

EMW Übungsblatt 12

Abgabe bis zum 06.02.2023 um 11:30 via ILIAS

Aufgabe 19:

Gegeben sei ein dielektrischer Schichtwellenleiter, welcher sich aus drei übereinander geschichteten Dielektrika (Vakuum-Schicht 2-Vakuum) zusammensetzt und somit die einfachste Form eines solchen Wellenleiters darstellt. Längs dieses Wellenleiters, d.h. in z -Richtung, breitet sich eine elektromagnetische Welle aus. Die Wellenausbreitung kann anhand ebener Wellen veranschaulicht werden, die an den Grenzflächen wiederholt vollständig reflektiert werden und somit entlang eines Zick-Zack-Pfades den Wellenleiter durchlaufen.

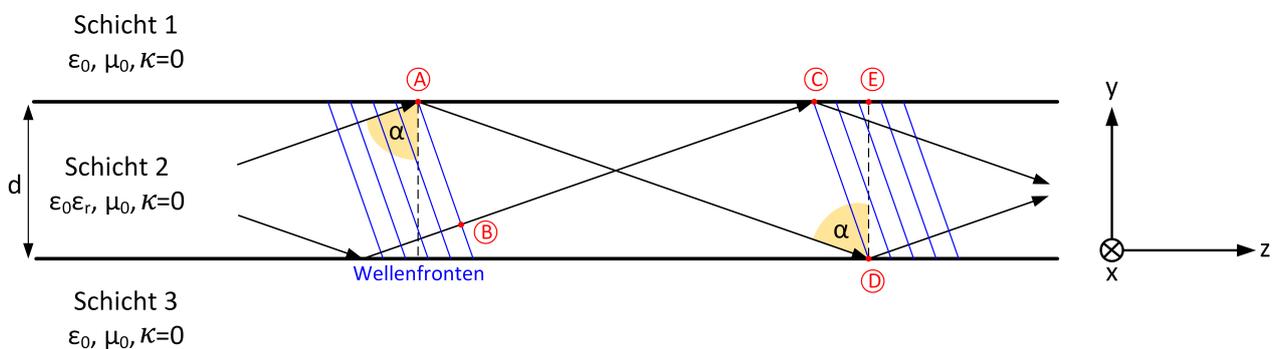


Abbildung 1

- a) Stellen Sie mit Hilfe von Abbildung 1 die Bedingung dafür auf, dass sich ein konstantes in z -Richtung laufendes Wellenbild/Feldmuster ergibt. Geben Sie zunächst die Bedingung in Abhängigkeit der (optischen) Weglängen sowie dem Verhalten an den Grenzflächen an. Überlegen Sie anschließend, wie Sie diese Weglängen durch die gegebenen Parameter (Winkel α , Wellenleiterdicke d , Brechzahl n_2 und Wellenzahl k_0) ausdrücken können.

Hinweis: Sie können annehmen, dass der in der Abbildung gegebene Winkel α größer als der kritische Winkel der Totalreflexion ist.

Hinweis 2: Die Reflexion an einer der Grenzflächen führt für senkrechte/parallele Polarisation zu einem Phasensprung $\varphi_{s,p}$.

Aus den Überlegungen in a) wird ersichtlich, dass eine elektromagnetische Welle in der dielektrischen Platte nur dann ausbreitungsfähig ist, wenn sich die einfallenden und reflektierten Wellen auf ihrem Zick-Zack-Pfad derart überlagern, dass sich eine stehende Welle zwischen den Grenzflächen ausbildet. Diese stehende Welle verändert ihre Form bei der Ausbreitung nicht und wird als Mode bezeichnet. Da sich jede ausbreitungsfähige elektromagnetische Welle in dem Schichtwellenleiter aus diesen Moden zusammensetzt, betrachten wir nun beispielhaft die transversale Verteilung der Moden mit E_x^m .

- b) Gehen Sie vom Durchflutungs- und Induktionsgesetz aus und zeigen Sie, dass es zwei Modenfamilien (TE- und TM- bzw. H- und E-Wellen bzw. senkrecht und parallel polarisierte Wellen) gibt, die sich unabhängig voneinander im Wellenleiter ausbreiten können. Nutzen Sie dabei aus, dass der Wellenleiter in x -Richtung unendlich ausgedehnt ist.

Eine zeitharmonische TE-Welle breite sich in positive z -Richtung durch den dielektrischen Schichtwellenleiter aus. Für den komplexen Zeiger des elektrischen Feldvektors gelte dabei

$$\underline{\mathbf{E}}(y, z, t) = E_x(y, z, t) \mathbf{e}_x = E_x(y) \exp(j(\omega t - k_z z)) \mathbf{e}_x.$$

- Leiten Sie ausgehend von der Wellengleichung einen allgemeinen Ausdruck für das elektrische Feld $E_x^m(y)$ der m -ten Mode der TE-Welle her. Wählen Sie anschließend einen geeigneten Lösungsansatz für jede der drei dielektrischen Schichten und wenden Sie die Grenzflächenbedingungen an.
- Skizzieren Sie für $z = 0$ und $t = 0$ den Realteil der elektrischen Feldkomponente $E_x^m(y)$ der ersten drei TE-Moden.
- Welcher wesentliche Unterschied besteht zwischen den Moden des dielektrischen Schichtwellenleiters und denen des Parallelplattenleiters? Erläutern und begründen Sie.
- Berechnen Sie die zugehörigen magnetischen Feldkomponenten $H_y^m(y)$ und $H_z^m(y)$ der TE-Moden und vergleichen Sie das Ergebnis für $H_z^m(y)$ mit dem aus der Vorlesung.

Aufgabe 20:

Wir betrachten die Einkopplung von Licht in einen dielektrischen Schichtwellenleiter, welcher sich aus drei übereinander geschichteten Dielektrika zusammensetzt. Damit sich in einem solchen Wellenleiter geführte Wellen ausbreiten können, muss der Winkel θ_m , unter welchem das Licht auf die Grenzflächen der Dielektrika trifft, folgende Beziehung erfüllen (siehe vorherige Aufgabe)

$$\cos \theta_m = \frac{m\pi - \varphi_{s,p}}{n_1 k_0 d}, \quad m \in \mathbb{N}_0.$$

wobei $\varphi_{s,p}$ den Phasensprung für senkrechte/parallele Polarisation bei der Reflexion darstellt. Im Folgenden werde das Licht an der linken, seitlichen Kante in den Schichtwellenleiter eingekoppelt (siehe Abbildung 2).

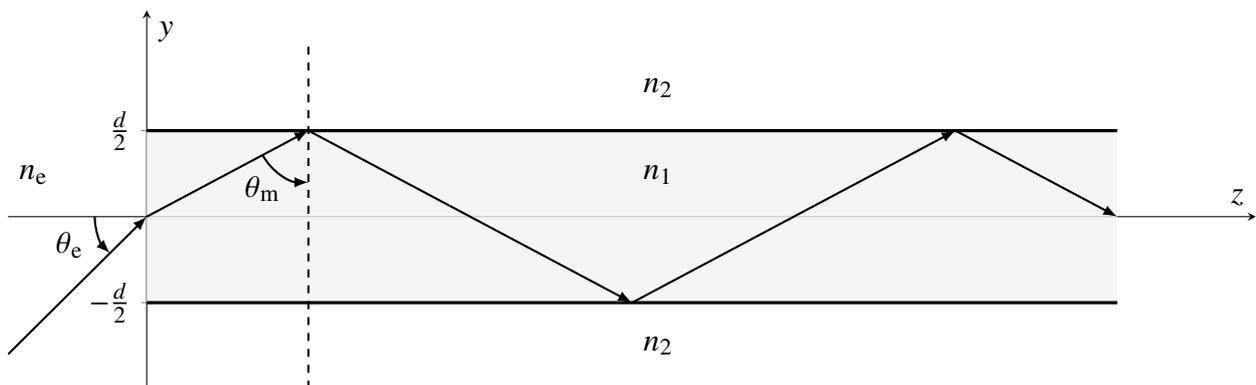


Abbildung 2

- Welche Bedingung muss der Einfallswinkel θ_e an der Grenzfläche erfüllen, damit eine in z -Richtung propagierende Mode des Schichtwellenleiters angeregt wird?
- Wir betrachten nun Licht mit einer Wellenlänge von $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, das in den Schichtwellenleiter der Dicke $d = 220 \text{ nm}$ eingekoppelt wird. Die für den Schichtwellenleiter verwendeten Dielektrika weisen die Brechzahlen $n_1 = 3.5$ bzw. $n_2 = 1.44$ auf. Ermitteln Sie den für die Ausbreitung

im Wellenleiter kritischen Winkel θ_c , den maximalen Winkel θ_e unter dem Licht aus der Luft ($n_e = 1$) eingekoppelt werden kann und die numerische Apertur (NA) des Wellenleiters.

Hinweis: In Luft gilt $NA \approx \sin \theta_e$.

Eine weitere Möglichkeit zur Einkopplung in dielektrische Schichtwellenleiter ist in Abbildung 3 dargestellt und basiert auf der Verwendung eines Prismas. Hier wird die einfallende Welle zunächst an dem Prisma mit Brechzahl n_p gebrochen, bevor sie anschließend unter einem Winkel $\theta_p < \theta_c$ auf die Grenzfläche zwischen Prisma und Material 2 trifft (sie erfährt also Totalreflexion). Die einfallende und reflektierte Welle bilden eine sich im Prisma in z -Richtung ausbreitende Welle mit $\beta_p = n_p k_0 \cos \theta_p$.

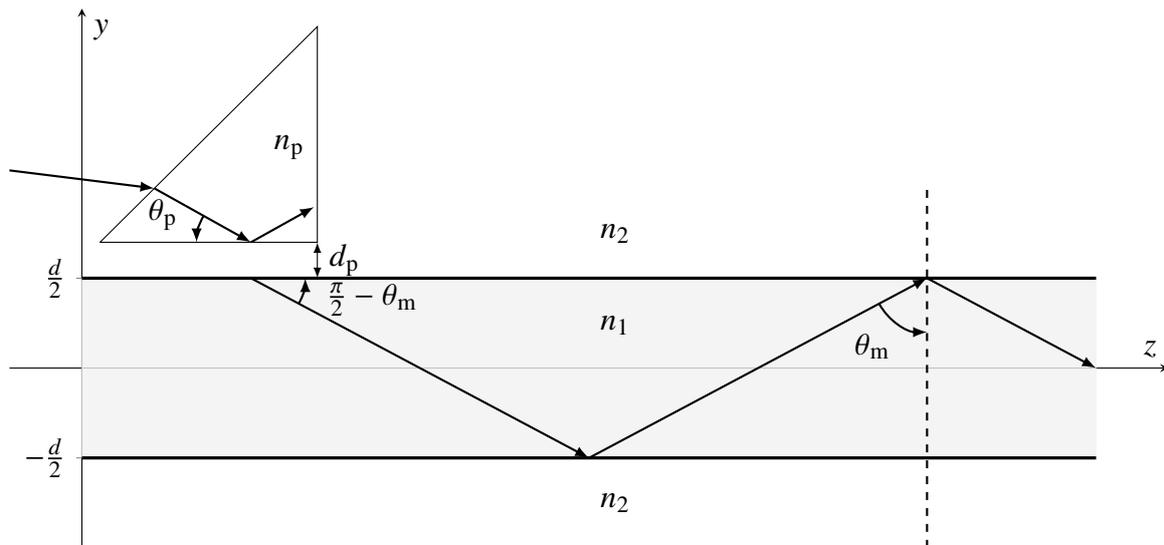


Abbildung 3

- Erklären Sie, wie Licht in den dielektrischen Plattenleiter einkoppeln kann, obwohl die einfallende Welle im Prisma Totalreflexion erfährt. Welche Bedingung muss dabei der Abstand d_p erfüllen?
- Wie muss der Abstand d_p gewählt werden, um mindestens 50% der Ausgangsleistung zu übertragen?
- Welche Bedingung muss die Ausbreitungskonstante β_p erfüllen, sodass eine in z -Richtung laufende Mode im Schichtwellenleiter angeregt wird?

Was Sie bei der Bearbeitung dieses Übungsblatts gelernt haben sollten

- Auf welchen physikalischen Prinzipien die Wellenausbreitung im dielektrischen Schichtwellenleiter beruht.
- Weshalb sich nur diskrete Moden in diesem Wellenleiter ausbreiten können.
- Inwiefern sich die Wellenausbreitung im dielektrischen Schichtwellenleiter und im Parallelplattenleiter unterscheiden.
- Wie die Moden im Schichtwellenleiter aussehen.
- Welche Parameter des Wellenleiters bzw. der Welle die Zahl der ausbreitungsfähigen Moden bestimmen.
- Wie wir die Wellengleichung im Schichtwellenleiter lösen können und welche Bedingungen die Lösungen erfüllen müssen.
- Mit welchen Verfahren wir Licht in einen Schichtwellenleiter einkoppeln können und wie diese Verfahren funktionieren.

Fragen und Anregungen:

Bitte nutzen Sie das ILIAS Forum wann immer es möglich ist. Auf diese Weise können alle, die an der Veranstaltung EMW teilnehmen, von den Antworten sowie der entstehenden Diskussion profitieren. Unabhängig davon erreichen Sie uns bei Bedarf wie folgt

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Randel: sebastian.randel@kit.edu

Patrick Matalla: patrick.matalla@kit.edu

Jonas Krimmer: jonas.krimmer@kit.edu