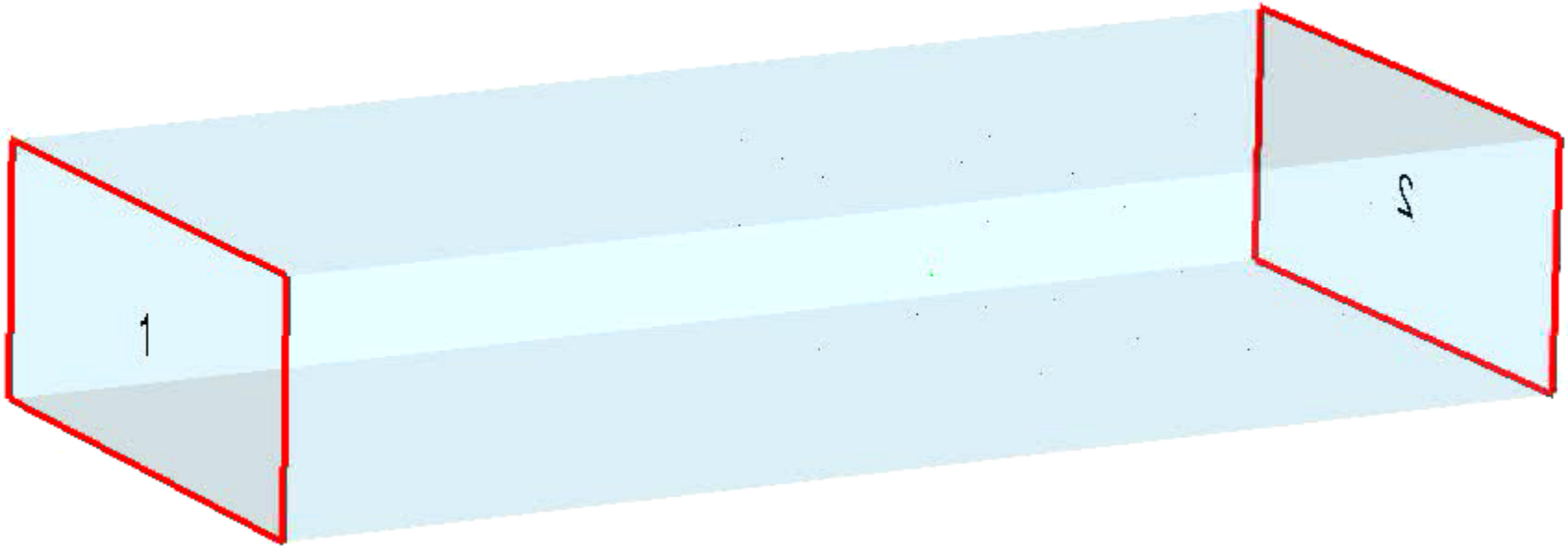
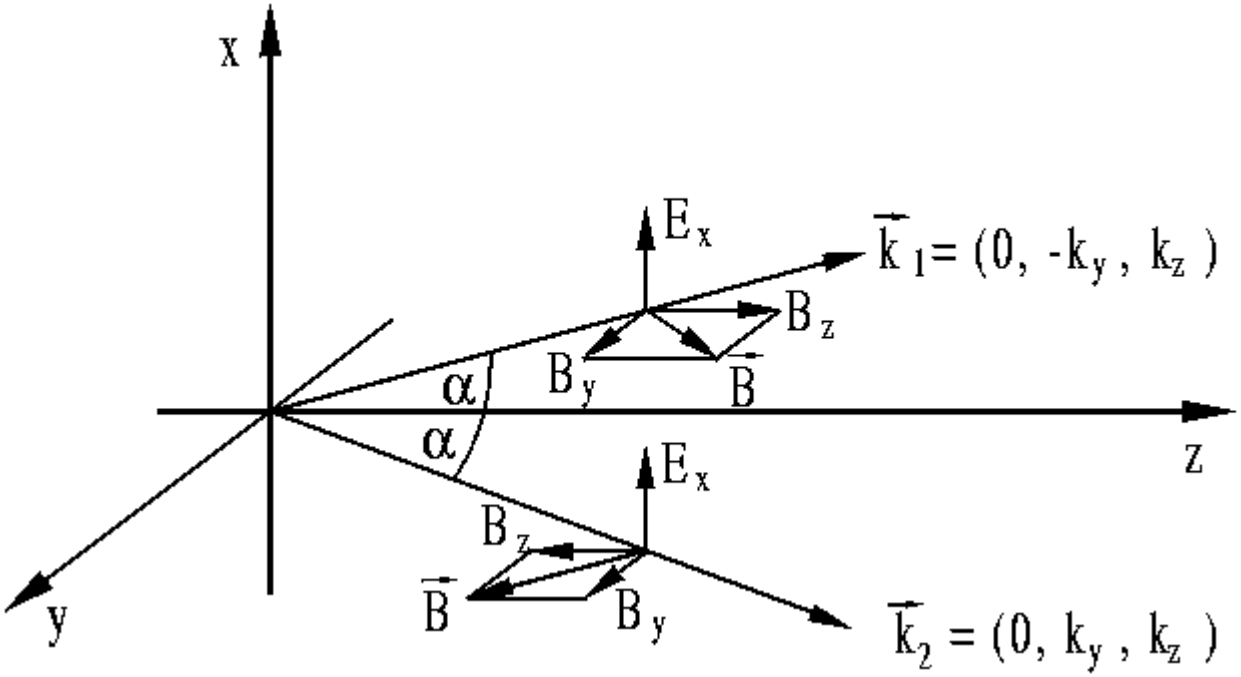
Wellenausbreitung

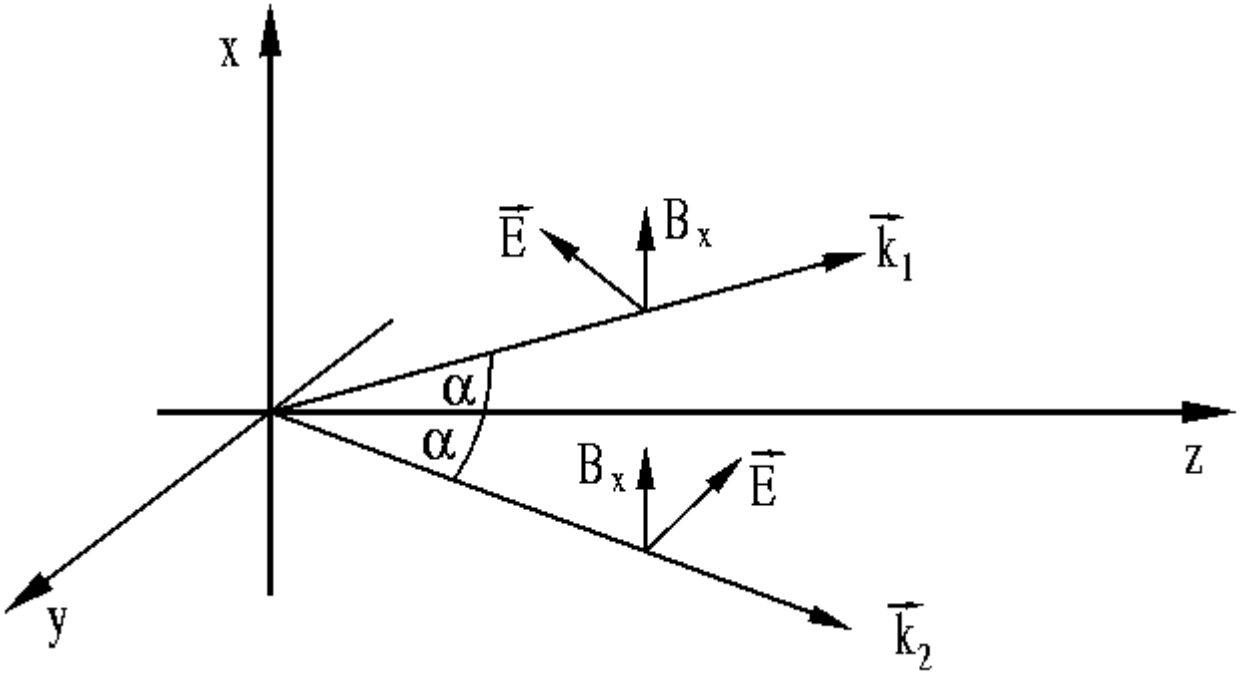
Wellenausbreitung in Rechteckhohlleiter



TE- und TM-Wellen



TM-Wellen



Konstituenten einer TM-Welle

Energieerhaltungssatz

Sei Quelle in V:

$$\frac{dW}{dt} = -\oiint_{\partial V} \vec{P} \cdot d\vec{A} - \iiint_V \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}}{\kappa} dV + \iiint_V \vec{E}_q \cdot \vec{J} \, dV$$

Energieerhaltungssatz

Sei Quelle in V:

$$\frac{dW}{dt} = -\oiint_{\partial V} \vec{P} \cdot d\vec{A} - \iiint_V \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}}{\kappa} dV + \iiint_V \vec{E}_q \cdot \vec{J} \, dV$$

Abnahme der Feldenergie
im felderfüllten Volumen V
innerhalb eines Leiters

Energieerhaltungssatz

Sei Quelle in V:

$$\frac{dW}{dt} = -\oiint_{\partial V} \vec{P} \cdot d\vec{A} - \iiint_V \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}}{\kappa} dV + \iiint_V \vec{E}_q \cdot \vec{J}\, dV$$

Abnahme der Feldenergie im felderfüllten Volumen V innerhalb eines Leiters

Energiewandlung in Joule'sche Wärme

Energieerhaltungssatz

Sei Quelle in V:

$$\frac{dW}{dt} = -\oiint_{\partial V} \vec{P} \cdot d\vec{A} - \iiint_V \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}}{\kappa} dV + \iiint_V \vec{E}_q \cdot \vec{J}\, dV$$

Abnahme der Feldenergie im felderfüllten Volumen V innerhalb eines Leiters

Energiewandlung in Joule'sche Wärme

Energieinhalt elektromagnetischer Strahlung

Energieerhaltungssatz

ei Quelle in V:

$$\frac{dW}{dt} = -\oiint_{\partial V} \vec{P} \cdot d\vec{A} - \iiint_V \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}}{\kappa} dV + \iiint_V \vec{E}_q \cdot \vec{J}\, dV$$

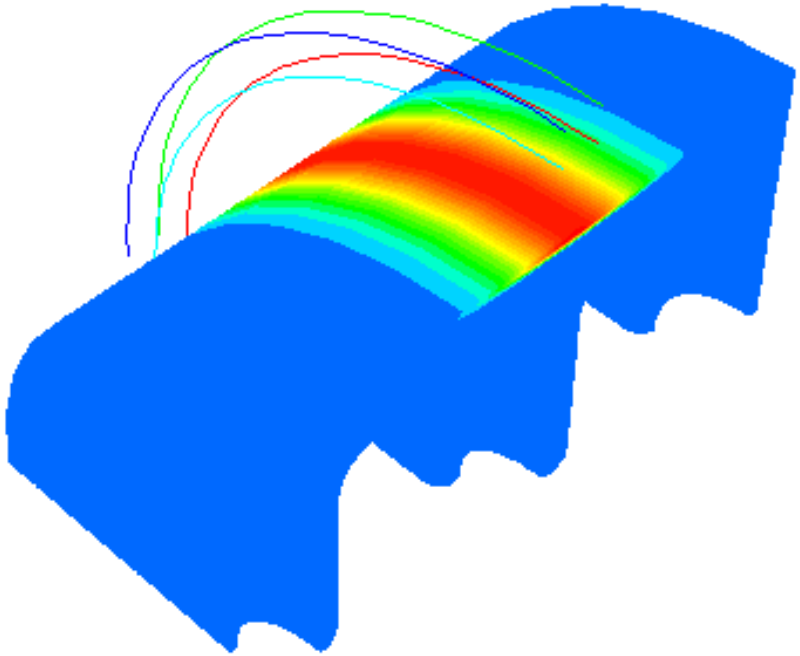
Abnahme der Feldenergie im felderfüllten Volumen V innerhalb eines Leiters

Energiewandlung in Joule'sche Wärme

Energieinhalt elektromagnetischer Strahlung

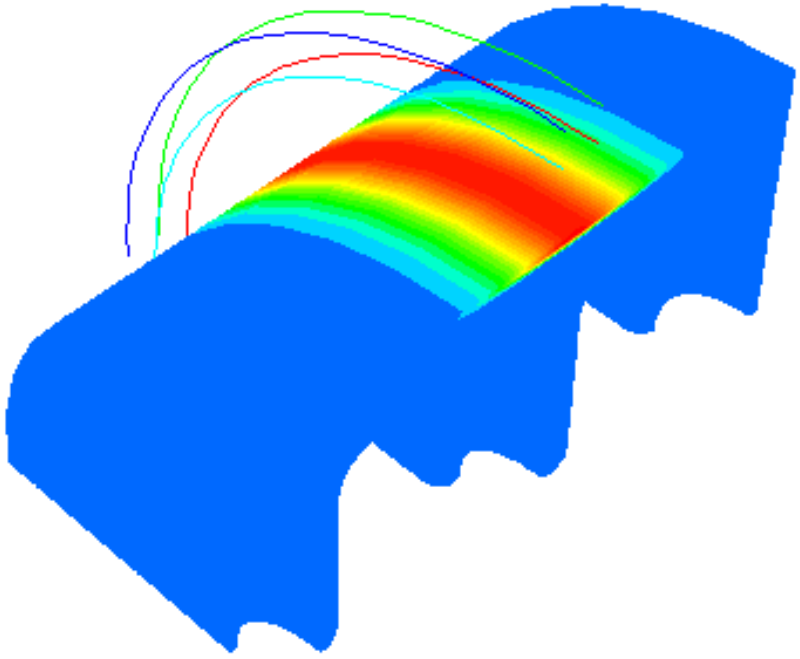
Energieströmung der Quelle

Induktives Löten

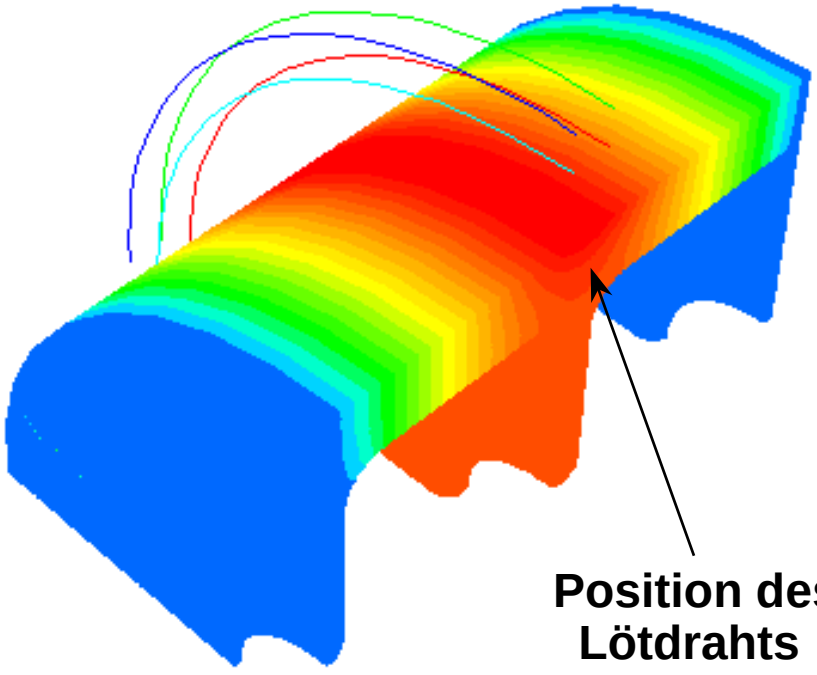


Verteilung der Joule‘schen Energie

Induktives Löten

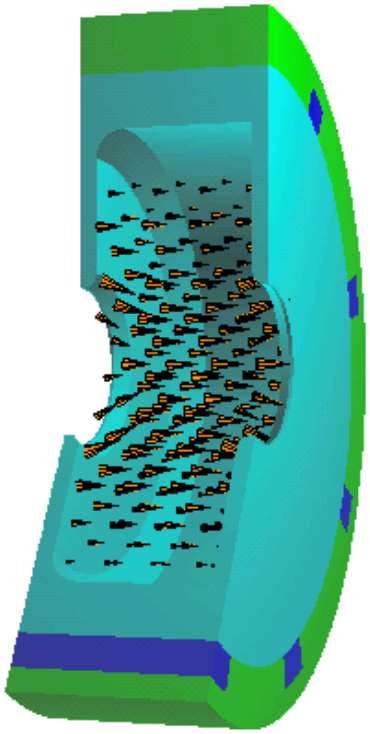


Verteilung der Joule‘schen Energie



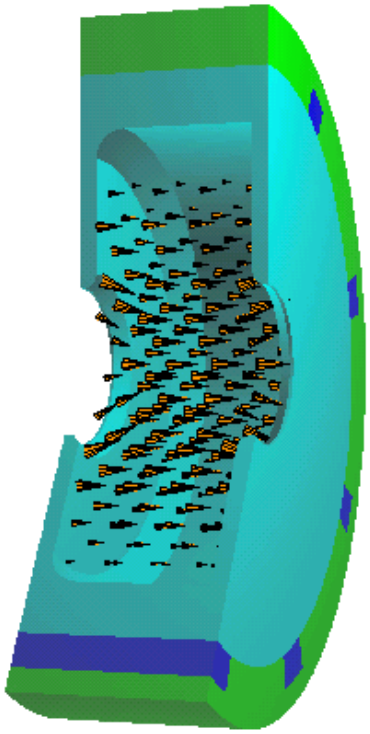
Temperaturverteilung

Kühlung einer HF-Struktur

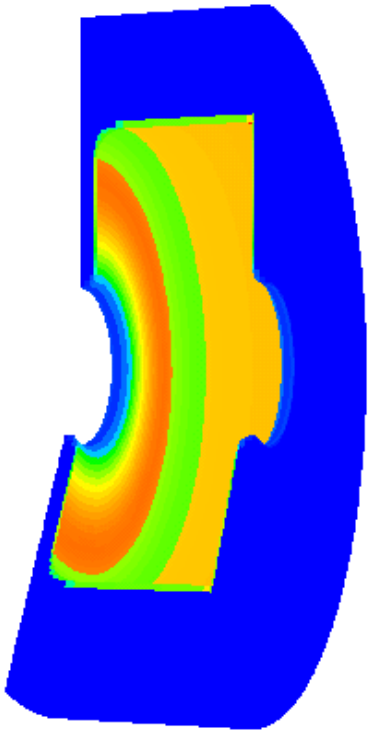


**Beschleunigungs
-feld**

Kühlung einer HF-Struktur

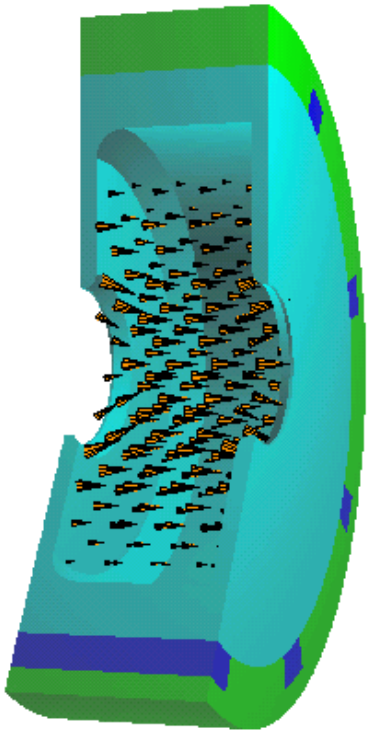


Beschleunigungs -feld

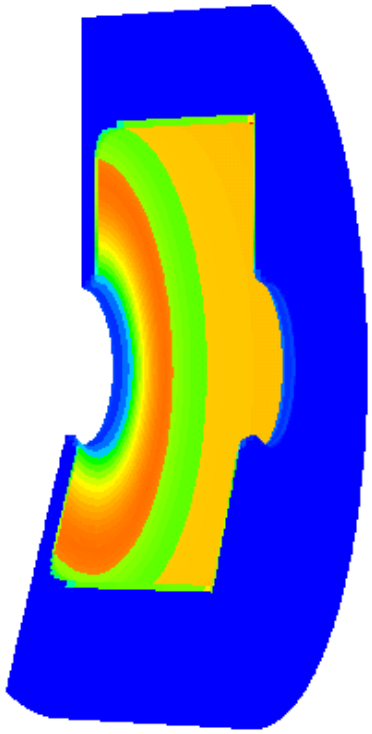


Verteilung der Wandverluste

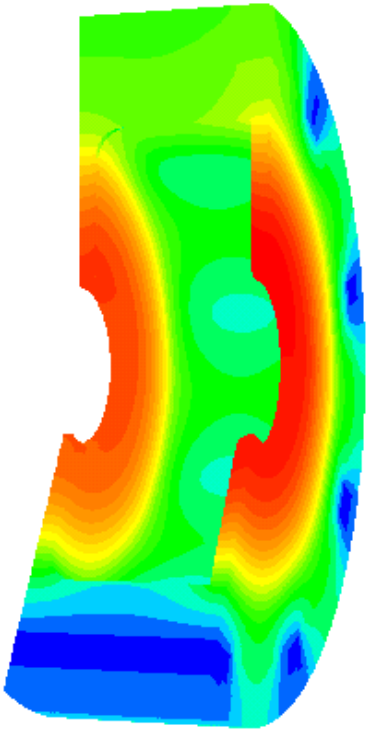
Kühlung einer HF-Struktur



Beschleunigungs -feld

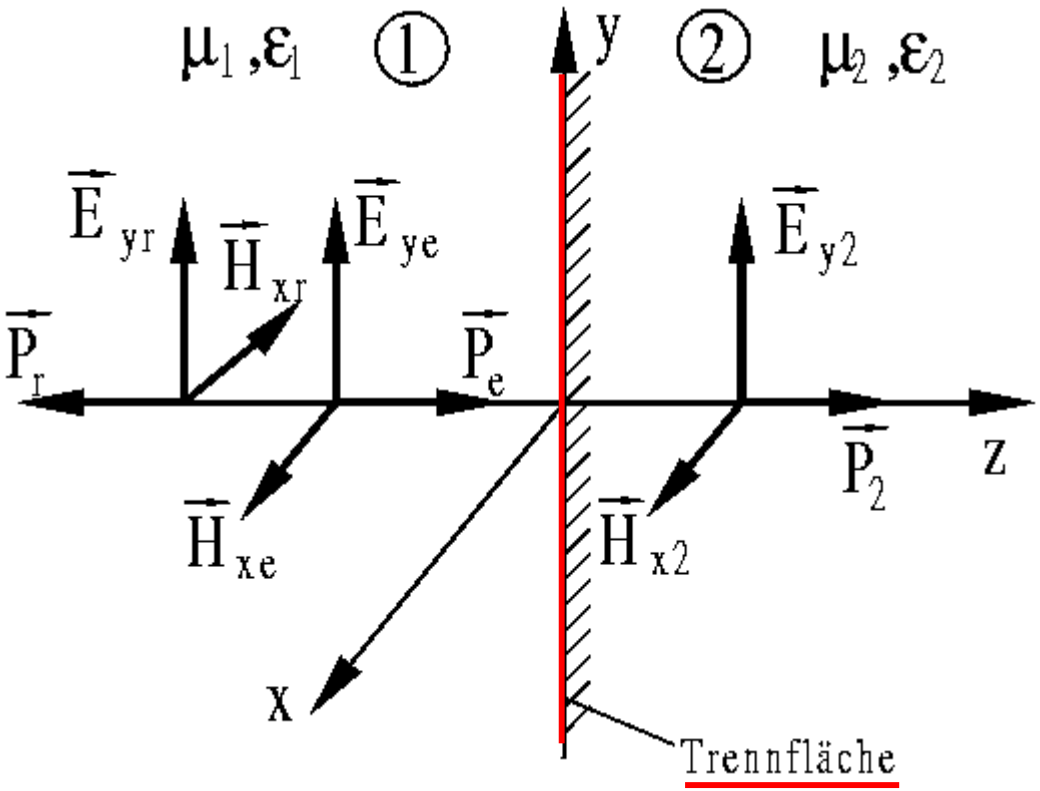


Verteilung der Wandverluste

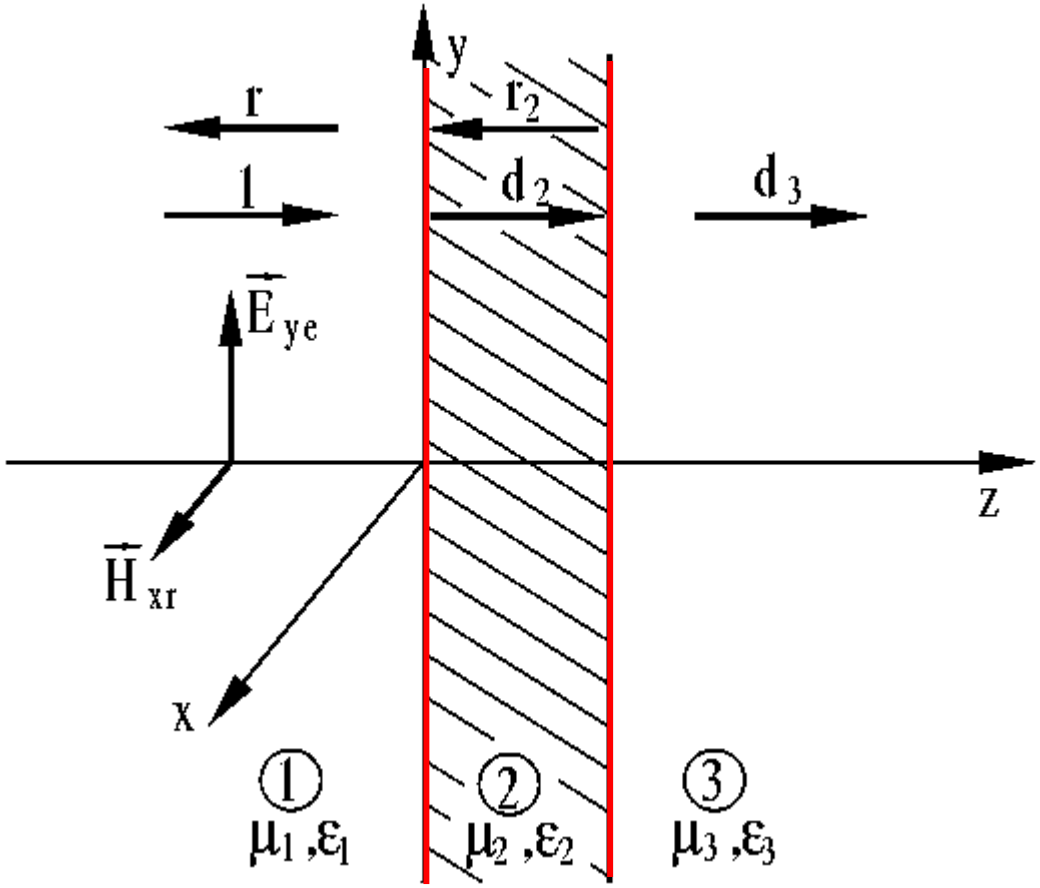


Temperatur-verteilung

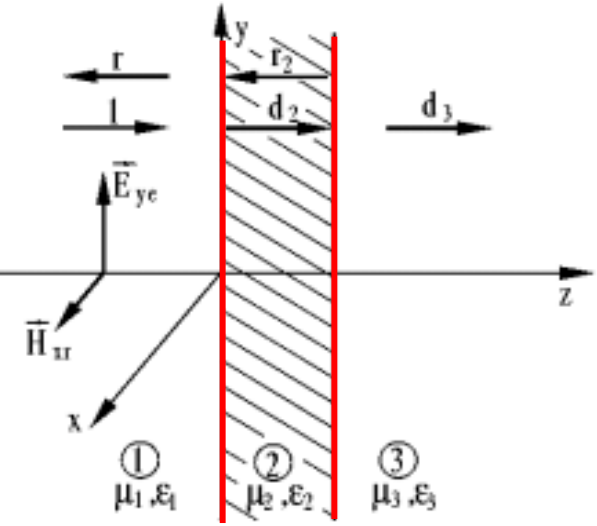
Reflexion
an unendlichem Halbraum



Reflexion an dielektrischer Platte



Reflexion an dielektrischer Platte



$$\underline{E}_{y1} = \underline{E}_0 \left(e^{-jk_1 z} + \underline{r}_1 e^{jk_1 z} \right)$$

$$\underline{H}_{x1} = \frac{\underline{E}_0}{Z_1} \left(e^{-jk_1 z} - \underline{r}_1 e^{jk_1 z} \right)$$

Medium 1

$$\underline{E}_{y2} = \underline{E}_0 \left(\underline{d}_2 e^{-jk_2 z} + \underline{r}_2 e^{jk_2 z} \right)$$

$$\underline{H}_{x2} = \frac{\underline{E}_0}{Z_2} \left(\underline{d}_2 e^{-jk_2 z} - \underline{r}_2 e^{jk_2 z} \right)$$

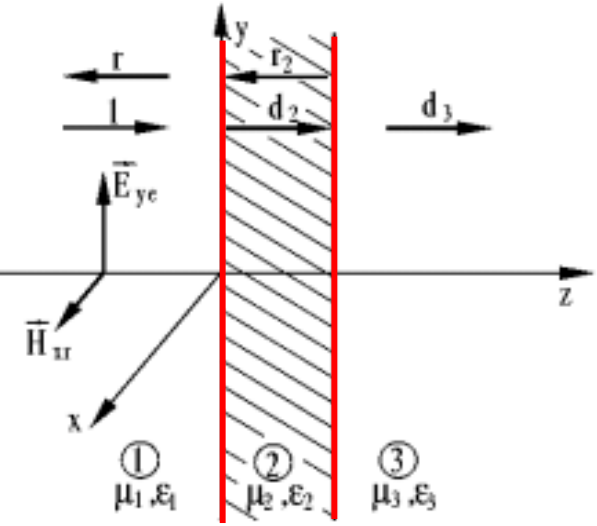
Dielektr. Platte

$$\underline{E}_{y3} = \underline{E}_0 \, \underline{d}_3 e^{-jk_3 z}$$

$$\underline{H}_{x3} = \frac{\underline{E}_0}{Z_3} \underline{d}_3 e^{-jk_3 z}$$

Medium 3

Reflexion an dielektrischer Platte



z=0

Stetigkeit bei z=0:

1. $\underline{E}_{y1} = \underline{E}_{y2}$

$$\Leftrightarrow \quad \underline{E}_0\left(e^0 + \underline{r}_1 e^0\right) = \underline{E}_0\left(\underline{d}_2 e^0 + \underline{r}_2 e^0\right)$$

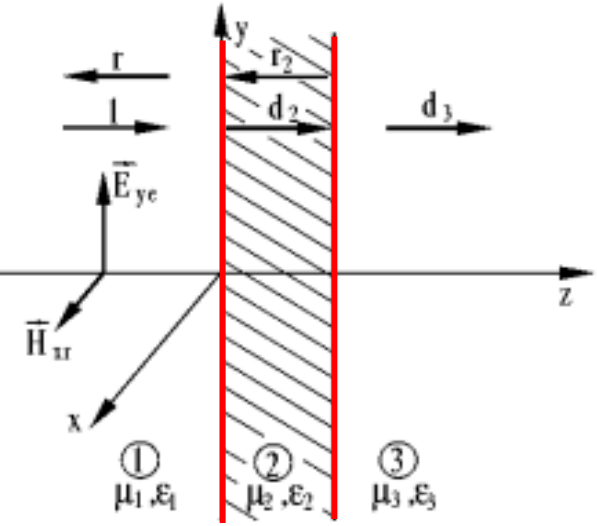
$$\Leftrightarrow \quad 1 + \underline{r}_1 = \underline{d}_2 + \underline{r}_2$$

2. $\underline{H}_{x1} = \underline{H}_{x2}$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{\underline{E}_0}{Z_1}\left(e^0 - \underline{r}_1 e^0\right) = \frac{\underline{E}_0}{Z_2}\left(\underline{d}_2 e^0 - \underline{r}_2 e^0\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{1}{Z_1}\left(1 - \underline{r}_1\right) = \frac{1}{Z_2}\left(\underline{d}_2 - \underline{r}_2\right)$$

Reflexion an dielektrischer Platte



z=0

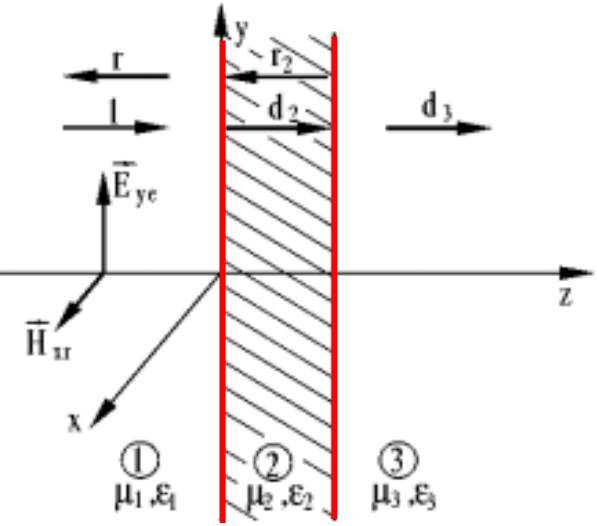
Stetigkeit bei z=0:

$$1+\underline{r}_1 = \underline{d}_2+\underline{r}_2$$

$$\frac{1}{Z_1}(1-\underline{r}_1) = \frac{1}{Z_2}(\underline{d}_2-\underline{r}_2)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{1+\underline{r}_1}{1-\underline{r}_1} = \frac{Z_2}{Z_1}\frac{\underline{d}_2+\underline{r}_2}{\underline{d}_2-\underline{r}_2}} \qquad (6.85)$$

Reflexion an dielektrischer Platte



z=b

Stetigkeit bei z=b:

1. $\underline{E}_{y2} = \underline{E}_{y3}$

$$\Leftrightarrow \quad \underline{E}_0 \left(\underline{d}_2 e^{-jk_2 b} + \underline{r}_2 e^{jk_2 b} \right) = \underline{E}_0 \underline{d}_3 e^{-jk_3 b}$$

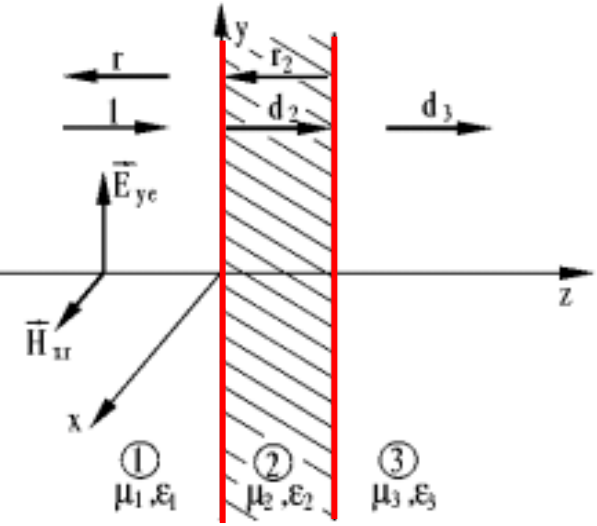
$$\Leftrightarrow \quad \underline{d}_2 e^{-jk_2 b} + \underline{r}_2 e^{jk_2 b} = \underline{d}_3 e^{-jk_3 b}$$

2. $\underline{H}_{x2} = \underline{H}_{x3}$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{\underline{E}_0}{Z_2} \left(\underline{d}_2 e^{-jk_2 b} - \underline{r}_2 e^{jk_2 b} \right) = \frac{\underline{E}_0}{Z_3} \underline{d}_3 e^{-jk_3 b}$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{1}{Z_2} \left(\underline{d}_2 e^{-jk_2 b} - \underline{r}_2 e^{jk_2 b} \right) = \frac{1}{Z_3} \underline{d}_3 e^{-jk_3 b}$$

Reflexion an dielektrischer Platte



z=b

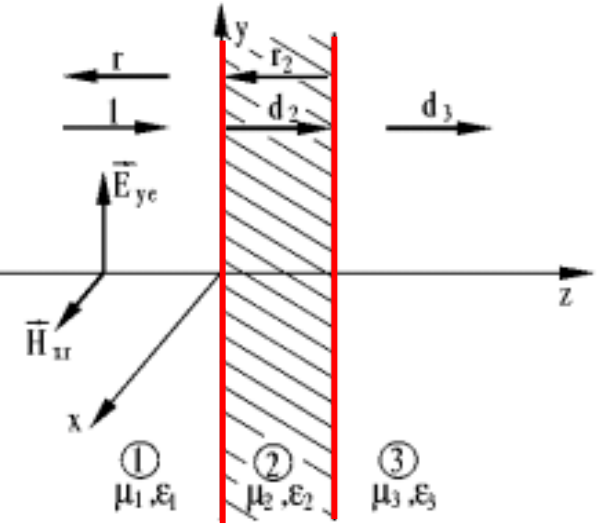
Stetigkeit bei z=b:

$$\underline{d}_2 e^{-jk_2 b} + \underline{r}_2 e^{jk_2 b} = \underline{d}_3 e^{-jk_3 b}$$

$$\frac{1}{Z_2}\left(\underline{d}_2 e^{-jk_2 b} - \underline{r}_2 e^{jk_2 b}\right) = \frac{1}{Z_3}\underline{d}_3 e^{-jk_3 b}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\underline{d}_2 e^{-jk_2 b} + \underline{r}_2 e^{jk_2 b}}{\underline{d}_2 e^{-jk_2 b} - \underline{r}_2 e^{jk_2 b}} = \frac{Z_3}{Z_2}} \qquad (6.87)$$

Reflexion an dielektrischer Platte



Eingangswellenimpedanz Z_e:

$$\underline{r}_1 \underset{(6.79)}{=} \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{Z_e - Z_1}{Z_e + Z_1}$$

$$\Leftrightarrow \frac{Z_e}{Z_1} = \frac{1+\underline{r}_1}{1-\underline{r}_1} \qquad (6.88)$$

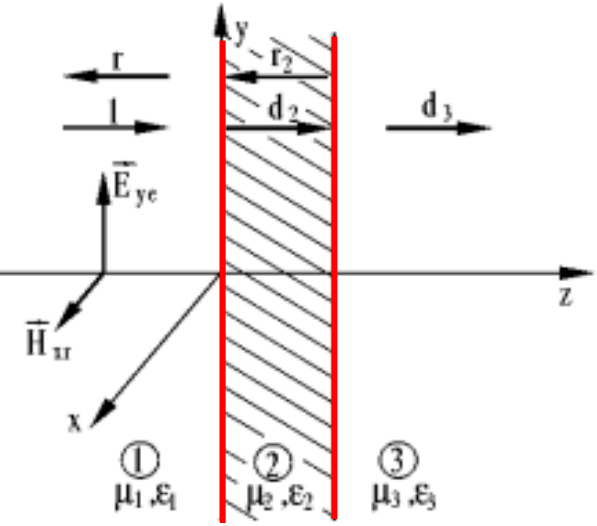
(Überprüfe d. Einsetzen in re. Seit

Andererseits folgt aus (6.85): $$\frac{Z_e}{Z_1} = \frac{Z_2}{Z_1}\frac{\underline{d}_2 + \underline{r}_2}{\underline{d}_2 - \underline{r}_2} \qquad (6.89)$$

Aus (6.87) folgt durch Ausmultiplizieren, etc.:

$$\frac{\underline{r}_2}{\underline{d}_2} = \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} e^{-2jk_2 b} \qquad (6.90)$$

Reflexion an dielektrischer Platte



Aus (6.89) und (6.90) folgt:

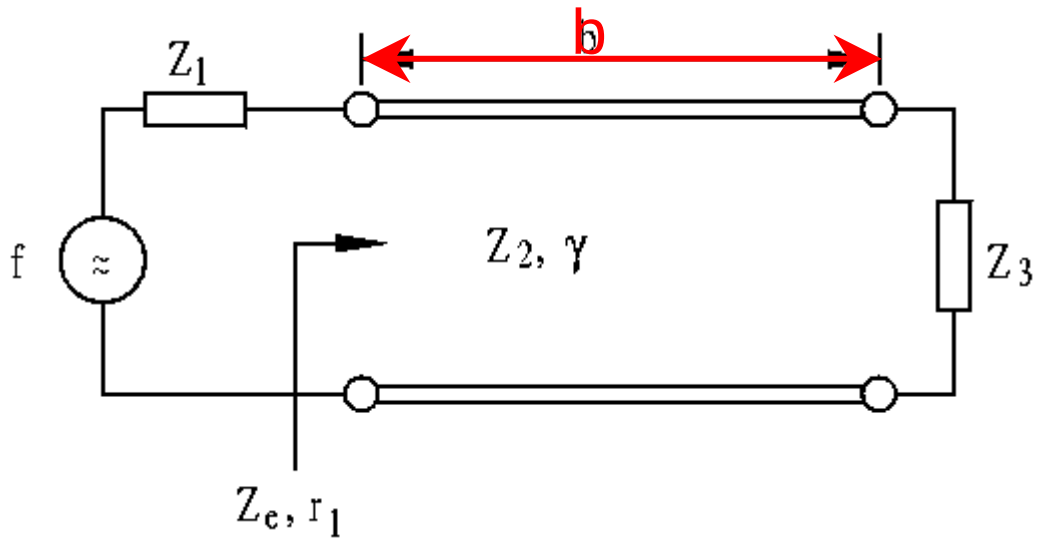
$$Z_e = Z_2 \frac{Z_3 + Z_2 + (Z_3 - Z_2)e^{-2jk_2 b}}{Z_3 + Z_2 - (Z_3 - Z_2)e^{-2jk_2 b}}$$

mit $\gamma = jk_2$:

$$\boxed{Z_e = Z_3 \frac{1 + \frac{Z_2}{Z_3}\tanh \gamma b}{1 + \frac{Z_3}{Z_2}\tanh \gamma b}} \qquad (6.92)$$

Wähle b als Vielfaches von $\lambda/4$, dann wird r_1 zu Null.

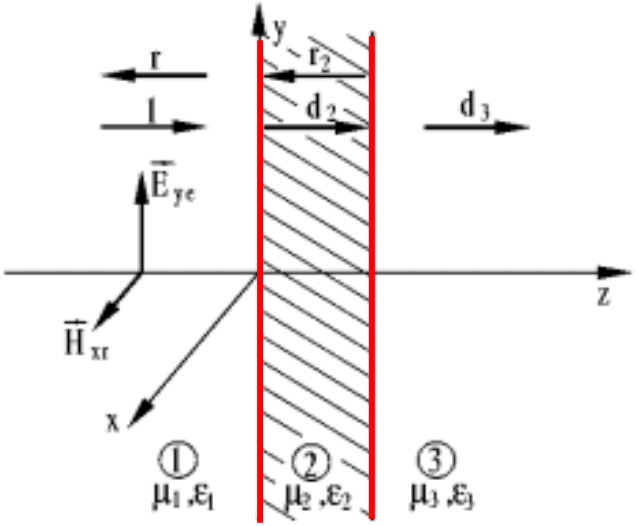
Ersatzschaltbild der dielektrischen Platte



Falls Plattendicke b= const. $\lambda_2/4$, kann r_1 zum Verschwinden gebracht werden.

b= $\lambda_2/4$: <u>$\lambda/4$-Transformator</u>

Dielektrische Platte

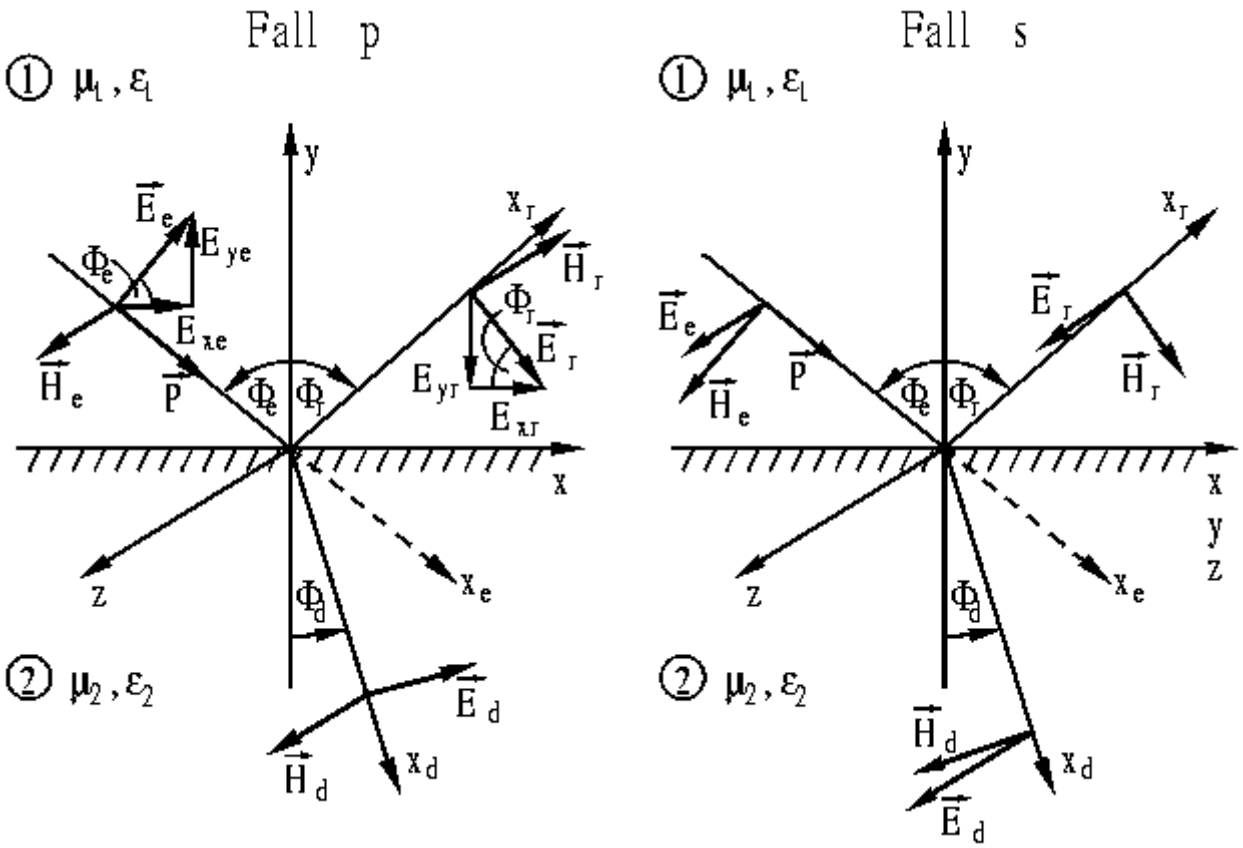


Mehr hierzu z.B unter:

http://www.hf.ruhr-uni-bochum.de/Lehre/Animationen/Lambda4.html

http://www.tu-darmstadt.de/fb/et/temf/DEUTSCH/Animationen/Wellen-Moden/CAS2000.html

Schiefer Einfall auf Trennfläche



Schiefer Einfall auf Trennfläche

Reflexionsgesetz:

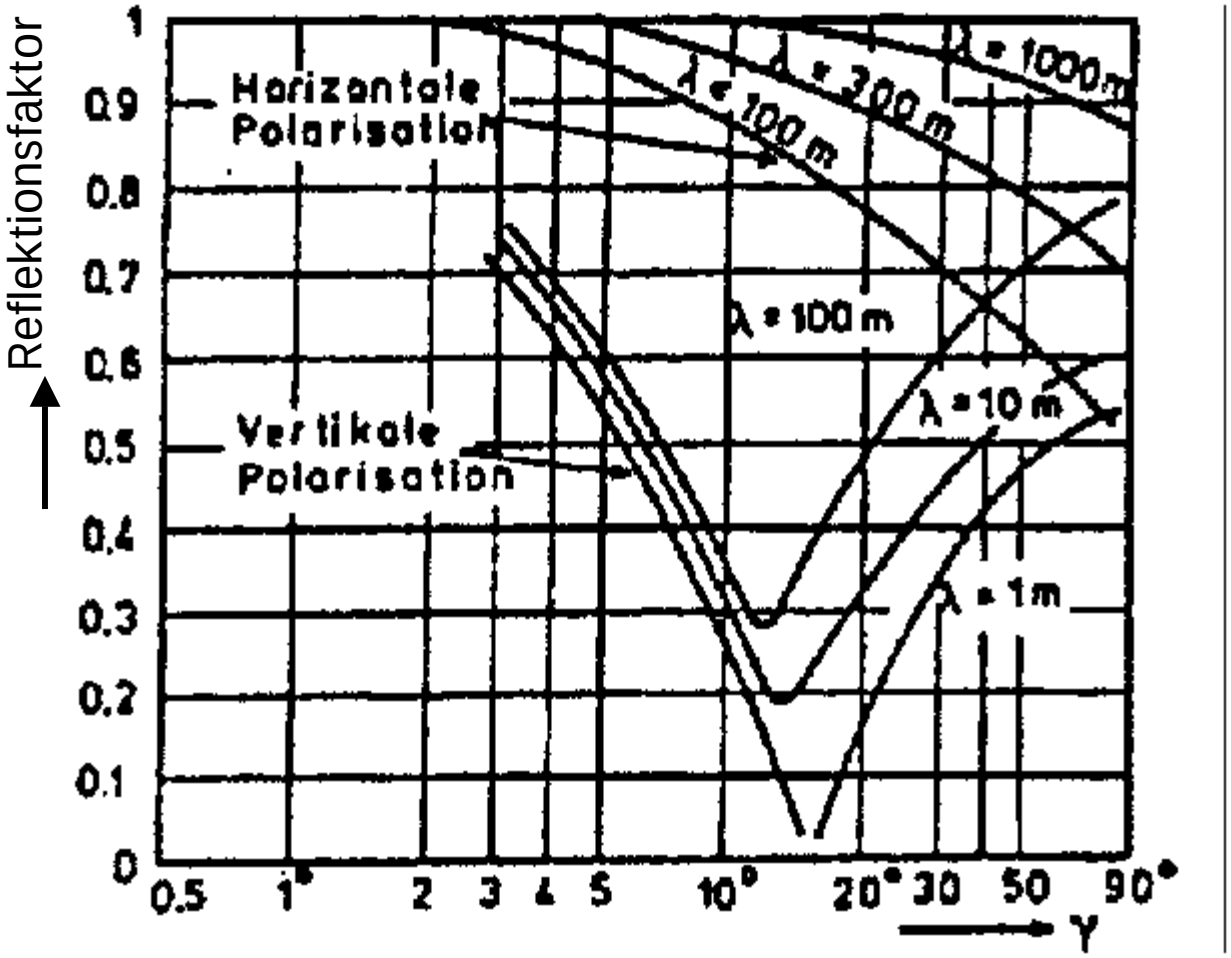
$$\varphi_e = \varphi_r$$

Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin\varphi_e}{\sin\varphi_d} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$$

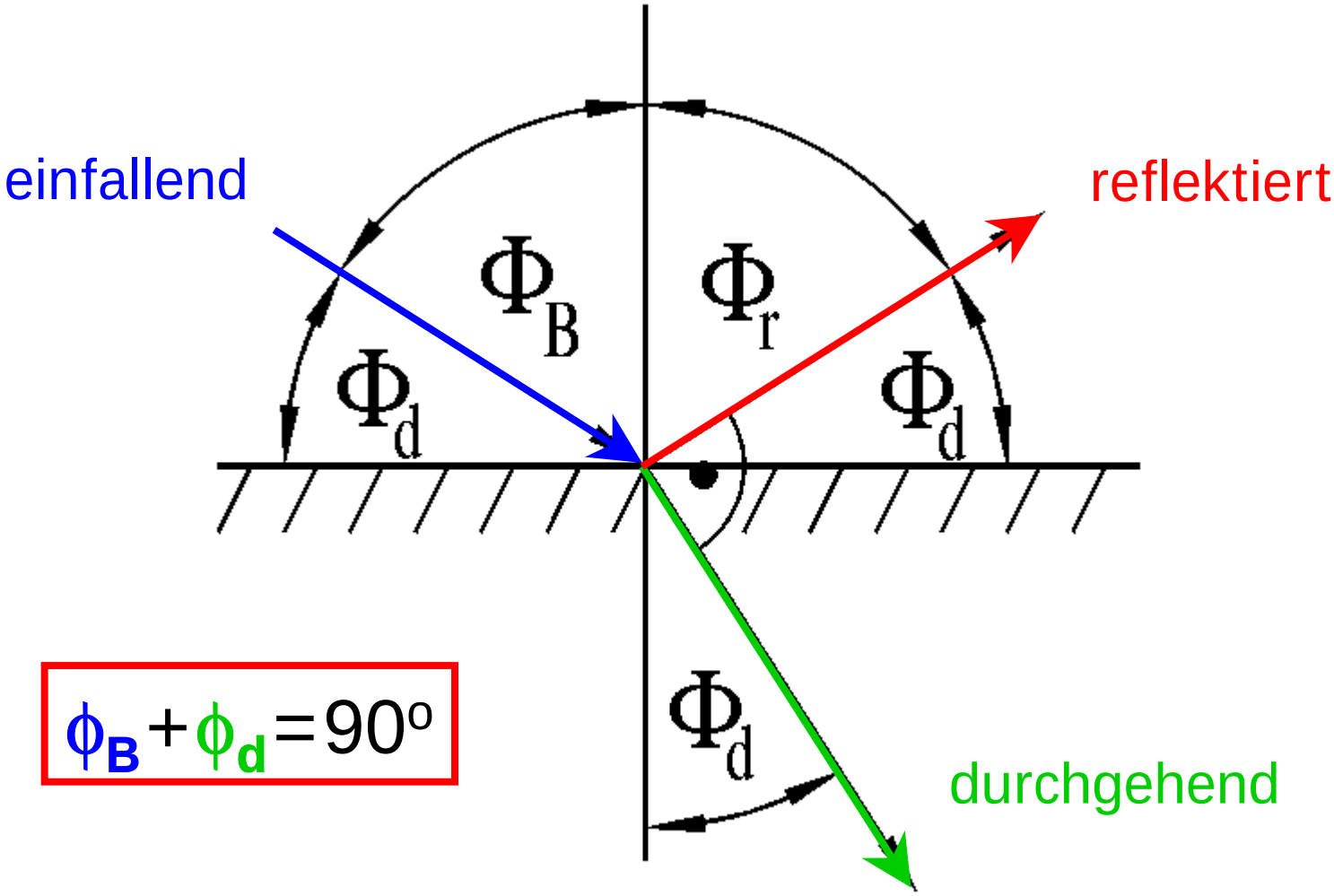
Fresnel‘sche Formeln: s. Skript und Übung

Schiefer Einfall auf Trennfläche



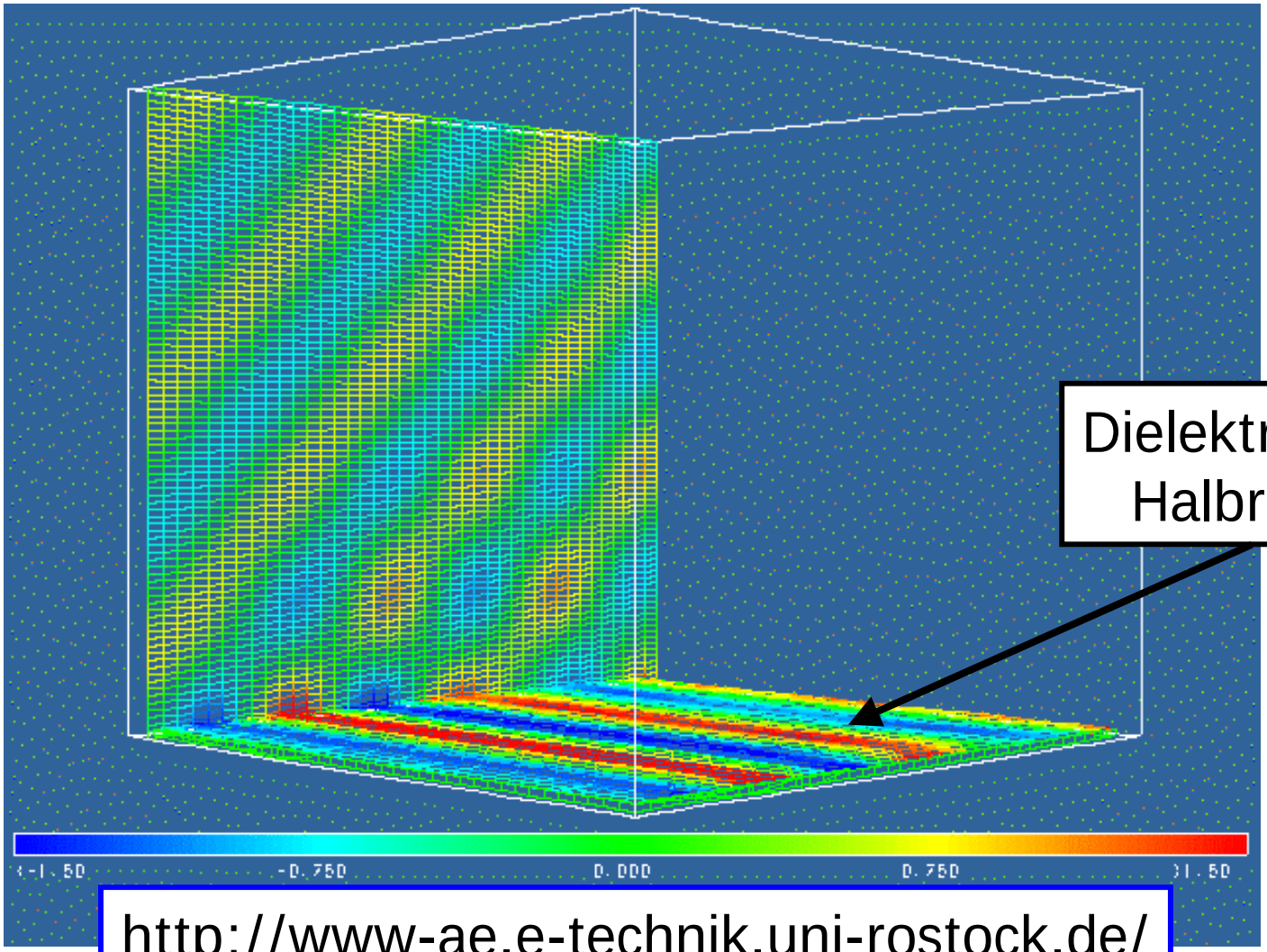
aus Weiland-Skript

Brewster'scher Polarisationswinkel



$$\phi_B + \phi_d = 90^o$$

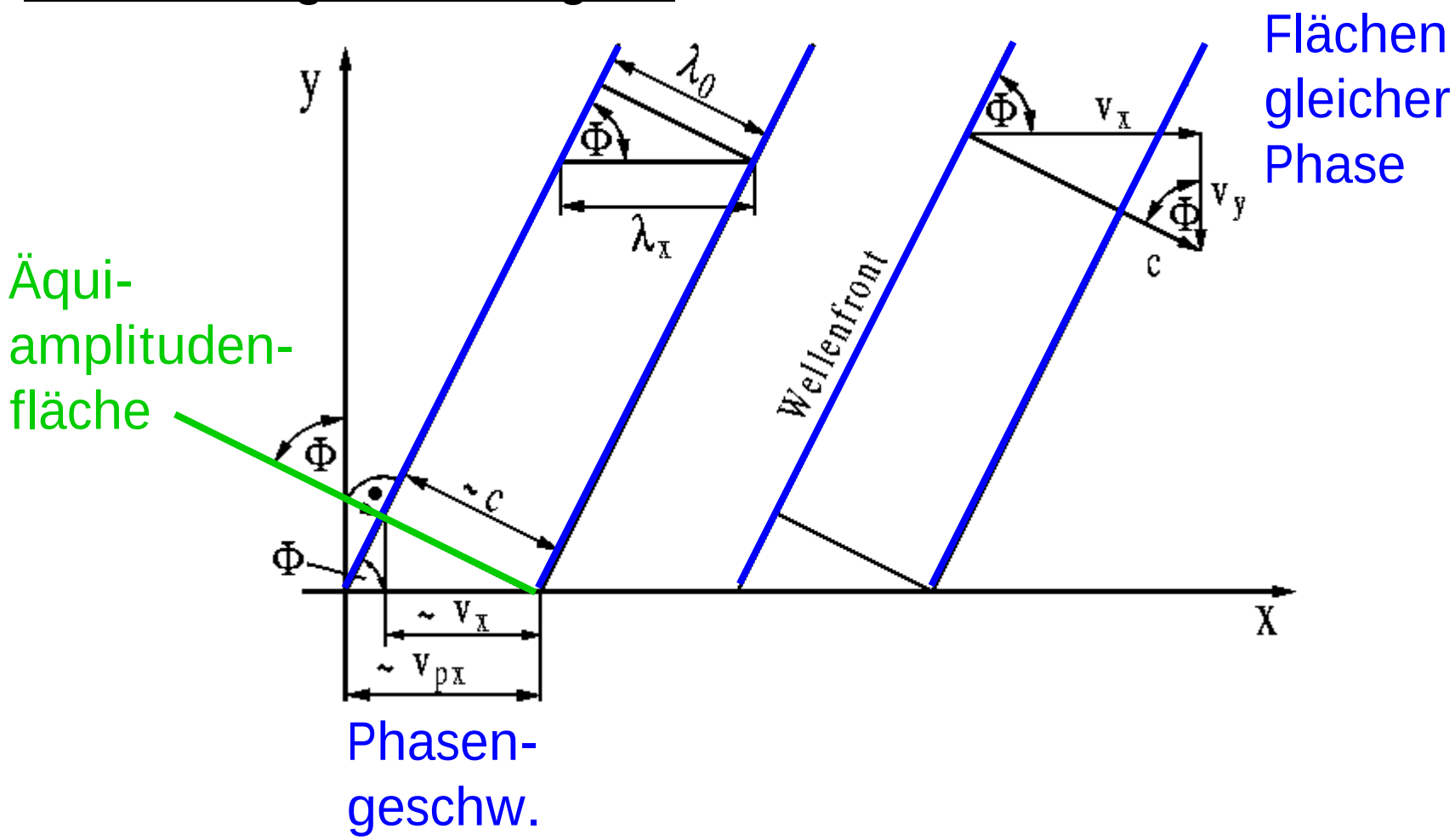
45^0-Einfall einer elektromagnetischen Welle



http://www-ae.e-technik.uni-rostock.de/

Reflektion am unendlich gut leitenden Halbraum

Zur Phasengeschwindigkeit



Reflektion am unendlich gut leitenden Halbraum

Feldlinienverlauf im Halbraum