

Szintillierende Fasern

Lukas Bertsch

lukas.bertsch@tu-dortmund.de

Tabea Hacheney

tabea.hacheney@tu-dortmund.de

Tom Troska

tom.troska@tu-dortmund.de

Durchführung: 21.04.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
2	Durchführung	3
3	Auswertung	3
3.1	Spektrometermessung mit- und ohne Raumlicht	3
3.2	Radialsymmetrie	3
3.3	Simulationsdaten	3
3.4	Absorptionsverhalten	6
3.5	Winkelintensitätsmessung	8
4	Diskussion	10
	Literatur	10

1 Theorie

[1]

2 Durchführung

3 Auswertung

In diesem Versuch werden Messdaten aufgenommen und zusammen mit zuvor simulierten Daten analysiert. So lassen sich die gemessenen Größen mit dem Theoriemodell abgleichen. Die Messdaten werden bei ausgeschaltetem Raumlicht aufgenommen und zu jedem Messwert werden die Dunkelzählraten (Zählraten ohne LED Signal) subtrahiert, um ein Maß für die bereinigte Intensität zu erhalten. Jede Messung erfolgt mit einer Integrationszeit von $10\,000\,\mu\text{s}$ und wird fünfmal gemittelt.

3.1 Spektromettermessung mit- und ohne Raumlicht

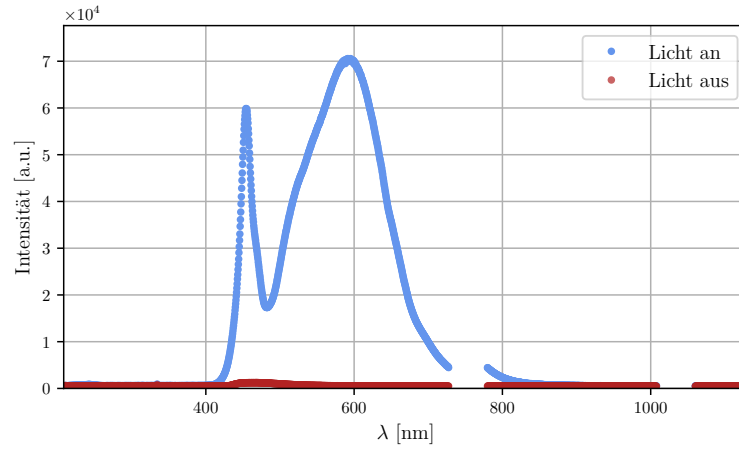
Zuerst wird untersucht, welchen Effekt das Umgebungslicht auf die Auswertung des Versuches hätte. Dazu wird jeweils eine Spektromettermessung mit eingeschaltetem Raumlicht und eine Messung ohne Licht durchgeführt. In Abbildung 1a und Abbildung 1b sind die bereinigte und unbereinigte Intensität gegen die Wellenlänge aufgetragen. Wie sich erkennen lässt, liegt die unbereinigte Intensität der Messung mit äußerem Lichteinfluss weit über jener ohne Raumlicht. Dies wirkt sich stark auf die Fluktuation der Dunkelzählraten bereinigten Messwerte aus, wie sich unschwer in Abbildung 1b erkennen lässt. Daher sollte immer ohne äußere Lichteinwirkung gemessen werden.

3.2 Radialsymmetrie

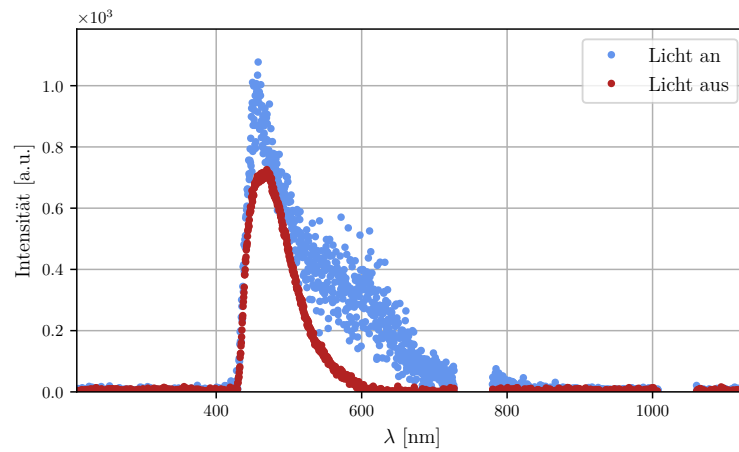
Für die Winkelverteilung des am Faserende austretenden Lichtes wird eine Radialsymmetrie erwartet. Um dies zu überprüfen wird die Lichtintensität einer Messung unter Variation der horizontalen- und vertikalen Winkel in einem zweidimensionalen Diagramm aufgetragen. Wie sich an Abbildung 2 erkennen lässt, folgt die Winkelverteilung tatsächlich einer Radialsymmetrie.

3.3 Simulationsdaten

Im nächsten Schritt der Analyse werden die Simulationsdaten vorbereitet. Dazu werden die Dateien der einzelnen Fasern und simulierten Anregungspunkte eingelesen. Unphysikalische Simulationsfehler, welche einen Austrittsradius größer dem Faserradius vorweisen werden entfernt. Dazu wird ein Schnitt auf die Variable `r_exit > 0.125` angewendet, welche sich über die Austrittspositionen `y_exit` und `z_exit` berechnen lässt. Die Auswirkung dieser Selektion ist in Abbildung 3 zu sehen. Als nächstes werden alle Photonen entfernt, die Rayleigh-Streuungen vollzogen haben. Der Datensatz wird in Kern- und Mantelphotonen (`length_clad > 0`) aufgeteilt. Der Winkel Θ zur Fasermitte lässt sich



(a) Unbereinigte Intensität



(b) Bereinigte Intensität

Abbildung 1: Bereinigte- und unbereinigte Intensität der Lichtreflexe gegen die Wellenlänge für jeweils eine Spektrometermessung mit- und ohne eingeschaltetem Raumlicht.

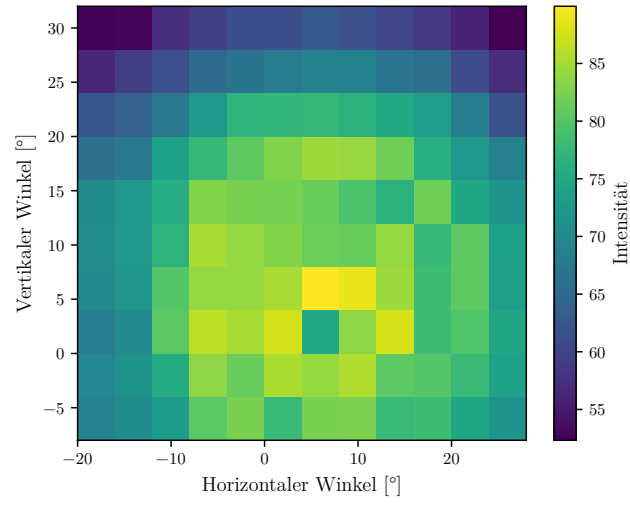


Abbildung 2: Gemessene Intensitätsverteilung gegen horizontalen und vertikalen Winkel.

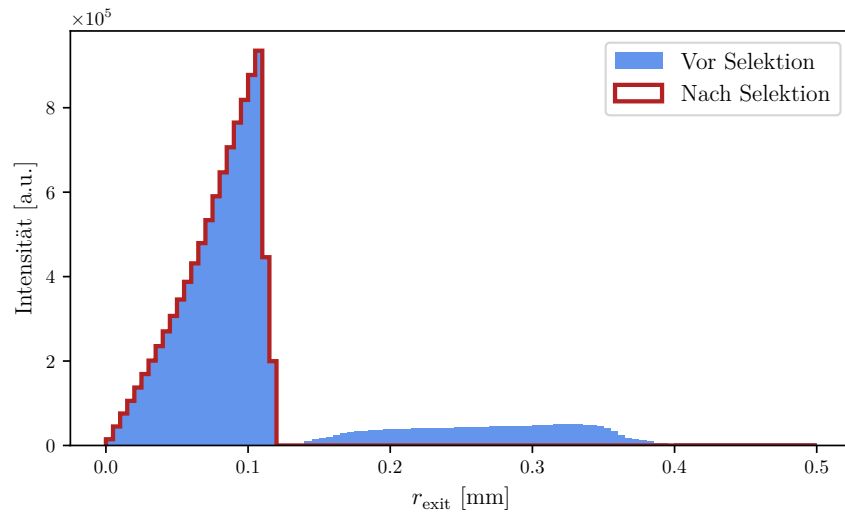


Abbildung 3: Simulationsdaten vor- und nach dem Entfernen unphysikalischer Simulationsfehler.

anhand des Kosinus des normierten Impulses zur x-Achse bestimmen. Nach ?? berechnet sich der maximale Winkel, bei welchem Totalreflexion auftreten kann für die Kern- und Mantelphotonen, die durch die Fasermitte verlaufen zu

$$\begin{aligned}\Theta_{\max 1} &= \arccos\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = 21,37^\circ \\ \Theta_{\max 2} &= \arccos\left(\frac{n_3}{n_1}\right) = 27,44^\circ,\end{aligned}$$

wobei $n_1 \approx 1,6$, $n_2 \approx 1,49$ und $n_3 \approx 1,42$ die Brechungsindices des Kernmaterials und der Mantelmaterialien sind. Um am Ende der Faser aus dem Material austreten zu können, dürfen die Photonen am Übergang von Faser zu Luft keine Totalreflexion erfahren. Die maximalen Winkel zur Faserachse ergeben sich für Photonen im Kern, in der ersten Ummantelung und in der äußeren Ummantelung zu

$$\begin{aligned}\Theta_{\max 3} &= \arcsin\left(\frac{1}{n_1}\right) = 38,68^\circ \\ \Theta_{\max 4} &= \arccos\left(\frac{n_2}{n_1} \cos\left(\arcsin\left(\frac{1}{n_2}\right)\right)\right) = 46,34^\circ \\ \Theta_{\max 5} &= \arccos\left(\frac{n_3}{n_1} \cos\left(\arcsin\left(\frac{1}{n_3}\right)\right)\right) = 50,94^\circ,\end{aligned}$$

respektive. Dabei wird $n \approx 1$ für Luft verwendet. In Abbildung 4 ist die Winkelverteilung der Kern- und Mantelphotonen histogrammiert. Die theoretisch zu erwartenden, maximalen Winkel sind markiert. Die maximalen Winkel der Simulationsdaten lauten

$$\begin{aligned}\Theta_{\max, \text{ Kern}} &= 39,02^\circ \\ \Theta_{\max, \text{ Mantel}} &= 46,10^\circ.\end{aligned}$$

Im nächsten Schritt, wird der minimale Abstand $\mathbf{r_min}$ der Photonen zur Fasermittel (Abstand Gerade-Gerade) bestimmt. In Abbildung 5 ist die Intensitätsverteilung in einem zweidimensionalen Histogramm gegen den Winkel Θ und den minimalen Abstand zur Fasermittel $\mathbf{r_min}$, jeweils für Kern- und Mantelphotonen aufgetragen. Wie sich erkennen lässt, steigt der maximal erreichte Winkel zur Faserachse mit dem Abstand zu dieser an, was der Erwartung entspricht. Das Band der Kernphotonen endet für $\mathbf{r_min} = 0$ ungefähr, bei dem Maximalwinkel der Totalreflexion an der ersten Faserummantelung (Θ_1). Das Band der Mantelphotonen beginnt dort und endet bei dem Maximalwinkel der Totalreflexion an der Faserhülle (Θ_2), was ebenfalls den Erwartungen entspricht.

3.4 Absorptionsverhalten

Als nächstes wird das Absorptionsverhalten der Photonen in der Faser untersucht. Dazu wird zu jedem gemessenen Winkel der Intensitätsmessung die Abschwächung der Intensität abhängig vom Anregungsort betrachtet. Mittels *scipy* [2] wird eine exponentielle

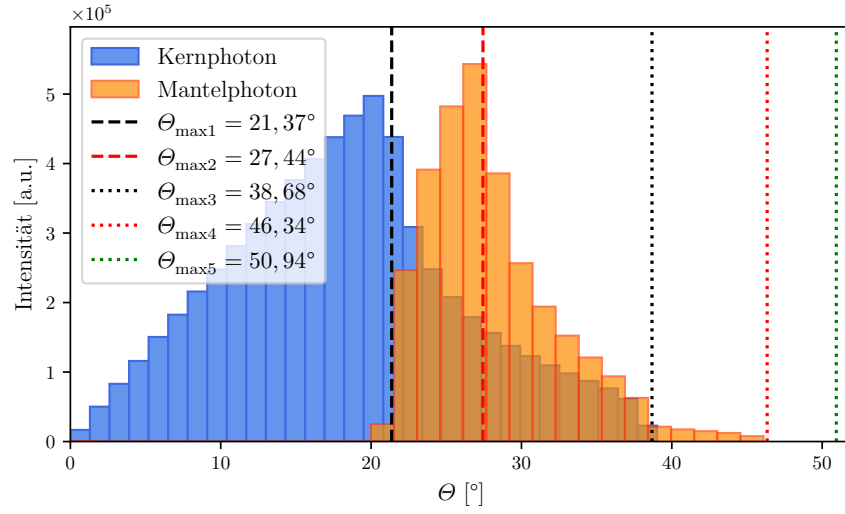


Abbildung 4: Winkelverteilung der Kern- und Mantelphotonen in den Simulationsdaten. Die Winkel Θ_{\max} beschreiben die theoretischen Grenzwinkel der Totalreflexion.

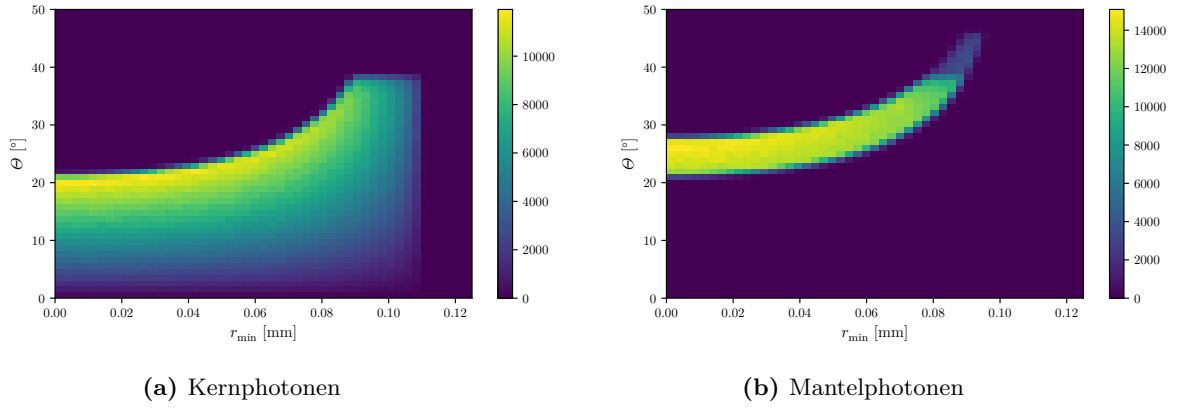


Abbildung 5: Zweidimensionales Histogramm der Intensitätsverteilung gegen den Winkel Θ zur Faserachse und den minimalen Abstand zur Fasermittte r_{\min} für Kern- Mantelphotonen.

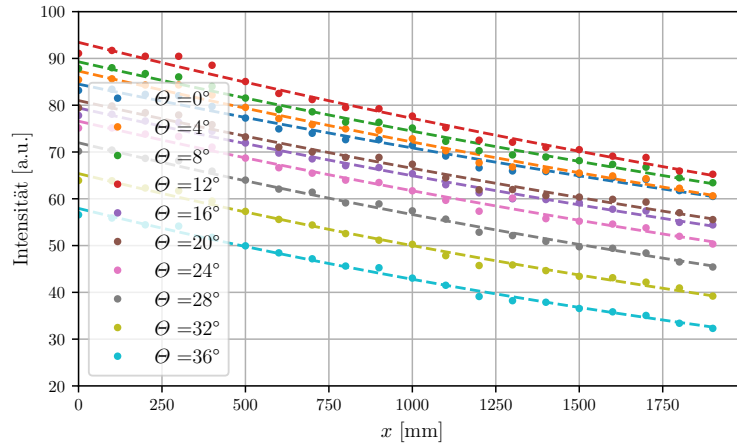
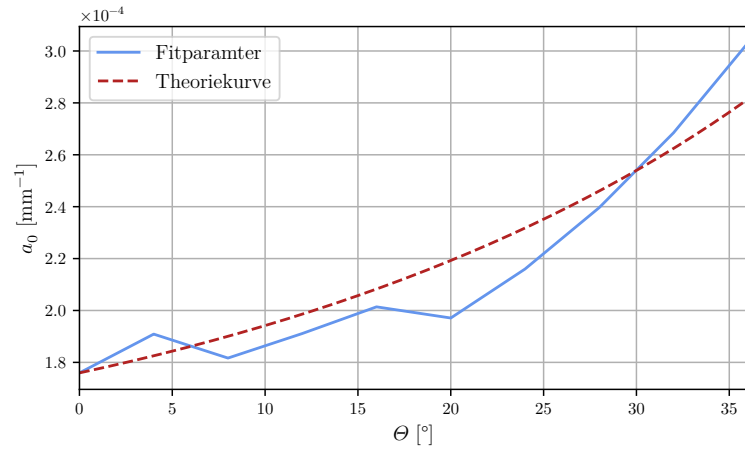


Abbildung 6: Fits zur Bestimmung des Absorptionskoeffizienten für die vermessenen Winkel. Die exponentiellen Fits sind mit einer gestrichelten Linie eingezeichnet.

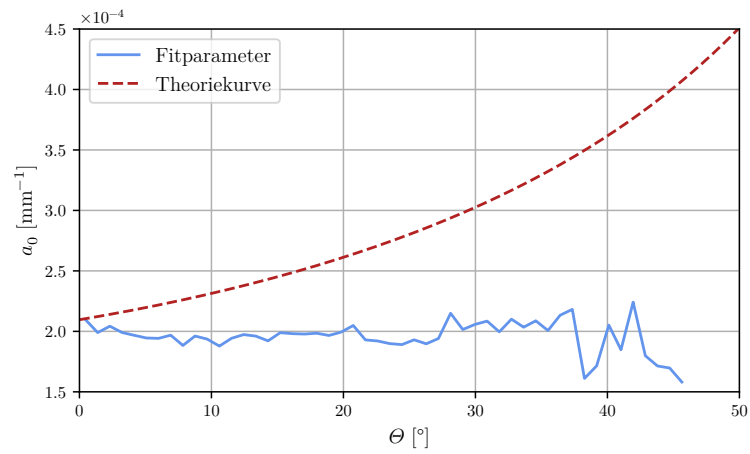
Funktion der Form $I(x) = I_0 e^{-ax}$ an die Messdaten gefittet. Dieses Vorgehen ist in Abbildung 6 für die 10 gemessenen Winkel dargestellt. Es ergibt sich ein Durchschnittswert des Absorptionskoeffizienten von $a_{\text{avg, exp}} = 2,1653 \cdot 10^{-4} \text{ 1/mm}$. Ein analoges Verfahren wird auf die Simulationsdaten angewendet, wobei hier die Winkel kontinuierlich verlaufen und deshalb in 100 Bins unterteilt werden. Hier ergibt sich ein Mittelwert von $a_{\text{avg, theo}} = 1,9571 \cdot 10^{-4} \text{ 1/mm}$. Die Winkelabhängigkeit des Absorptionskoeffizienten kann Abbildung 7 entnommen werden. Die jeweiligen Fitparameter werden dabei gegen den Winkel aufgetragen. Ebenfalls ist die Theoriekurve des winkelabhängigen Absorptionskoeffizienten nach ?? eingezeichnet.

3.5 Winkelintensitätsmessung

Zuletzt wird der Winkel maximaler Intensität mithilfe einer feinschrittigen Winkelintensitätsmessung bestimmt. Dazu könne die in Abbildung 8 dargestellten Daten verwendet werden. Aus der Abbildung kann der Winkel maximaler Intensität als $\Theta = 11^\circ$ entnommen werden.



(a) Messdaten



(b) Simulationsdaten

Abbildung 7: Winkelabhängigkeit des Absorptionskoeffizienten für die Mess- und Simulationsdaten.

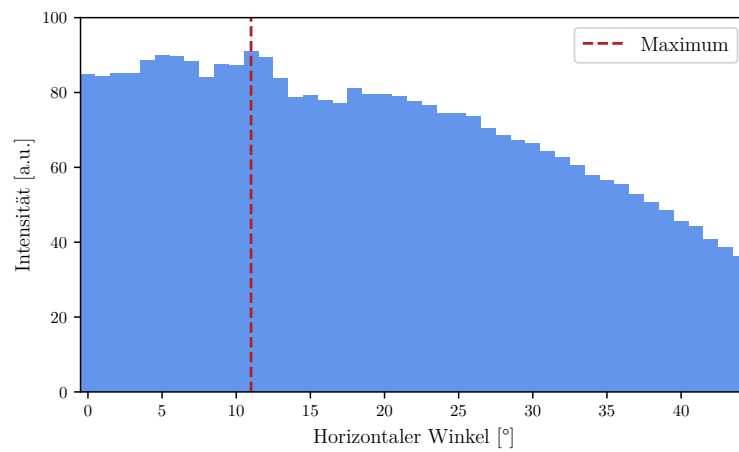


Abbildung 8: Intensitätsverteilung der Messdaten gegen den horizontalen Winkel.

4 Diskussion

Literatur

- [1] *Versuch zum Literaturverzeichnis*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.
- [2] Pauli Virtanen u. a. „SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python“. In: *Nature Methods* 17 (2020), S. 261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.