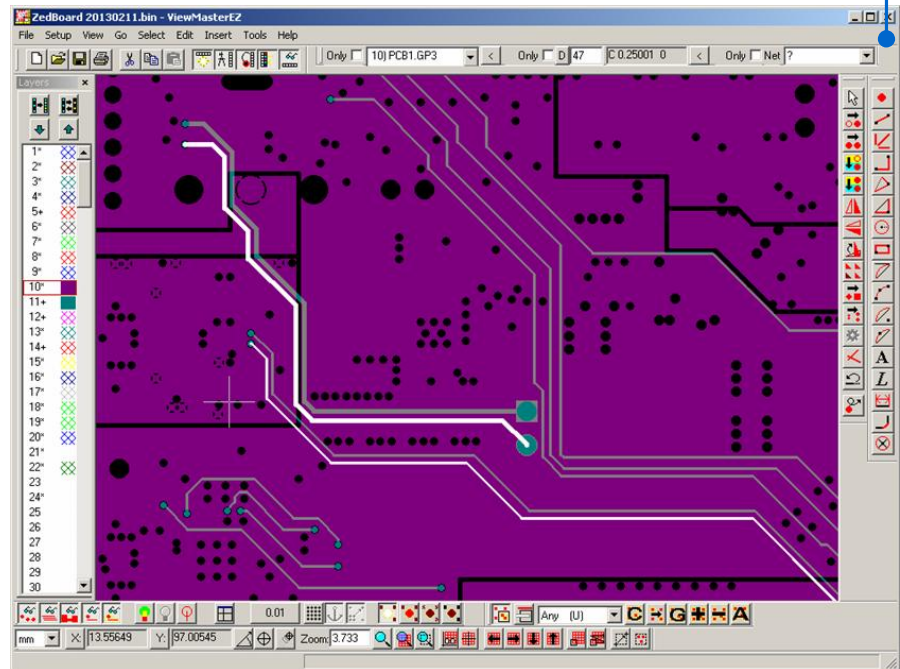
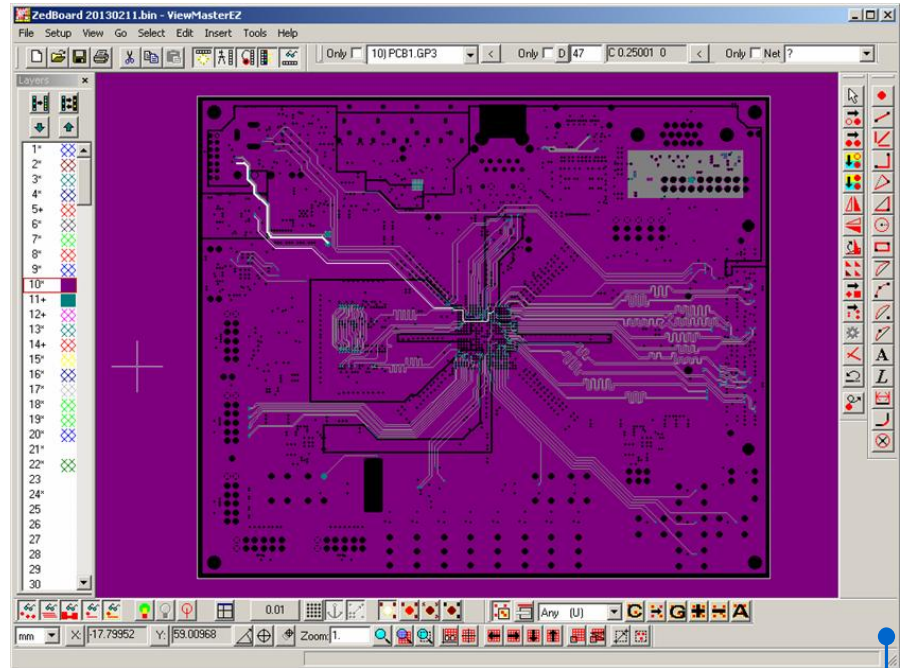
Bei Highspeed-Baugruppen müssen die Signale einen eindeutigen Bezug zum Rückstrompotential haben.

Unzulässig

Die Signale laufen über mehrere unterschiedliche Potentialflächen. Die Signalintegrität ist *nicht* gegeben. Die Signale sind unkontrolliert.

Maßnahme

Flächige Planes definieren. Beim Routen den Signalbezug beachten.



Crosstalk : Differentielle Leiterbahnführung

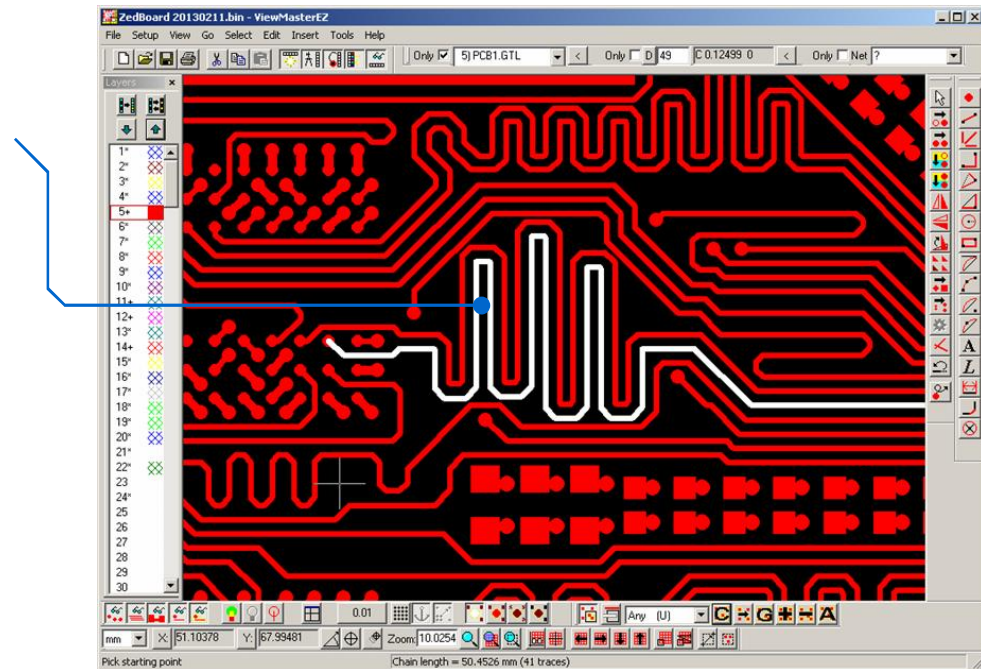
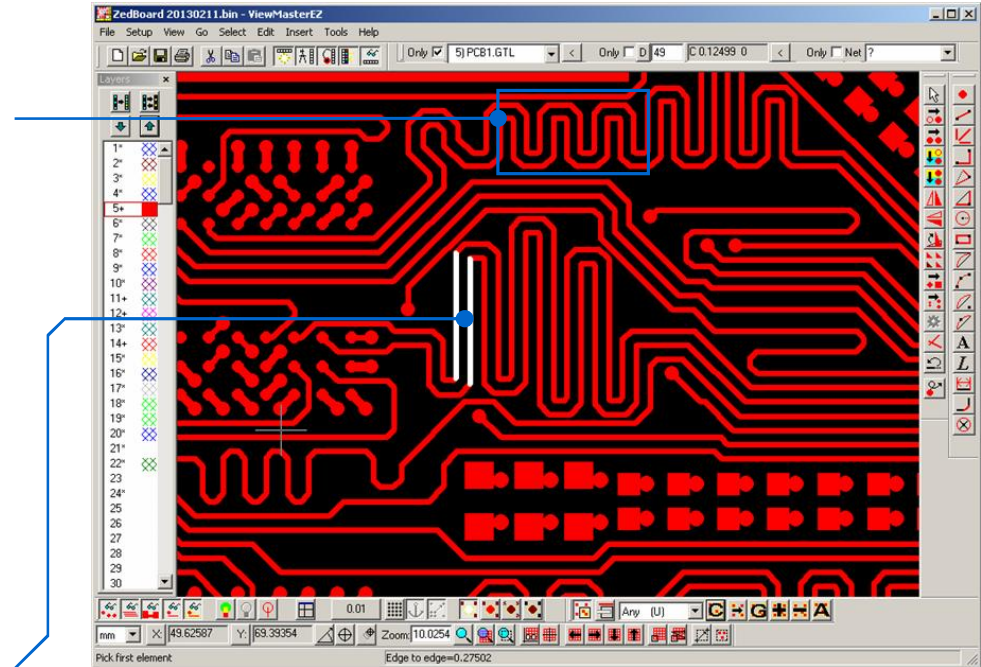
Bei der differentiellen Übertragung besteht die Strategie in der bewußt vorgesehenen Kopplung zwischen parallel gerouteten Signalleiterbahnen. Dabei sind die Leiterbahnabstände besonders zu beachten.

Unzulässig

Der Abstand der beiden zusammengehörenden Signalleiterbahnen ist mit $275\mu\text{m}$ größer, als der Abstand von $254\mu\text{m}$ für eine der Signalleiterbahnen zu sich selbst.

Maßnahme

Am CAD-System müssen die Routingparameter in den Constraints modifiziert werden. Eventuell ist ein Umlazieren der Komponenten erforderlich.



Crosstalk in der 3. Dimension

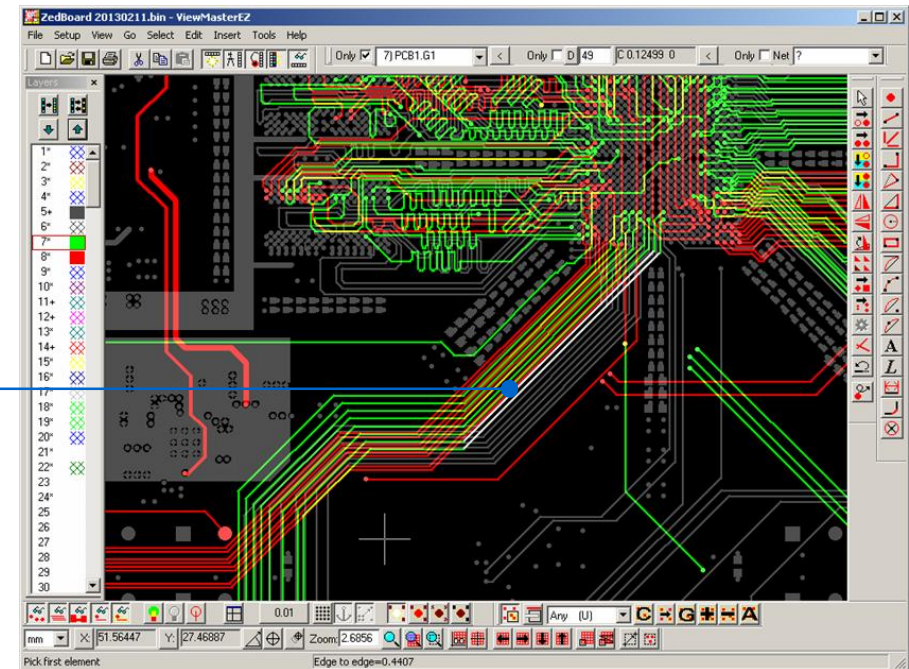
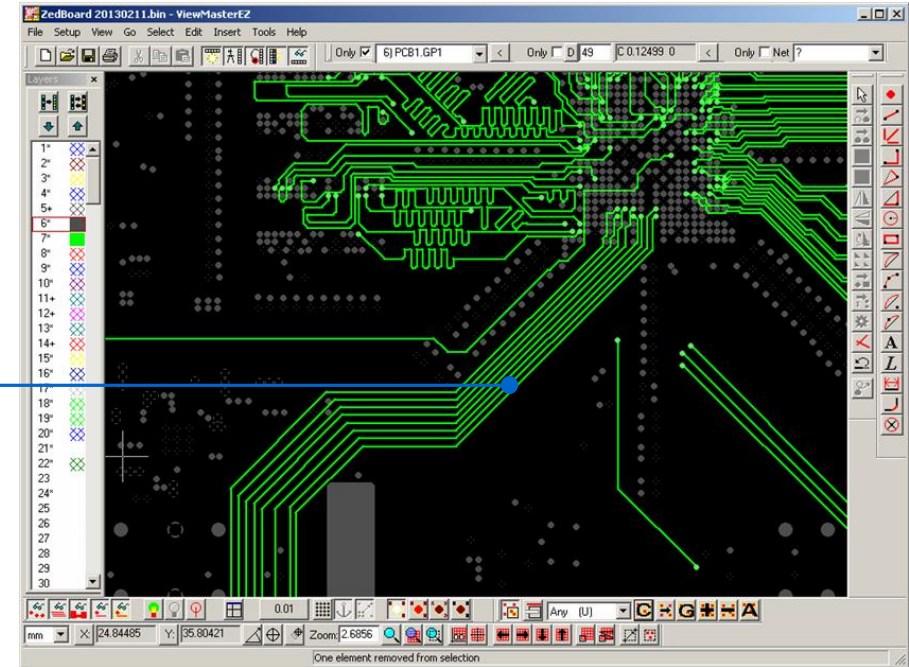
Den Abstand von Bildstrukturen zu berechnen gehört zu den üblichen Aufgaben eines CAD-Systems. In der Fläche ist diese Aufgabe auf der Basis der Vektorkoordinaten und der konstruktiven Geometrien zu lösen. Für die Analyse im Raum ist die Kenntnis der Topologie des Multilayers *absolut notwendig*.

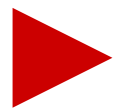
Beispiel

Der Abstand Leiterbahn zu Leiterbahn ist in der Ebene $440\mu\text{m}$ aber $125\mu\text{m}$ im Raum (LY-3 (grün) zu LY-4 (rot)).

Maßnahme

Die Signlräume im Lagenaufbau trennen und/oder die Leiterbahnen orthogonal routen.





Stromversorgung



LP2010 : Impedanz des Stromversorgungssystems

MultiPowerSystem

Strategische Ziele bei der Konstruktion von Stromversorgungssystemen für digitale Baugruppen sind eine *niedrige Impedanz*, eine *hohe Kapazität* und *geringe Resonanzen*.

Um eine effektive Kapazität zwischen benachbarten VCC- und GND-Powerplanes aufbauen zu können, müssen die Abstände der Planes möglichst klein und die Flächen möglichst groß sein.

Bei einer Fläche $< 35\text{cm}^2$ ist die Kapazität zu gering, um wirkungsvoll zu sein. Zur Erhöhung der Kapazität können VCC- und GND-Planes übereinander gestapelt werden.

Ein geringer Abstand zwischen den Powerplanes führt ebenfalls zu einer gleichmäßig niedrigen Impedanz auf der gesamten Fläche der Plane.

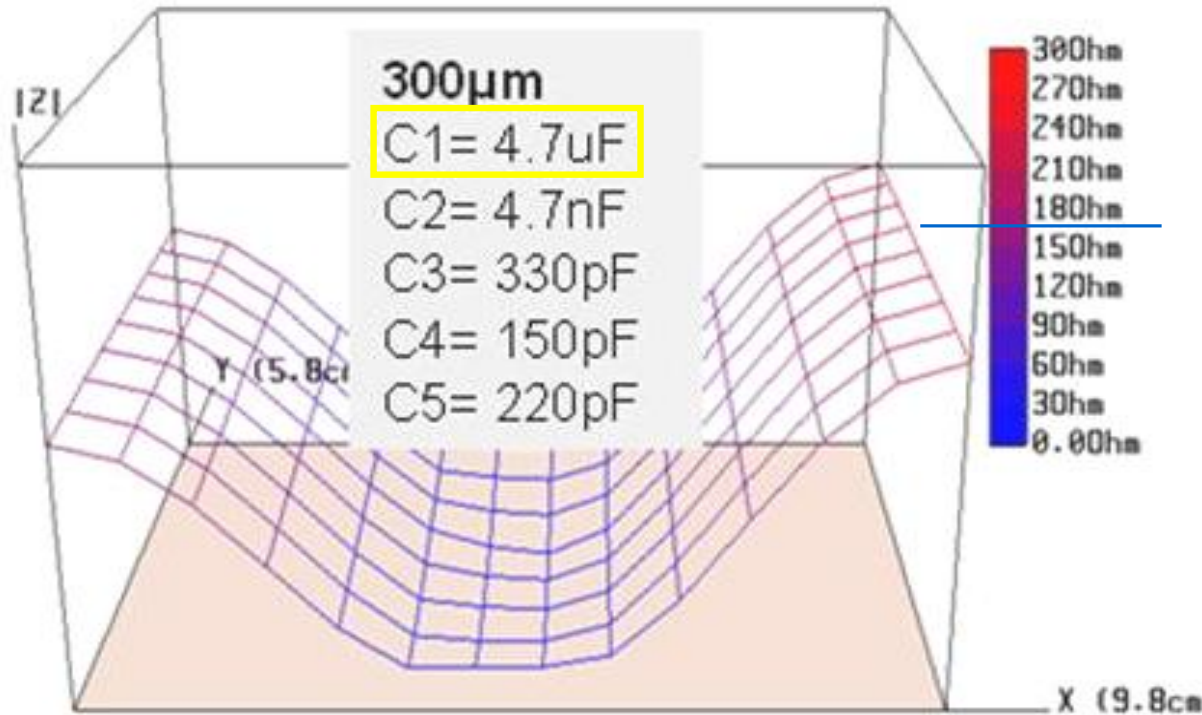
Durch die Platzierung individuell auf die Leiterplatte/Baugruppe abgestimmter Kondensatorgruppen können Resonanzfrequenzen gedämpft werden.

Nachfolgend ist die Impedanz der 2V5-Plane mit einer Fläche von 58.0 x 98.0mm für unterschiedliche GND-VCC-Abstände berechnet.



LP2010 : Impedanz des Stromversorgungssystems 1

Variante 1 300µm Distanz der Powerplanes für VCC und GND.



Software für die Berechnung der Kondensatoren :

"Silent V.4.01" der Fa. DCC

Kondensatortyp :

X7R -Keramikkondensatoren

Quelle

DCC /Nils Dirks

Unitel/Gerhard Eigelsreiter

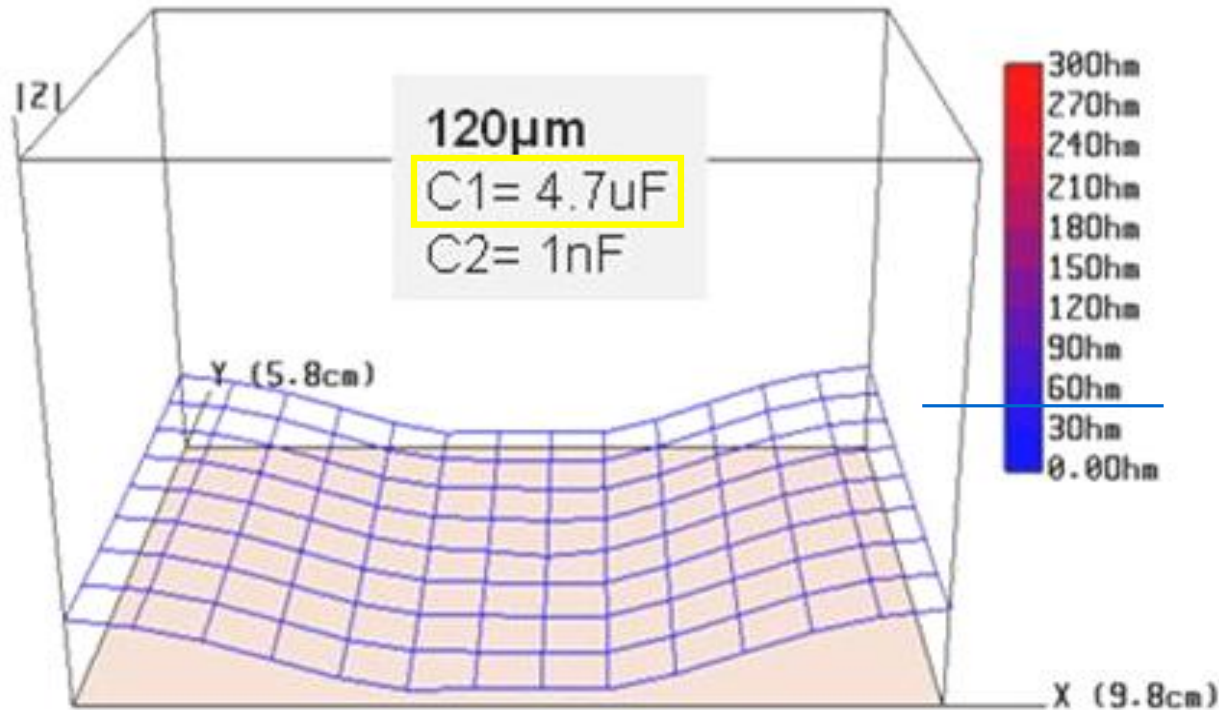
Die Impedanz des Stromversorgungssystems ist unregelmäßig. Den niedrigen Werten im Mittenbereich stehen relativ hohe Werte von zirka 18 Ohm an den Randbereichen der Leiterplatte entgegen.

Für die Dämpfung der erwarteten Resonanzfrequenzen wird eine Gruppe von 5 Kondensatoren benötigt.



LP2010 : Impedanz des Stromversorgungssystems 2

Variante 2 120µm Distanz der Powerplanes VCC und GND.



Software für die Berechnung der Kondensatoren :

"Silent V.4.01" der Fa. DCC

Kondensatortyp :

X7R -Keramikkondensatoren

Quelle

DCC /Nils Dirks

Unitel/Gerhard Eigelsreiter

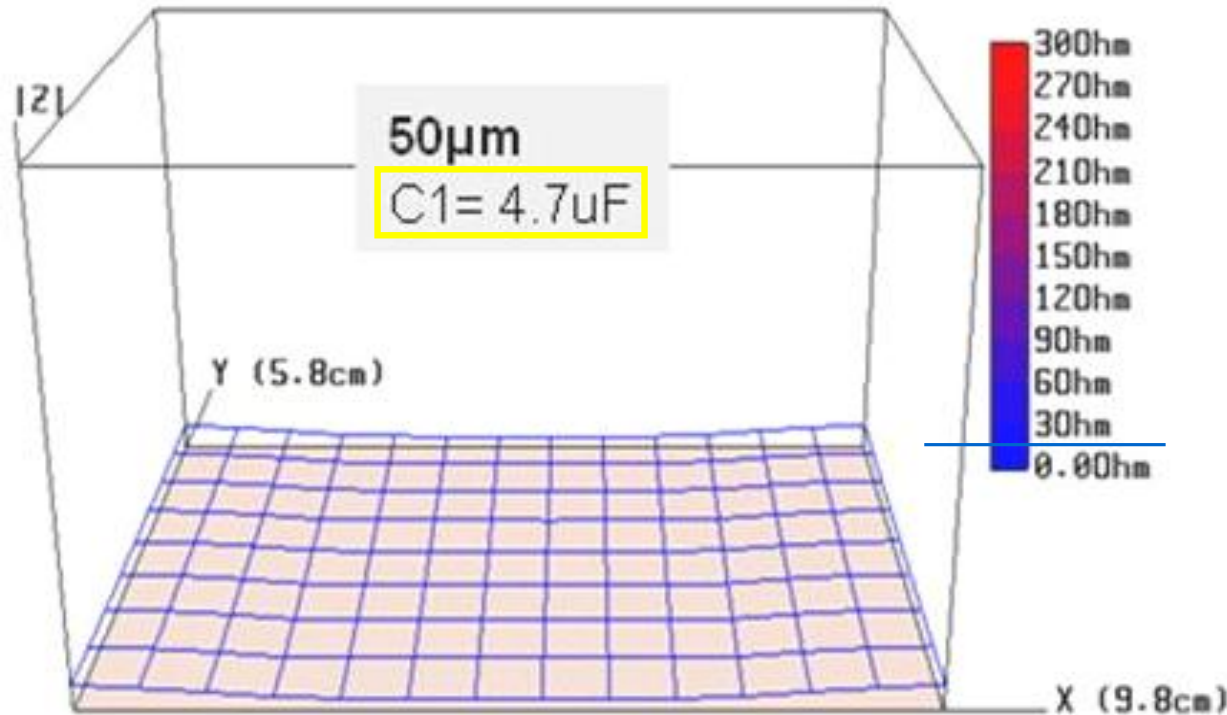
Die Impedanz des Stromversorgungssystems ist noch unregelmäßig. Den niedrigen Werten im Mittenbereich stehen höhere Werte von zirka 4 Ohm an den Randbereichen der Leiterplatte entgegen.

Für die Dämpfung der erwarteten Resonanzfrequenzen wird eine Gruppe von 2 Kondensatoren benötigt.



LP2010 : Impedanz des Stromversorgungssystems 3

Variante 3 50µm Distanz der Powerplanes VCC und GND.



Software für die Berechnung der Kondensatoren :

"Silent V.4.01" der Fa. DCC

Kondensatortyp :

X7R -Keramikkondensatoren

Quelle

DCC /Nils Dirks

Unitel/Gerhard Eigelsreiter

Die Impedanz des Stromversorgungssystems ist praktisch gleich über die Fläche der Powerplane. Im Mittenbereich liegen die Werte bei <1 Ohm, in den Randbereichen bei maximal 1.5 Ohm.

Für die Dämpfung der erwarteten Resonanzfrequenzen wird eine Gruppe von 1 Kondensator benötigt.





Multilayerdokumentation



Wann muß der Bauplan vorliegen ?

Sobald das Konzept für die Konstruktion einer Baugruppe vorliegt, gibt es für den weiteren Ablauf fünf elementare Abschnitte :

- 1 Erstellen des *Konzeptes* für die Konstruktion eines Gerätes
- 2 Erstellen des *Schaltplanes* und der weiteren Vorlagen für CAD
- 3 Erstellen des *CAD-Layouts* und Weitergabe der Daten an CAM
- 4 Produktion der *Leiterplatten*, Anlieferung an den Baugruppenfertiger
- 5 Fertigung der *Baugruppen*, Funktionstest, Lieferung an den Kunden

Heute muß zum Zeitpunkt der Schaltplanerstellung bereits der verbindliche Multilayerbauplan vorliegen. Wesentliche Eigenschaften der späteren Baugruppe (Schaltungssimulation, Funktion, Prozessierbarkeit) sind sonst nicht rechtzeitig zuverlässig berechenbar und planbar.

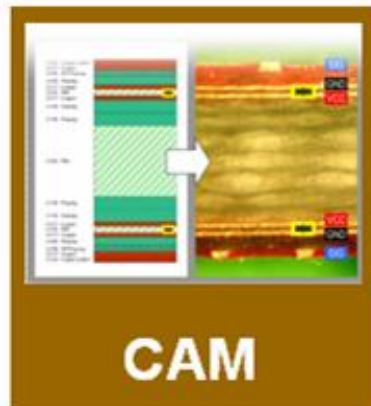
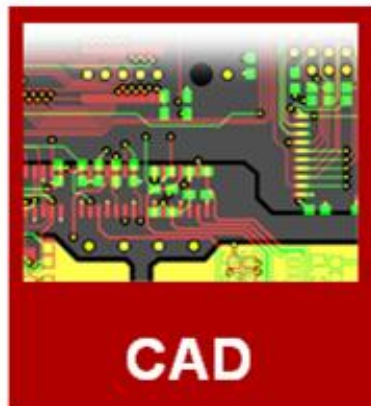
▼ 2008

▼ 2004

▼ 2000

▼ 1990

◀ Wann liegt der Bauplan vor ?



Multilayer 4

Material	Stack-Up	Vias	Parameter	Layer
Plated	25µm			LY-Top SIG EM
Copper	17µm			
NP-155fb	50µm		106 SR:70	100-125-100µm d 100 Ω
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	110-100-110µm d 90 Ω
Copper	17µm			LY-2 GND
NP-155ftl	100µm			
Copper	17µm			LY-3 VCC
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	115-100-115µm d 90 Ω
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	100-140-100µm d 100 Ω
Copper	17µm			LY-4 SIG
NP-155ftl	250µm		DRth 1-10	
Copper	17µm			LY-5 SIG
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	100-140-100µm d 100 Ω
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	115-100-115µm d 90 Ω
Copper	17µm			LY-6 GND
NP-155ftl	250µm			
Copper	17µm			
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	100-100-100µm d 90 Ω
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	100-155-100µm d 100 Ω
Copper	17µm			LY-7 SIG
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	
Copper	17µm			LY-8 VCC
NP-155ftl	100µm			
Copper	17µm			LY-9 GND
NP-155fb	70µm		1080 MR:67	110-100-110µm d 90 Ω
NP-155fb	50µm		106 SR:70	100-125-100µm d 100 Ω
Copper	17µm			
Plated	25µm			LY-Bot SIG

Thickness	1.44mm - 1.62mm Bare Board
	1.52mm - 1.71mm ENIG
	1.55mm - 1.75mm HAL
	General tolerance +/- 6%

LA-Drawing	#1038
Date	24.02.2011
Name	Wi
Comment	--

LP-Klasse	starr
Gesamtdicke	1.60mm
Material	FR4
Layer	10
Kontaktiert	ja
BlindVias	nein
BuriedVias	nein
Lagentypen	5 x Sig 5 x Pow
MPS	LY-2 LY-3 / LY-8 LY-9
Pluggen	nein
KM	ja
Impedanz	50 Ω single ended 90 Ω differentiell 100 Ω differentiell
Montage	1 x



Multilayer 5

Material	Stack-Up	Vias	Parameter	Layer
Plated	25µm			LY-Top SIG EM
Copper	17µm			
NP-155fb	50µm	106 SR:70	100-130-100µm d 100 Ω	185µm s 50 Ω
NP-155fb	70µm	1080 MR:67		
Copper	17µm			LY-2 GND
NP-155ftl	150µm			LY-3 SIG
Copper	17µm			165µm s 50 Ω
NP-155fb	70µm	1080 MR:67		LY-4 SIG
Copper	17µm			165µm s 50 Ω
NP-155ftl	150µm	DRth 1-16		LY-5 GND
Copper	17µm			LY-6 VCC
NP-155fb	50µm	106 SR:70		LY-7 GND
Copper	17µm			LY-8 VCC
NP-155fb	50µm	106 SR:70		LY-9 VCC
Copper	17µm			LY-10 GND
NP-155fb	50µm	106 SR:70		LY-11 VCC
Copper	17µm			LY-12 GND
NP-155ftl	150µm			165µm s 50 Ω
Copper	17µm			LY-13 SIG
NP-155fb	70µm	1080 MR:67		165µm s 50 Ω
Copper	17µm			LY-14 SIG
NP-155ftl	150µm			LY-15 GND
Copper	17µm			
NP-155fb	70µm	1080 MR:67		
NP-155fb	50µm	106 SR:70	100-130-100µm d 100 Ω	185µm s 50 Ω
Copper	17µm			
Plated	25µm			LY-Bot SIG

Thickness 1.64mm - 1.84mm Bare Board
 1.71mm - 1.93mm ENIG
 1.75mm - 1.97mm HAL
 General tolerance +/- 6%

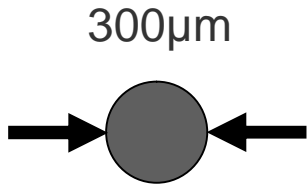
LA-Drawing #1035
 Date 17.12.2010
 Name Wi
 Comment --

LP-Klasse	starr
Gesamtdicke	1.85mm
Material	FR4
Layer	16
Kontaktiert	ja
BlindVias	nein
BuriedVias	nein
Lagentypen	6 x Sig 10 x Pow
MPS	LY-5 bis LY-12
Pluggen	nein
KM	ja
Impedanz	50 Ω single ended 100 Ω differentiell
Montage	1 x

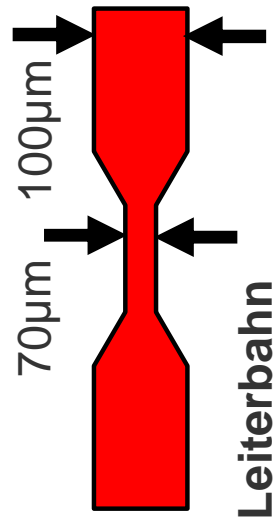


Multilayeraufbauten für BGAs

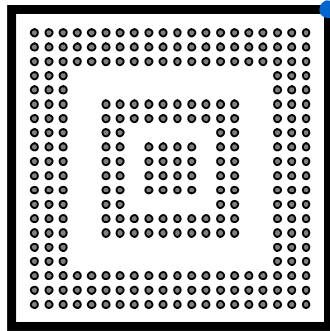
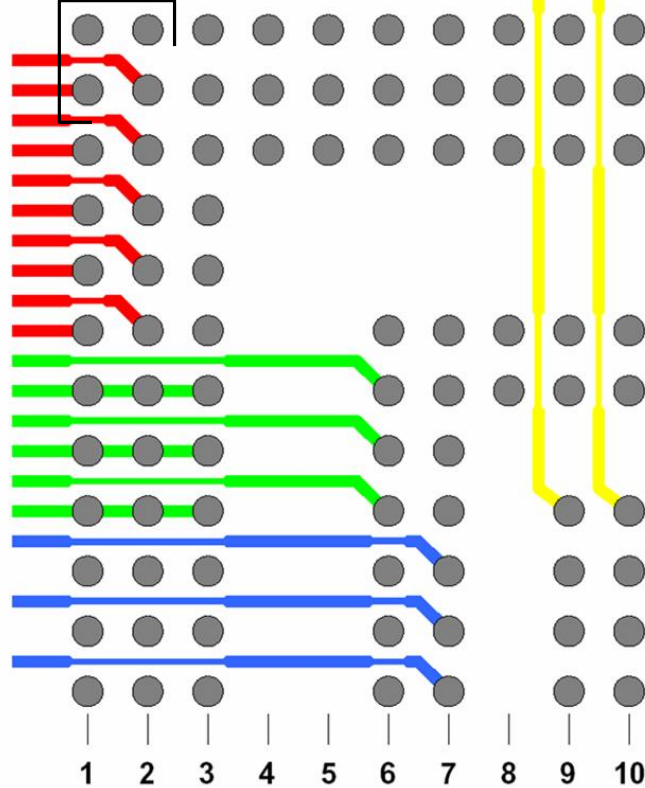
BGA mit 500µm Pitch



Pad



ungebohrt



Die Geometrie des BGAs bestimmt den Lagenaufbau. Das Routing der Signale erfolgt hier auf den ML-Lagen LY-Top, LY-4, LY-5, LY-Bot.

Material	Stack-Up	Vias	Parameter	Layer
Plating	25µm			LY-Top SIG
Copper	17µm			
NP-155fb	50µm	106 SR:70	100-150-100µm d 100 Ω	150µm s 50 Ω
NP-155fb	50µm	106 SR:70		
Copper	17µm		1V8 1V2	LY-2 GND
NP-155ftl	50µm			
Copper	17µm			LY-3 VCC
NP-155fb	65µm	1080 MR:67	4.7µF 1.5nF 4.7µF 10nF	
NP-155fb	65µm	1080 MR:67		LY-4 SIG
Copper	17µm		100-150-100µm d 100 Ω	150µm s 50 Ω
NP-155ftl	600µm			
				DRI-th
Copper	17µm		100-150-100µm d 100 Ω	150µm s 50 Ω
NP-155fb	65µm	1080 MR:67		LY-5 SIG
NP-155fb	65µm	1080 MR:67	4.7µF 150nF	
Copper	17µm			LY-6 VCC
NP-155ftl	50µm			
Copper	17µm		3V3	LY-7 GND
NP-155fb	50µm	106 SR:70		
NP-155fb	50µm	106 SR:70	100-150-100µm d 100 Ω	150µm s 50 Ω
Copper	17µm			
Plating	25µm			LY-Bot SIG

Thickness	1.16mm - 1.42mm Bare Board	LA-Drawing	#1024
	1.24mm - 1.51mm ENIG	Date	11.06.2010 / Rev.: 04.07.2010
	1.27mm - 1.55mm HAL	Name	Wi
	General tolerance +/- 6%	Comment	--

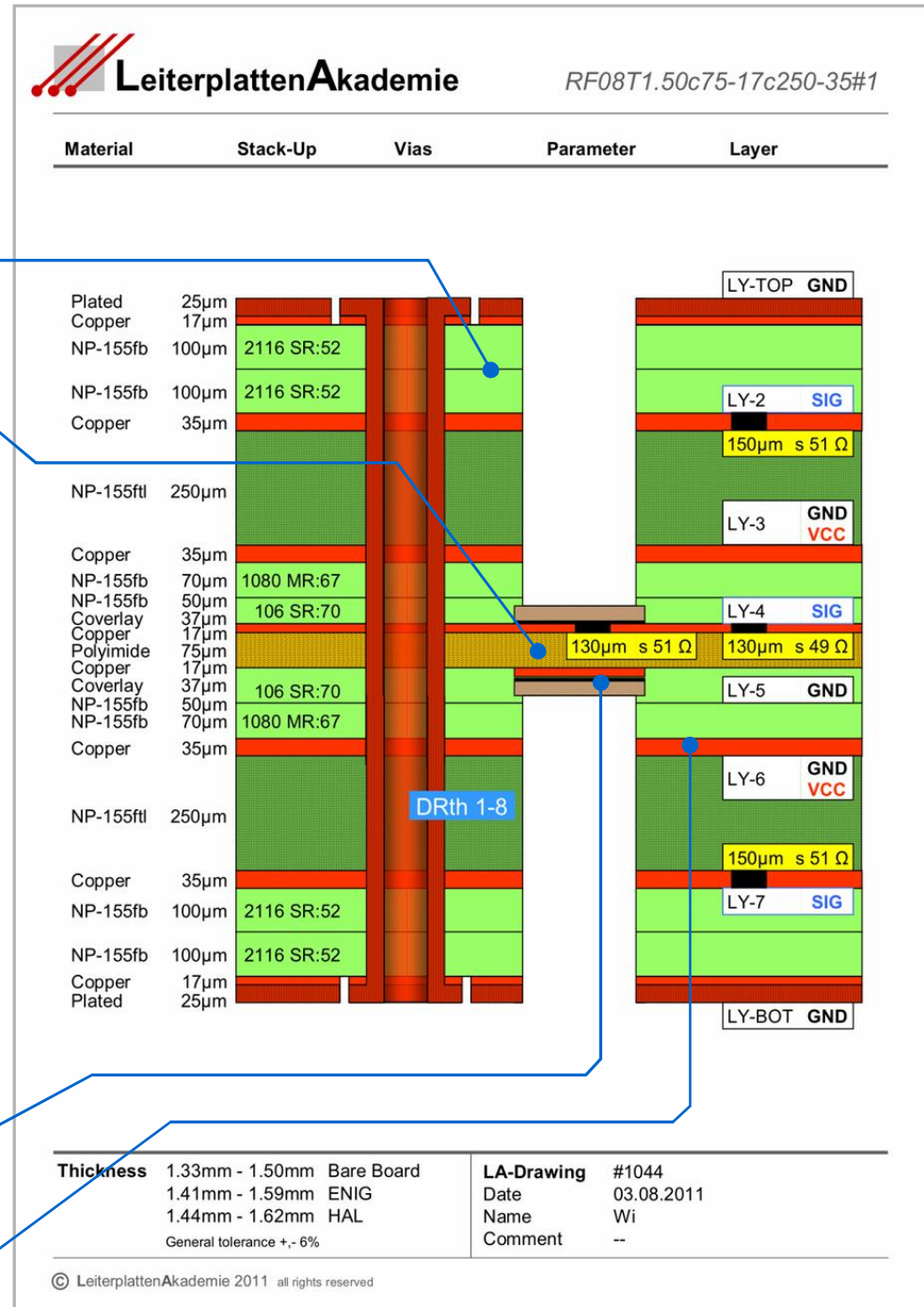
Starrflexible Baugruppen : Legendokumentation

Multilayerbauplan

Bei einem starrflexiblen Multilayer müssen sowohl die Materialien im starren Abschnitt der Leiterplatte beschrieben werden als auch im starrflexiblen.

Gibt es physikalische Anforderungen, die erfüllt werden müssen, dann sind diese Vorgaben deutlich zu machen.

Hier sind gleichbleibend 50 Ohm SE-Impedanzen bei einer Leiterbahnbreite von $130\mu\text{m}$ gefordert. Das ist nur möglich mit einem Wechsel des Bezugspotentials. Für „LY-4 SIG“ ist im Flexbereich „LY-5 GND“ der Bezug, im starren Bereich ist es „LY-6 GND“.



Funktionsmodul und Funktionsräume im Multilayersystem

Material	Stack-Up	Vias	Parameter	Layer
Plated	25µm			LY-Top SIG EM
Copper	17µm			
NP-155fb	50µm	106 SR:70	100-125-100µm d 100 Ω	200µm s 50 Ω
NP-155fb	70µm	1080 MR:67	110-100-110µm d 90 Ω	
Copper	17µm			LY-2 GND
NP-155ftl	100µm			
Copper	17µm		100-115-100µm d 90 Ω	115µm s 50 Ω
NP-155fb	70µm	1080 MR:67	100-225-100µm d 100 Ω	LY-3 SIG
NP-155fb	70µm	1080 MR:67	100-225-100µm d 100 Ω	LY-4 SIG
Copper	17µm			
NP-155ftl	100µm		100-115-100µm d 90 Ω	115µm s 50 Ω
Copper	17µm			LY-5 GND
NP-155fb	50µm	106 SR:70		LY-6 VCC
Copper	17µm			LY-7 GND
NP-155ftl	50µm			
Copper	17µm			LY-8 VCC
NP-155fb	50µm	106 SR:70		
Copper	17µm			
NP-155ftl	100µm			
Copper	17µm			LY-9 VCC
NP-155fb	50µm	106 SR:70		LY-10 GND
Copper	17µm			
NP-155ftl	100µm			
Copper	17µm		100-115-100µm d 90 Ω	115µm s 50 Ω
NP-155fb	70µm	1080 MR:67	100-225-100µm d 100 Ω	LY-11 SIG
NP-155fb	70µm	1080 MR:67	100-225-100µm d 100 Ω	LY-12 SIG
Copper	17µm			
NP-155ftl	100µm		100-115-100µm d 90 Ω	115µm s 50 Ω
Copper	17µm			LY-13 GND
NP-155fb	70µm	1080 MR:67	110-100-110µm d 90 Ω	
NP-155fb	50µm	106 SR:70	100-125-100µm d 100 Ω	200µm s 50 Ω
Copper	17µm			
Plated	25µm			LY-Bot SIG

DRth 1-14

Thickness	1.37mm - 1.55mm	Bare Board
	1.45mm - 1.64mm	ENIG
	1.49mm - 1.67mm	HAL
	General tolerance +/- 6%	

LA-Drawing	#1068
Date	13.02.2013
Name	Wi
Comment	--

Je nach Kombination von Signal-, GND- und VCC-Planes ergeben sich unterschiedliche Funktionen im Multilayersystem.

Signalintegritätsmodul 1

Bezug Signallage zu GND-Plane

Powerintegritätsmodul

Bezug GND- zu VCC-Plane

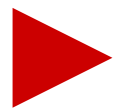
Signalintegritätsmodul 2

Bezug Signallage zu GND-Plane

 Stromversorgungsraum

 Signalraum



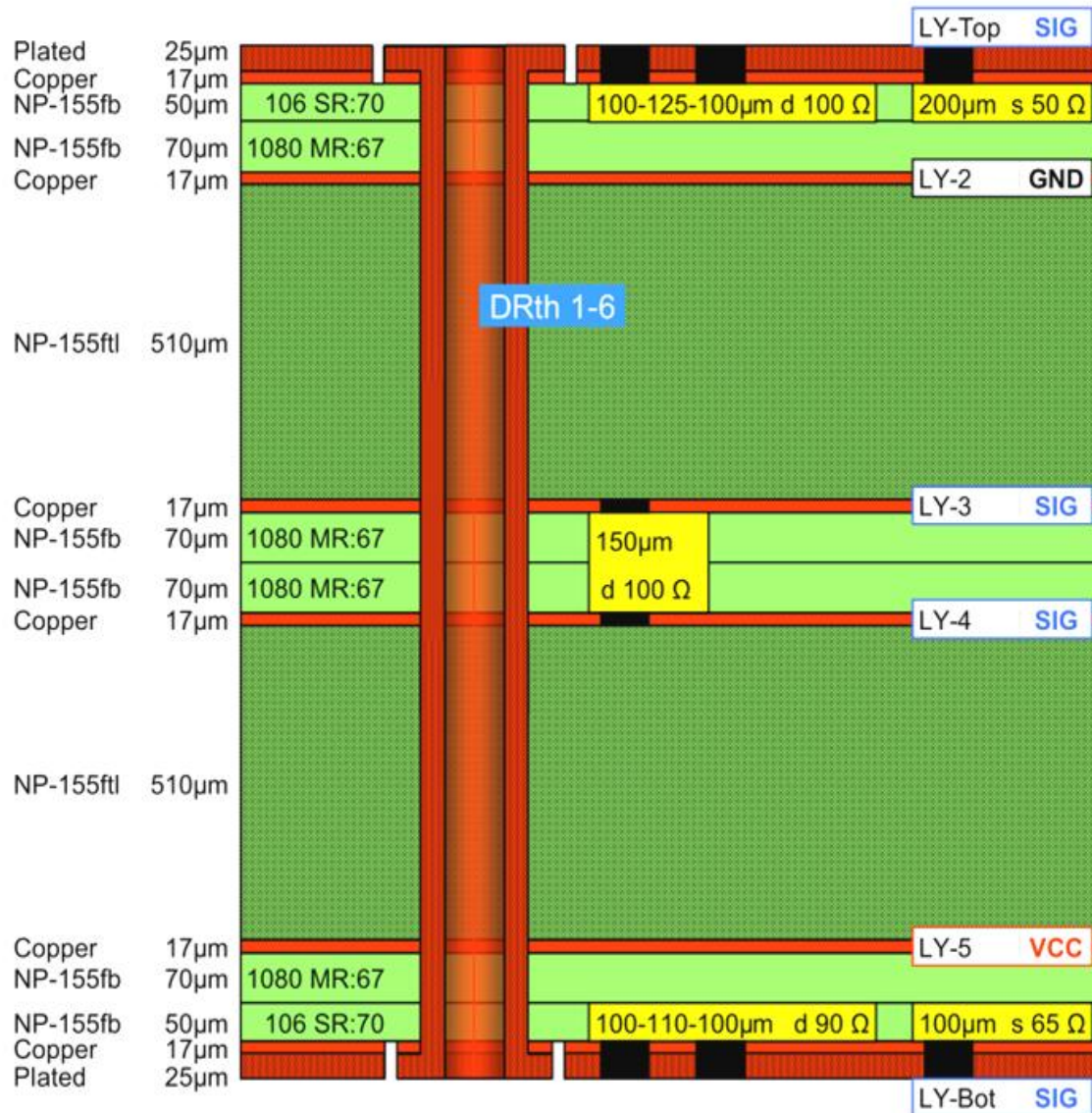


Kosten für Multilayer



Materialkosten : 6-Lagen Multilayer 1

Eingesetzte Materialien für die Fertigung eines starren Multilayers.



Material	Wert	EUR
Kupferfolie	17µm	0.65
Prepreg	106	1.89
Prepreg	1080	1.01
Laminat	510µm Cu17µm	7.31
Prepreg	1080	1.01
Prepreg	1080	1.01
Laminat	510µm Cu17µm	7.31
Prepreg	1080	1.01
Prepreg	106	1.89
Kupferfolie	17µm	0.65

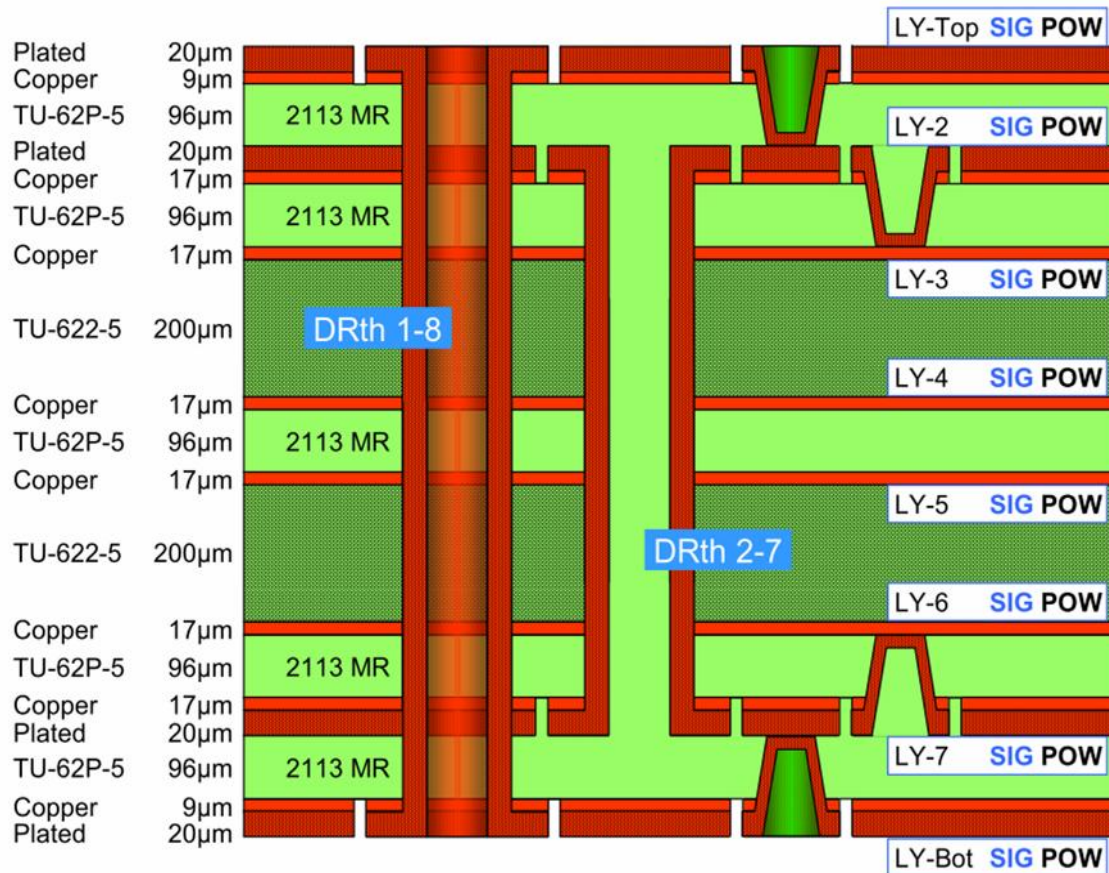
Die Kosten gelten für einen Produktions-
zuschnitt mit einem Maß von 460x610mm.

Σ 23.74



Materialkosten : 8-Lagen Multilayer 1

Eingesetzte Materialien für die Fertigung eines starren Multilayers.



Material	Wert	EUR
Kupferfolie 17µm		0.65
Prepreg 2113		1.14
Kupferfolie 17µm		0.65
Prepreg 2113		1.14
Laminat 200µm		4.33
	Cu17µm	
Prepreg 2113		1.14
Laminat 200µm		4.33
	Cu17µm	
Prepreg 2113		1.14
Kupferfolie 17µm		0.65
Prepreg 2113		1.14
Kupferfolie 17µm		0.65
Σ		16.96

Die Kosten gelten für einen Produktions-zuschnitt mit einem Maß von 460x610mm.

Hinweis Als Referenz für TUC TU-62... wurden die Kosten für NanYa NP-155 eingesetzt.

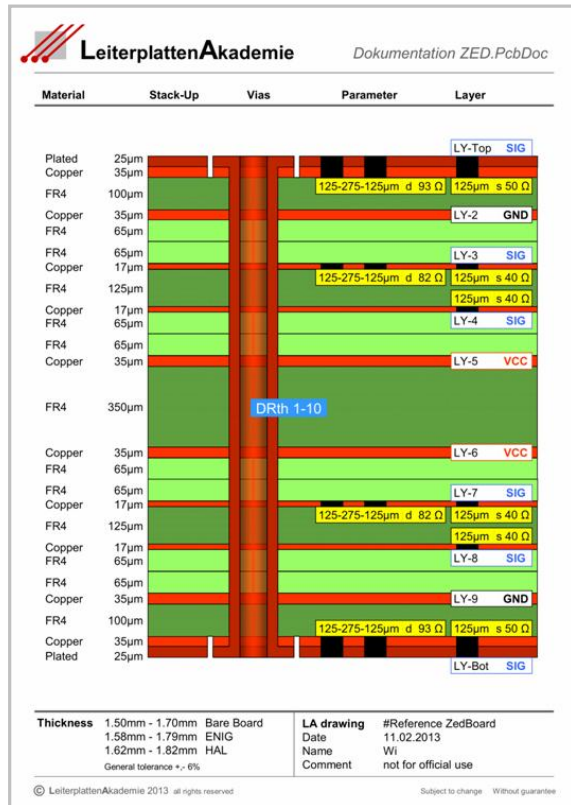


Ist Integrität bezahlbar ?

Zum Glück ist die Physik ein zuverlässiger Partner. Andererseits, leider, ist es aussichtslos, mit der Physik über Kosten zu verhandeln.

Es ist unsere Entscheidung, welches Maß an Leistung und Zuverlässigkeit wir benötigen. Ein Mehr an Leistung und Zuverlässigkeit ist üblicherweise mit einem Mehr an Kosten verbunden.

Uns bleibt die Wahl, an welcher Stelle in der Produktionsabfolge wir sinnvollerweise höhere Kosten akzeptieren. Die Physik hat sich bereits entschieden. Sie setzt auf einen leistungsfähigen Multilayerlagenaufbau.



10 Lagen versus 14

100 Stück

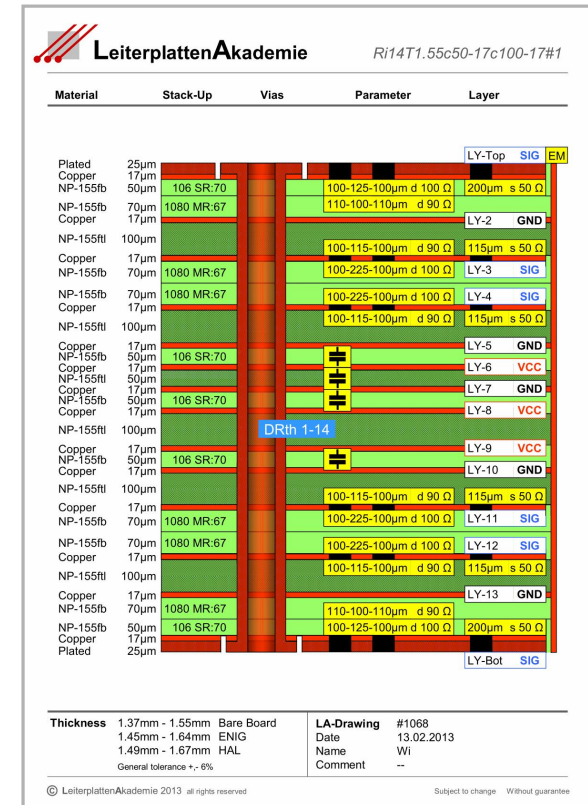
38,81 €

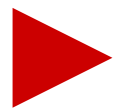
54,75 €

5000 Stück

10,17 €

16,06 €





Fazit



Fazit

Die Funktion eines Multilayers oder einer Baugruppe definiert sich nicht allein durch die überlegte Aufeinanderschichtung von Basismaterialien.

Die Strategie muß sein, alle Partner vom 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 **Informationen** 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.

Die Materialien und die Fertigungsprozesse der Partner müssen den Beteiligten vertraut sein.

Die *persönliche Kompetenz* entscheidet und nur die *qualifizierte* und *kontinuierliche* Ausbildung der Menschen, die dieses Produkt herstellen, garantiert die *zuverlässige* Funktion von Highspeed-Baugruppen.



Danke.



Informationen zur
LA - LeiterplattenAkademie GmbH



LeiterplattenAkademie



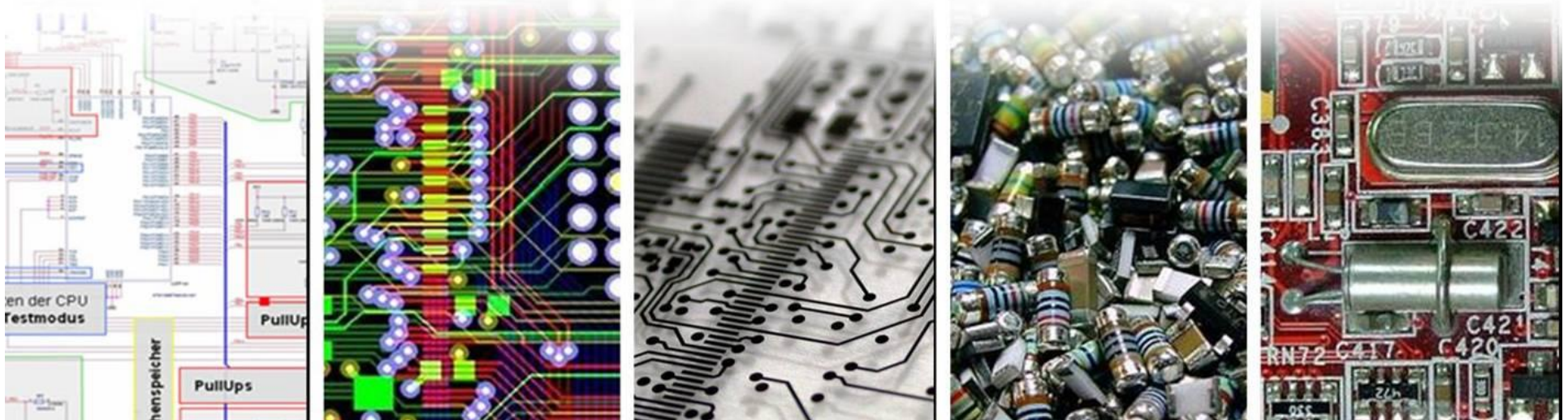
Die LA - LeiterplattenAkademie GmbH

Die Sicherung des Standortes Deutschland in Europa und der Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit setzt eine systematische und kontinuierliche Qualifikation der Mitarbeiter/innen eines Unternehmens voraus.

Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einer Industriegesellschaft und ihre technologische Kompetenz am Weltmarkt wird (auch) durch die Qualität ihrer Elektronikprodukte bestimmt.

Das erfordert eine fachlich hochwertige Aus- und Weiterbildung. Wir verstehen es als unserer Aufgabe, Fachwissen in den entscheidenden Bereichen zu vermitteln.

- Schaltplanentwicklung
- CAD-Design
- CAM-Bearbeitung
- Leiterplattentechnologie
- Baugruppenproduktion





Arnold Wiemers ... über mich :

Ich habe 29 Jahre im CAD-Design und in der Konstruktion und Produktion von Leiterplatten gearbeitet. Von 1985 bis 2009 war ich bei der Firma ILFA GmbH in Hannover. Dort war ich verantwortlich für die Fachbereiche CAD und CAM, für die Planung von Produktionsaufträgen und für die technische Dokumentation des Unternehmens im Internet.

Mein erster Kontakt zur Leiterplattentechnik hat sich 1982 ergeben. Als selbstständiger Softwareprogrammierer habe ich damals typische Anwendungen wie die Kalkulation und die Fertigungsleitsteuerung für die Produktion von komplexen Leiterplatten geschrieben. Die Programmierung dauert bis heute an.

Mit den Jahren sind diverse technische Publikationen, Seminare, Workshops und Konferenzbeiträge zur Leiterplattentechnologie entstanden (~ MFT, Impedanz, MPS, Multilayersysteme, Designregeln, Gerber, Projekt LP2010,...).

IPC-Zertifikate zum CID, CID+ und Instructor. FED Designer. FED Referent.

In 2009 Gründung der "LA - LeiterplattenAkademie GmbH" mit Sitz in Berlin.





© *Alle Rechte an den Unterlagen liegen beim Autor Arnold Wiemers. Eine Vervielfältigung gleich welcher Art, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Genehmigung der LA - LeiterplattenAkademie GmbH nicht zulässig. Alle Angaben in diesen Unterlagen sind ohne Gewähr.*

Kontakt

LA - LeiterplattenAkademie GmbH
Krefelder Straße 18
D-10555 Berlin

www.leiterplattenakademie.de

Geschäftsleitung

Kathrin Fechner

Technischer Direktor

Arnold Wiemers

Telefon 030 / 34 35 18 99

Telefax 030 / 34 35 19 02

Telefon 0171 / 358 3712

Telefax 0531 / 126441

eMail

info@leiterplattenakademie.de

eMail

awi@leiterplattenakademie.de



Stichwortverzeichnis

FPGA Folie

BGA (Lagenaufbau Pitch 500ym)	51
BGA (Routing)	51
Basismaterial	6,15,16
Basismaterial (Feuchtigkeitsaufnahme)	9
Basismaterial (Flammklasse)	9
Basismaterial (Gewicht)	9
Basismaterial (Herstellerfirma)	7
Basismaterial (Trägermaterial)	7
Bauteilplatzierung im Layout	4
Bisphenol A	14
Bohrungen	32
CAN Bus	28
CTE	8
Chemie des Basismaterials	13
Crosstalk (CAD-Layout)	40,41
Crosstalk (Evaluationsboard)	40,41
Crosstalk (in der 3. Dimension)	41
D5880	21,24
D6002	21,24
D6006	21
Dicyandiamid	14
Dielektrikum	7
Dielektrikum (effektiv)	19
Differentielle Impedanz	12
Duramid CE-Cu	21
Duraver 114	21,24
Duraver CE	21
Duraver P97	21,24
EMV-Verhalten	33,34
Einflußsphäre	19
Empfänger	23
Epichlorhydrien	14
Epoxydharz	10,14
Epsilon-R	8
Evaluationsboard (Lagenaufbau LA)	53
Fazit	59
Gewebedichte	11
Gewebestruktur	10
Gewebetyp 106	11
Gewebetyp 1067	11

FPGA Folie

Glasgewebe	10
Glasgewebe Typ E	10
Glasgewebe Typ MS	10
Glasgewebe Typ S	10
Härter	14
Impedanz	27
Impedanz (LP2010 Layout und Baugruppe)	28
Impedanz der Stromversorgung(LP2010)	43,44,45,46
Impedanzmodul (Bild)	29
Impedanzmodul (Differential Dual Stripline)	31
Impedanzmodul (Grafik)	29
Impedanzmodul (Single Ended Dual Stripline)	30
Impedanzwert (abhängig vom Glasgewebe)	12
Impedanzwert (typisch)	28
Infiniband	28
Informationstransfer	23
Integritas	5
Isola	21
Kettfaden	11
Konstruktionsabschnitte einer Baugruppe	48
Kontaktierungsstrategie	33,34,36
Kosten (Multilayer)	57
Kosten für Multilayer	54,58
Kritische Leiterbahnlänge	22
Kritische Signalweglänge	26
LP2010 (Impedanz der Stromversorgung)	43,44,45,46
Lagenaufbau (Funktionsmoduln LA)	53
MC100	21
Materialkosten (6-Lagen Multilayer)	55
Materialkosten (8-Lagen Multilayer)	56
Matsushita	21
Multilayer (Kosten)	57
Multilayerbauplan (10-Lagen)	49
Multilayerbauplan (16-Lagen)	50
Multilayerdokumentation	47
NP-155f	21,24
NanYa	21
PEEK	16
PTFE	15
Permittivität	18,24



Stichwortverzeichnis

FPGA	Folie
Permittivität (relativ)	20
Polyetheretherketon	16
Polyimid	21
Polytetrafluorethylen	15
Powerplane (Analyse)	38
Produktionszuschnitt (Materialkosten)	55,56
Propagation Delay	24, 26
Ro4003	21
Ro4350	21,24
Rogers	21
Routingkanäle	36
Rückstrom	38
Rückstromweg	37
SATA	28
Schußfaden	11
Sender	23
Signal Rise Time	26
Signalanstiegszeit	23
Signalführung	35
Signalgeschwindigkeit	17
Signalgeschwindigkeit (Basismaterial)	21
Signalgeschwindigkeit (Beispiel)	19,20
Signalgeschwindigkeit (Formel)	18
Signalleitung	23
Signalplane und Powerplane (Evaluationsboard) ...	39
Signalübertragung (abhängig von der Topologie) ..	26
Signalweglänge (kritisch)	25
Speicherkapazität	18
Starrflexible Multilayer (Bauplan)	52
Stromversorgung	42
Stubs	33
TBBA	14
TMM10i	21,24
TMM6	21,24
Tangens Delta	8
Teflon	15,21
Tetrafluorethylen	15
Tg-Wert	8
Ultralam2000	21
Viaanhang	33

