

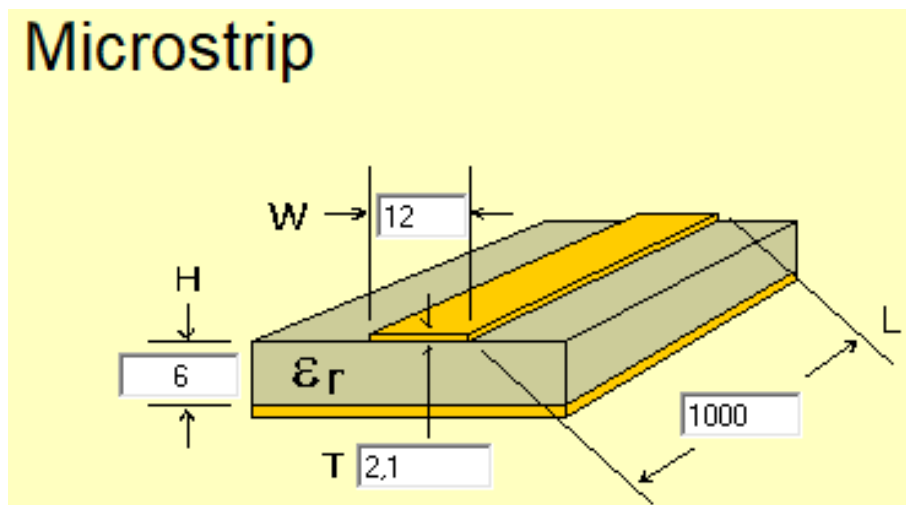
# Berechnung von Leiterbahnen auf Platinen

Wilhelm, DL6DCA, 29.03.2022

Bei der Erstellung von Platinen für HF mäßige Anwendungen, z.B. Breitbandverstärker oder auch Vorverstärker für eine bestimmte Frequenz, ist wesentliche Grundvoraussetzung die impedanzrichtige Auslegung der Leiterbahnen. Nur so werden gute S11 Anpassungen (SWR) und auch im Sinne optimaler Verstärkung bei geringem Rauschmaß die entsprechende Anpassung passiver und aktiver Bauelemente erreicht.

Für den Funkamateure der selber Platinen entwickelt und ggfs. auch selber ätzt, gibt es mehrere Möglichkeiten der Auslegung solcher Leiterbahnen. Die folgenden Beispiele sind nicht abschließend.

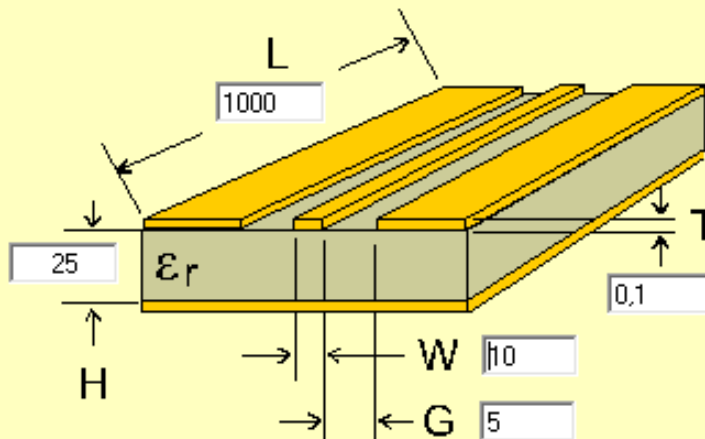
Folgende Möglichkeiten bieten sich hauptsächlich an:



Bei der Microstrip-Struktur handelt es sich um eine einzelne Leiterbahn auf einer doppelseitig kaschierten Platine. Neben der Microstrip-Struktur sind keine oder erst in erheblichem Abstand weitere Leiterbahnen vorhanden. Sie eignet sich hauptsächlich für die Herstellung von z.B. Filtern, wegen der fehlenden Masse auf der Bestückungsseite weniger zur Realisierung von Schaltungen.

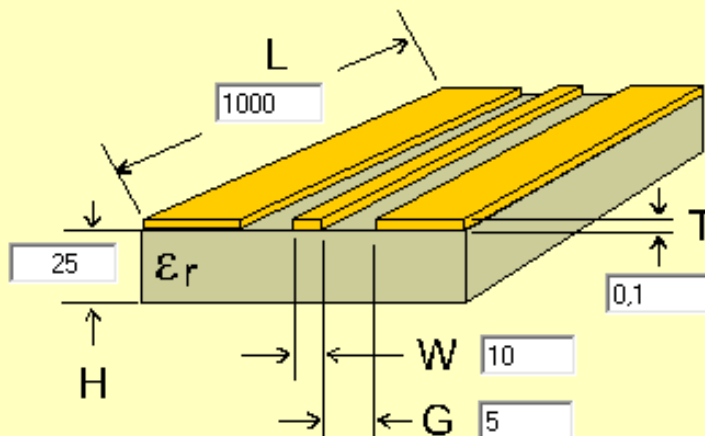
## Coplanar Waveguide

With Groundplane



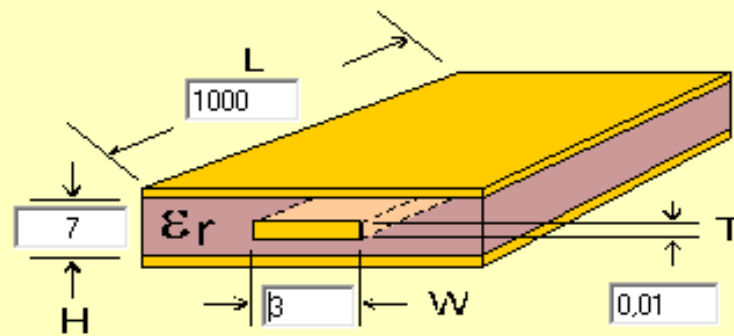
## Coplanar Waveguide

With Groundplane



Bei der Coplanar Waveguide Lösung sind beidseitig der Leiterbahn Masseflächen angeordnet. Für uns Funkamateure kommt eigentlich nur die Ausführung auf doppelseitig kaschiertem Platinenmaterial infrage, da nur so die Impedanz-Rahmenbedingungen eingehalten werden können. Industrielle Lösungen, wo die unterseitige Kaschierung durch z.B. eine Kühlkörperfläche ersetzt wird, ist für unsere Anwendungen schwierig zu handhaben.

# Stripline



Die Stripline kommt, bedingt durch die im Trägermaterial liegende Leiterbahnen, teilweise auch mehrere Ebenen übereinander, nicht für die Selbsterstellung in Frage.

Bei der Microstrip Leitung wird die Impedanz im Wesentlichen über deren Breite, die Dicke des Trägermaterials - die gleichzeitig den Abstand Microstrip zu Masse festlegt - und die dielektrische Eigenschaft des Trägermaterials geprägt. Bei der Coplanar Waveguide treten dann noch der Abstand der beidseitigen Masseflächen hinzu. Die Dicke der Leiterbahn fließt ebenfalls in die Berechnung mit ein.

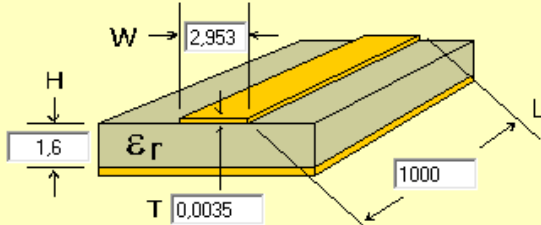
Glücklicherweise gibt es mehrere Berechnungsprogramme, die die umfangreichen Berechnungen nach entsprechender Eingabe der Rahmenbedingungen durchführen. Bei diesen Programmen werden Beschichtungen, wie z.B. Lötstopplack, nicht berücksichtigt, obwohl er aber im GHz Bereich erheblichen Einfluss haben kann. Eine dünne Schicht Lötack hat sich bei meinen Aufbauten bisher nicht negativ bemerkbar gemacht.

Mein Lieblingsprogramm ist APPCad 4.0 von der Firma Avago Technologies [1], welches kostenfrei zur Verfügung gestellt wird und noch viele andere Berechnungsmöglichkeiten rund um die HF bietet.

Ein weiteres kostenfreies Programm gibt es von Changpuak [2], einer Sammlung von Programmen des Professor Alexander C. Frank der an der ETH Zürich lehrt. Die Homepage ist auch für andere Anwendungen sehr zu empfehlen.

Hier einmal beispielhaft eine Berechnung einer Microstripleitung für 50 Ω auf einer 1,6 mm dicken FR4 Platine mit 35µm CU-Beschichtung:

### Microstrip



Calculate Z0 [F4]

Z0 = **50.00** Ω

Elect Length = 6,213 λ

Elect Length = 2236,7 degrees

Elect Length = 1862,595 mm (Air Line equiv.)

Delay = 6,213 ns

1.0 Wavelength = 160,954 mm

Vp = 0,537 fraction of c

ε eff = 3,469

W/H = 1,846

Dielectric: εr = 4,6

FR-4

Frequency: 1 GHz

Length Units: mm

Als erstes wählt man als Length Units **mm** aus. Das Programm startet mit den für uns ungewohnten **mils**

Length Units:

- mm
- mils
- inches
- meters
- cm
- mm**
- um

Danach entscheidet man, welches Platinenmaterial zur Anwendung kommen soll, hier FP4.

Dielectric Material	Er	Supplier
FR-4	4,6	
FR-5	4,3	
FR-6	4,1	
Free Space	1	
Fused Silica (quartz)	3,82	
G-10	4,6	
G-11	4,8	
Gallium Arsenide	13	

Das Feld Dielectric wird automatisch ausgefüllt.

Als nächstes kommt die Frequenzeingabe. Hier belasse ich es erst einmal bei 1 GHz. Wenn man allerdings z.B. einen Saugkreis aufbauen will, muss hier schon die richtige Frequenz eingetragen werden um dann in dem Berechnungsfeld plausible Ergebnisse zu bekommen. Dass gilt dann selbstverständlich auch für das Maß **L**. Für einfache Platinen, bei denen es nicht auf Resonanzverhalten ankommt, ist dieses von keinem großen Interesse.

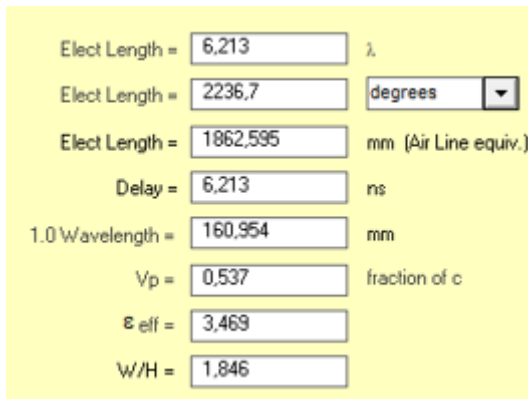
Als nächstes werden jetzt die Platinendicke **H** und die Dicke der Kupferschicht **T** eingetragen.

**WICHTIG:** Es ist bei den nichtganzzahligen Werten ein Komma und kein Punkt zu verwenden! Ansonsten gibt es falsche Ergebnisse.

Jetzt gibt man die Leiterbahnbreite **W** ein und erhält nach Betätigung des Feldes **Calculate Z0** den Impedanzwert der Microstrip Leiterbahn. Durch Variation des Wertes **W** kommt man dann iterativ an die gewünschten 50  $\Omega$  (bzw. was man haben will).

Damit ist eigentlich die Berechnung schon abgeschlossen.

Will man z.B. einen Saugkreis aufbauen, wird mit dem Längenmaß **L** anschließend weitergearbeitet und ebenfalls durch iterative Eingabe solange gesucht, bis dass der passende Wert in der Auflistung angezeigt wird.

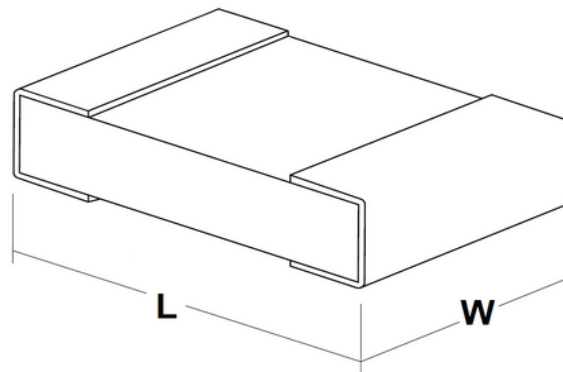


Elect Length =	6,213	$\lambda$
Elect Length =	2236,7	degrees
Elect Length =	1862,595	mm (Air Line equiv.)
Delay =	6,213	ns
1.0 Wavelength =	160,954	mm
Vp =	0,537	fraction of c
$\epsilon_{eff}$ =	3,469	
W/H =	1,846	

Bei der Berechnung von Coplanar Waveguide Platinen wird es gering aufwendiger.

Hier kommt es auch ein wenig darauf an, mit welchen Bauteilen man arbeiten will. Im Regelfall werden es SMD Bauteile der Größen 0603 bis 1206 sein. Entsprechend wird man versuchen den mit **G** im Berechnungsprogramm bezeichneten Abstand zwischen Leiterbahn und Masse so zu konstruieren, dass die Bauteile sich gut einlöten lassen ohne allzu viel auf Leiterbahn / Masse zu liegen. Letzteres sorgt ansonsten u.U. für zusätzliche unerwünschte Kapazitäten durch den Bauteilkörper.

Size	L [mm]	W [mm]
<a href="#">0201</a>	0.6 ±0.03	0.3 ±0.03
<a href="#">0402</a>	1.0 ±0.1	0.5 ±0.05
<a href="#">0603</a>	1.6 ±0.15	0.8 ±0.15
<a href="#">0805</a>	2.0 ±0.2	1.25 +0.2/-0.1
<a href="#">1206</a>	3.2 +0.1/-0.25	1.6 +0.1/-0.15
<a href="#">1210</a>	3.2 +0.1/-0.2	2.6 ±0.15
<a href="#">2010</a>	5.0 ±0.15	2.5 ±0.15
<a href="#">2512</a>	6.3 ±0.15	3.2 ±0.15



### SMD Bauteilgrößen

Die Grundeingabe erfolgt wie bei der Microstripberechnung. Zusätzliche „Spielwiese“ bietet jetzt die hinzugetretene Größe **G** in Form des Abstandes Leiterbahn zu seitliche Massebahnführung.

## Coplanar Waveguide

With Groundplane  No Groundplane

Calculate Z0 [F4]

Z0 = **50.0** Ω

Elect Length = **6,106** λ

Elect Length = **2198,2** degrees

Elect Length = **1830,546** mm (Air Line equiv.)

Delay = **6,106** ns

1.0 Wavelength = **163,772** mm

Vp = **0,546** fraction of c

ε<sub>eff</sub> = **3,35**

Shape factor = **0,419**

Dielectric: ε<sub>r</sub> = **4,6**

**FR-4**

Frequency: **1** GHz

Length Units: **mm**

W: **2,88**

G: **2**

H: **1,6**

T: **0,0035**

L: **1000**

Hier einmal eine Berechnung mit 2 mm Abstand zwischen Leiterbahn und Masse, ideal für SMD Bauteile der Größe 1206.

## Coplanar Waveguide

With Groundplane  No Groundplane

Calculate Z0 [F4]

Z0 = **50,0** Ω

Elect Length = 6,036 λ

Elect Length = 2172,9 degrees

Elect Length = 1809,475 mm (Air Line equiv.)

Delay = 6,036 ns

1.0 Wavelength = 165,679 mm

Vp = 0,553 fraction of c

ε<sub>eff</sub> = 3,27

Shape factor = 0,478

Dielectric: ε<sub>r</sub> = 4,6

FR-4

Frequency: 1 GHz

Length Units: mm

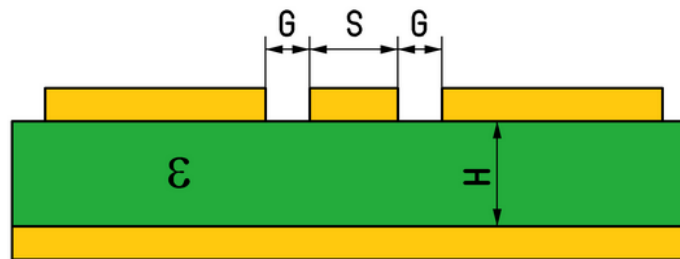
Bei dieser Berechnung wurde der Abstand zwischen Leiterbahn und Masse auf 1,5 mm verringert, also ideal für SMD Bauteile der Größe 0603 und 0805.

Mit den berechneten Maßen erstelle ich dann mittels Sprint-Layout 5.0 der Firma Abacom [3] die endgültige Platinenvorlage. Das Programm erlaubt die Eingabe der berechneten Leiterbahnbreite. Der Ausdruck erfolgt anschließend mittels Laserdrucker auf eine für diesen Druckertyp geeignete Klarsichtfolie für Overheadprojektoren. Die Belichtung des Platinenmaterials erfolgt mittels selbstgebauten UV-Led bestückten Lichttisch. Der Ätzzvorgang findet in einer Küvette mit Luftbesprüdung unter Einsatz eines Ätzmittels der Firma Bungard statt.

Unabhängig von projektbezogenen Platinen habe ich mir einige einfache Experimentalplatinen angefertigt, aus denen dann ein entsprechendes Stück mittels kleiner Kreissäge ausgeschnitten werden kann. Letztes Beispiel ist der Diodenlimiter. Notwendige Auftrennungen der Leiterbahn erfolgen mit einem scharfen Cuttermesser.



Der Vollständigkeit halber hier ein paar Screenshots des Changpuak Programms:



Substrate Thickness H [mm]	<input type="text" value="0.500"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Gap Width G [mm]	<input type="text" value="1.800"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Conductor Width S [mm]	<input type="text" value="1.000"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Relative Dielectric Constant $\epsilon_{rel}$	<input type="text" value="4.600"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Impedance [ $\Omega$ ]	<input type="text" value="49.990"/>		
Effective Dielectric Constant $\epsilon_{eff}$	<input type="text" value="3.617"/>		
<input type="button" value="CALCULATE"/>			

Substrate Thickness H [mm]	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Gap Width G [mm]	<input type="text" value="0.800"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Conductor Width S [mm]	<input type="text" value="2.270"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Relative Dielectric Constant $\epsilon_{rel}$	<input type="text" value="4.600"/>	<input type="button" value="+ 5 %"/>	<input type="button" value="- 5 %"/>
Impedance [ $\Omega$ ]	<input type="text" value="50.035"/>		
Effective Dielectric Constant $\epsilon_{eff}$	<input type="text" value="3.138"/>		
<input type="button" value="CALCULATE"/>			

Achtung: bei diesem Programm bei nichtganzzahligen Werten den Punkt benutzen!



Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail [dl6dca@darc.de](mailto:dl6dca@darc.de) oder Ortsfrequenz 144,575 MHz.

73 de Wilhelm DL6DCA

Fundstellen:

[1] <https://appcad.software.informer.com/>

[2] [https://www.changpuak.ch/electronics/Coplanar\\_Waveguide\\_Calculator.php](https://www.changpuak.ch/electronics/Coplanar_Waveguide_Calculator.php)

[3] <https://www.electronic-software-shop/>