

Projektarbeit: Optische Dünnschichtsysteme

Oğuzhan Aygün, Abdul-Malik Jakupi

WiSe 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Das Prinzip optischer Dünnschichtsysteme	3
2 Mathematisch-Physikalisches Modell	4
2.1 Reflexion und Transmission	4
2.2 Die Transfermatrixmethode	5
3 Algorithmische Umsetzung	5
4 Benutzeroberfläche	5
5 Simulationsergebnisse	5

1 Das Prinzip optischer Dünnschichtsysteme

Der Begriff optische Dünnschichtsysteme bezeichnet üblicherweise ein System aus oft nur wenigen Nanometer dünnen Schichten, dessen Zweck darin liegt, Wellen und ihre *Interferenz* gezielt zu nutzen, um einen gewünschten Reflexions- und Transmissionsgrad zu erreichen. Dünnschichtsysteme sind ein wichtiger Bestandteil im Bereich der Optik und haben auch in anderen Fachgebieten einige Anwendungen, z.B.:

- Antireflexbeschichtungen in Brillengläsern, Hochreflexschichten wie in Spiegeln oder Kameraobjektiven in der Optik
- Beschichtung von Geräten in der Medizintechnik
- Herstellung von Prozessoren bei Mikroelektronik

Dafür gebraucht man sich meist an verschiedensten Materialien wie z.B. Titanoxid, Magnesiumfluorid oder Aluminiumoxid, die alle einen individuellen, sich voneinander unterscheidenden Brechungsindex besitzen. Diese Eigenschaft werden in allen Anwendungen als das essentielle Werkzeug genutzt, um das jeweilige Ziel im gewünschten Wellenbereich zu erreichen. Dies kann z.B. im Fall von Brillengläsern destruktive Interferenz sein, bei anderen Anwendungen, wie Spiegeln, aber auch konstruktive Interferenz.

Im Folgenden wird die Berechnung des bereits besprochenen Reflexions- und Transmissionsgrades beschrieben, um ein möglichst realistisches Programm zur Erfassung eben dieser zu entwickeln. Sie wird in Abhängigkeit der vorliegenden Brechungsindize, dicke der Schichten und dem Einfallswinkel berechnet.

Das Grundlegende Problem, dass es hier zu lösen gilt, ist die *effiziente* Berechnung des Reflexions- und Transmissionsgrades, da es durch die Existenz mehrerer Schichten, zu einem langen Prozess von Rekalkulationen kommt, bei der bei jedem Durchdringen einer der Schichten ein neuer Prozess in beide Richtungen gestartet wird, was die Komplexität dieser Berechnung um einiges erhöht. Eine Visualisierung des Prozesses in einem Mehrschichtsystem ist in Abbildung 1 dargestellt. Genutzt wird dafür die Transfermatrixmethode, welche anhand der Polarisation, des Einfallswinkels und den Reflexions- und Transmissionskoeffizienten, an jeder Grenzfläche, ein endgültiges Resultat zum Reflexionspektrum liefert.

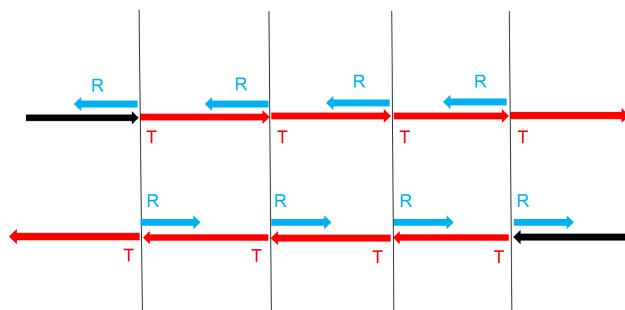


Abbildung 1: Darstellung der Reflexion und Transmission im Mehrschichtsystem

2 Mathematisch-Physikalisches Modell

Wie bereits erwähnt müssen genau zwei Dinge bewältigt werden, um dieses Prinzip in eine mathematische Form zu bringen. Die Reflexion- und Transmission muss ermittelt werden und um einige zusätzliche Rechenoperationen zu vermeiden, muss die Transfermatrixmethode genutzt werden.

2.1 Reflexion und Transmission

Im Allgemeinen werden die Reflexions- und Transmissionskoeffizienten von elektromagnetischen Wellen, an einer Grenzfläche zwischen zwei Schichten, mit den *fresnelschen Formeln* ermittelt. Dabei ist n der (komplexe) Brechungsindex der jeweiligen Schicht. Ihr reeller Teil ist verantwortlich für die Darstellung der Brechung des Lichts an der Grenzfläche, während ihr imaginärer Teil die Absorption des Lichts beschreibt. Sie kann durch den Term

$$e^{i\frac{(n+i\kappa)\omega}{c}z}$$

formuliert werden, aber um einen Term zu erhalten, der jeweils den reellen- und den komplexen Brechungsindex beschreibt, wird wie folgt umgestellt:

$$e^{i\frac{n\omega}{c}z} \cdot e^{-\frac{\kappa\omega}{c}z}.$$

Dabei handelt es sich um die Phasenverschiebung

$$e^{-\frac{\kappa\omega}{c}z}$$

und die Absorption

$$e^{i\frac{n\omega}{c}z}.$$

Das α ist der Einfallswinkel in die Grenzfläche und β der Brechungswinkel zwischen den beiden Schichten. Der Brechungswinkel lässt sich durch das Snelliussche Brechungsgesetz definieren:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Wird nun schlicht nach β aufgelöst entsteht folgende Definition:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha\right)$$

Der letzte wichtige Aspekt der mit einbezogen wird ist die Polarisation. Abhängig davon ob das Licht senkrecht oder parallel zur Einfallsebene schwingt, variieren die Formeln.

Senkrechte Polarisation:

$$r_s = \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \cos \beta}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta}$$

$$t_s = \frac{2n_1 \cos \alpha}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta}$$

Parallele Polarisation:

$$r_p = \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \cos \beta}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta}$$

$$t_p = \frac{2n_1 \cos \alpha}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta}$$

Dieser Prozess liefert nun die Koeffizienten an der Grenzfläche zwischen zwei Schichten und muss für jede Schicht, bzw. Grenzüberschreitung in die nächste Schicht erfolgen. Die Resultate werden während der Transfermatrixmethode verwertet.

2.2 Die Transfermatrixmethode**3 Algorithmische Umsetzung****4 Benutzeroberfläche****5 Simulationsergebnisse**