



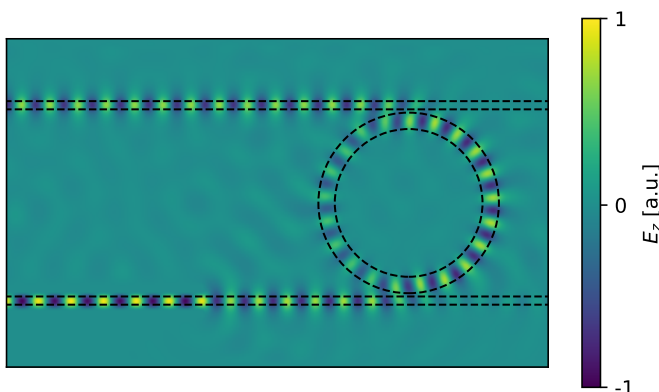
V22 – Simulation elektromagnetischer Wellen

Ort: Labor C60.021 (Professur Experimentelle Sensorik)

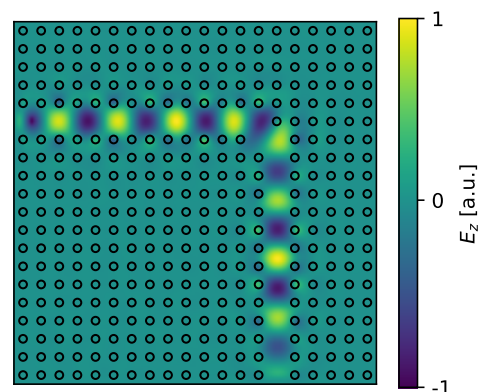
Betreuer: Moritz Riedel

Simulationen von elektromagnetischen Feldern ermöglichen ein physikalisches Verständnis von elementaren optischen Komponenten wie Gittern und Linsen und bilden die Basis für die Entwicklung zahlreicher photonischer Komponenten wie Wellenleiter, photonische Kristalle und integrierte Photonik-Schaltkreise [1, 2]. Solche Technologien sind entscheidend für die immer höheren Kapazitäts- und Geschwindigkeitsanforderungen optischer Datenübertragung und -verarbeitung.

Zur Simulation existieren verschiedene exakte sowie approximative Verfahren, die jeweils für unterschiedliche Zeit- und Längenskalen geeignet sind, wie etwa Plane-Wave-Expansion (PWE) oder die Finite-Elemente-Methode (FEM). Mit der Finite-Difference-Time-Domain-Methode (FDTD), die in diesem Versuch betrachtet wird, werden die Maxwell-Gleichungen sowohl zeitlich als auch räumlich diskretisiert und numerisch gelöst. Dieser Ansatz eignet sich daher zur Modellierung von elektromagnetischen Feldern auf Längenskalen im Bereich der Wellenlänge sowie auf Zeitskalen im Bereich der Periodendauer.



(a) Mikroring-Resonator



(b) Wellenleiter im photonischen Kristall

Für die Simulationen wird die Python-Bibliothek `fdtd` [3] empfohlen. Es wird bewusst von der Nutzung von aufwendigen Komplettpaketen mit CAD abgesehen, da in diesem Versuch das fundamentale Verständnis der Physik der untersuchten Systeme sowie der Methode selbst im Vordergrund steht.

Alle Teilaufgaben betrachten zweidimensionale Systeme in transversal-magnetischer Polarisation.

Maxwellsche Gleichungen, Finite-Difference-Time-Domain-Methode, Courant-Zahl, Wellenleiter, photonischer Kristall, Mikroring-Resonator, Impulsantwort, (diskrete) Fouriertransformation



1. Beugung am Doppelspalt

- ▶ Konstruieren Sie eine zweidimensionale Simulation mit einer Linienquelle hinter einem Doppelspalt. Veranschaulichen Sie die Geometrie sowie die resultierenden elektromagnetischen Felder.
- ▶ Untersuchen Sie das entstehende Interferenzbild, indem Sie Detektoren hinzufügen und auswerten. Vergleichen Sie wesentliche Merkmale mit theoretischen Erwartungen.

2. Lichtbrechung an einer Linse

- ▶ Konstruieren Sie eine zweidimensionale Simulation mit einer Sammellinse und einer Linienquelle. Visualisieren Sie die resultierenden elektromagnetischen Felder.
- ▶ Bestimmen Sie für verschiedene Krümmungsradien der Linse die Brennweite sowie die laterale Ausdehnung des Brennpunktes. Vergleichen Sie diese Größen quantitativ mit theoretischen Erwartungen.

3. Mikroring-Resonator

- ▶ Konstruieren Sie eine zweidimensionale Simulation mit einem Mikroring-Resonator zwischen zwei parallelen dielektrischen Wellenleitern und einer Quelle in einem der Wellenleiter (siehe Abb. (a)).
- ▶ Visualisieren Sie die entstehenden Feldverteilungen jeweils für eine Anregungsfrequenz, bei der konstruktive, sowie für eine, bei der destruktive Interferenz auftritt.
- ▶ Ermitteln Sie den Transmissionskoeffizienten zwischen den beiden Wellenleitern in Abhängigkeit von der Frequenz. Nutzen Sie hierfür eine Quelle mit einem Breitband-Impuls anstelle einer monochromatischen Quelle.

4. Wellenleiter im photonischen Kristall

- ▶ Konstruieren Sie eine zweidimensionale Simulation mit photonischem Kristall aus periodisch angeordneten Zylindern aus dielektrischem Material mit $\epsilon_r = 8,9$ und Verhältnis von Radius zu Gitterkonstante $r/a = 0.2$. Fügen Sie einen Wellenleiter mit 90°-Kurve hinzu, indem Sie an den entsprechenden Stellen Zylinder entfernen (siehe Abb. (b) und Ref. [2], Kapitel 10, Abb. 6). Platzieren Sie eine Quelle in einem Teilstück.
- ▶ Visualisieren Sie die entstehenden Feldverteilungen jeweils für eine Anregungsfrequenz, die in der Bandlücke des photonischen Kristalls liegt, sowie für eine außerhalb der Bandlücke. Welche Frequenzen in der Bandlücke liegen, können für obige Parameter aus [2], Kapitel 5, Abb. 2 und Abb. 19 entnommen werden.
- ▶ Ermitteln Sie den Transmissionskoeffizienten durch die Kurve in Abhängigkeit von der Frequenz. Nutzen Sie hierfür eine Quelle mit einem Breitband-Impuls anstelle einer monochromatischen Quelle. Diskutieren Sie den Einfluss der photonischen Bandlücke auf das Transmissionsspektrum.

Aufgabe 1 soll im Wesentlichen zur Einarbeitung in das Simulationswerkzeug dienen. Aus den Aufgaben 2 bis 4 sollen in Absprache mit dem Betreuer zwei ausgewählt werden.

- [1] T Rylander, P. Ingelström und A. Bondeson *Computational Electromagnetics* (Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2013)
- [2] J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn und R. D. Meade *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light* (Princeton University Press, 2008)
- [3] F. Laporte *Python 3D FDTD Simulator* <https://fdtd.readthedocs.io/en/latest/>