

TU DRESDEN

FORTGESCHRITTENENPRAKTIKUM

PRAKTIKUMSBERICHT

---

# Optischer Spektralbereich

---

*Autoren:*

Toni EHMCKE  
Christian SIEGEL

*Betreuer:*

Felix LEMKE

Dresden, 11. März 2016

Durchführungstag, 29. Januar 2016

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Grundlagen</b>	<b>2</b>
1.1	Reflexion und Transmission an Grenzflächen . . . . .	2
1.2	Aufbau der Versuchsanordnungen . . . . .	4
1.2.1	Shimadzu 3100 . . . . .	4
1.2.2	Fluoromax . . . . .	5
1.3	Floureszenz . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>6</b>
2.1	Messung spektraler Transparenz und Reflexion . . . . .	6
2.2	Lumineszenzspektrometrie . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>8</b>
3.1	Ermitteln des Brechungsindex einer Glasprobe . . . . .	8
3.2	Transmissions- und Reflexionsvermögen verschiedener Filter .	10
3.2.1	Farbfilter . . . . .	10
3.2.2	Metallinterferenzfilter . . . . .	11
3.2.3	Material des Visieres eines Feuerwehrhelms . . . . .	12
3.2.4	Farbstoffaufdampfschicht . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Diskussion und Zusammenfassung</b>	<b>14</b>

# 1 Einführung und Grundlagen

Bevor der eigentliche Versuch besprochen wird, sollen noch einige Grundlagen erörtert werden.

## 1.1 Reflexion und Transmission an Grenzflächen

Trifft elektromagnetische Strahlung auf eine ladungs- und stromfreie Grenzfläche, so erfüllen die elektrischen und magnetischen Felder, die die Welle beschreiben, bestimmte Stetigkeitsbedingungen und es treten Reflexions- und Transmissionseffekte auf. Im Allgemeinen muss man dabei eine Fallunterscheidung vornehmen, die die parallel und senkrecht zur Oberfläche polarisieren Anteile der einfallenden Welle voneinander trennt. Im vorliegenden Experiment wird allerdings ein Lichtstrahl (mit Amplitude  $E_0$ ) betrachtet, der senkrecht von Luft (Brechungsindex  $n_{Luft} = 1,000292 \simeq 1$ ) in ein optisch dichteres Medium mit Brechungsindex  $n$  propagiert. Dabei verhalten sich parallel und senkrecht polarisierte Komponenten - bis auf Phasenfaktoren, die bei einer Intensitätsmessung ohnehin verloren gehen - äquivalent, weshalb die Fallunterscheidung entfällt. Die Amplitudenverhältnisse der dabei auftretenden partiellen Grenzflächeneffekte werden durch die *Reflexions- und Transmissionkoeffizienten* beschrieben:

$$r_s \equiv r := \frac{E_r}{E_0} = \frac{n_{Luft} - n}{n_{Luft} + n} \simeq \frac{1 - n}{1 + n}, \quad (1)$$

$$t_s \equiv t := \frac{E_t}{E_0} = \frac{2n_{Luft}}{n_{Luft} + n} \simeq \frac{2}{1 + n}. \quad (2)$$

Gleichungen (1) und (2) stellen somit den Spezialfall der *Fresnelschen Formeln* für senkrechten Einfall dar. Analog ergibt sich für den Übergang vom optisch dichteren Medium zu Luft:

$$r'_s \equiv r' \simeq \frac{n - 1}{1 + n} = -r_s, \quad (3)$$

$$t'_s \equiv t' \simeq \frac{2n}{1 + n} = n \cdot t_s. \quad (4)$$

Da mit den vorliegenden Detektoren nur Intensitäten  $I = |\vec{E}|^2$  gemessen werden und somit Phaseninformationen verloren gehen, definiert man den sogenannten *Reflexions- und Transmissionsgrad* als Verhältnis der reflektierten/transmittierten Leistung des elektrischen Feldes zu der des einfallendes Feldes. Im vorliegenden Spezialfall senkrechtem Einfalls (s.E.) ergeben sich diese zu:

$$R := \frac{P_r}{P_e} = \left| \frac{E_r}{E_0} \right|^2 = \frac{I_r}{I_0} = r^2 \stackrel{(1)}{=} \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2} = R', \quad (5)$$

$$T := \frac{P_t}{P_e} \stackrel{s.E.}{=} \left| \frac{E_t}{E_0} \right|^2 = \frac{I_t}{I_0} = t^2 \stackrel{(2)}{=} \frac{4}{(n + 1)^2} = \frac{1}{n^2} T', \quad (6)$$

Diese vier Größen werden im Experiment durch Vergleich der Intensität des Probestrahls mit einem Referenzstrahl, welcher kein Medium durchläuft, aber sonst den gleichen Weg passiert, ermittelt.

Im ersten Teil des Versuches wird der Brechungsindex  $n$  einer Glasprobe ermittelt werden. Dafür wird nun ein funktionaler Zusammenhang  $n = n(R, R', T, T')$  gesucht. Dafür wird ein auf das Glas senkrecht einfallender Strahl mit Intensität  $I_0$  betrachtet. Trifft dieser auf die Grenzfläche, wird ein Teil reflektiert ( $I_r \stackrel{(5)}{=} RI_0$ ) und ein Teil transmittiert ( $I_t \stackrel{(6)}{=} TI_0$ ). Anschließend tritt dies erneut an der Grenzfläche Glas-Luft auf, d.h. ein Teil des vorher transmittierten Strahles wird reflektiert ( $I = TR'I_0$ ) oder es verlässt das Medium ( $I = TT'I_0$ ). Dieser Vorgang wiederholt sich unendlich oft und wird in Abbildung 1 skizziert. Bei einem senkrecht einfallenden Strahl

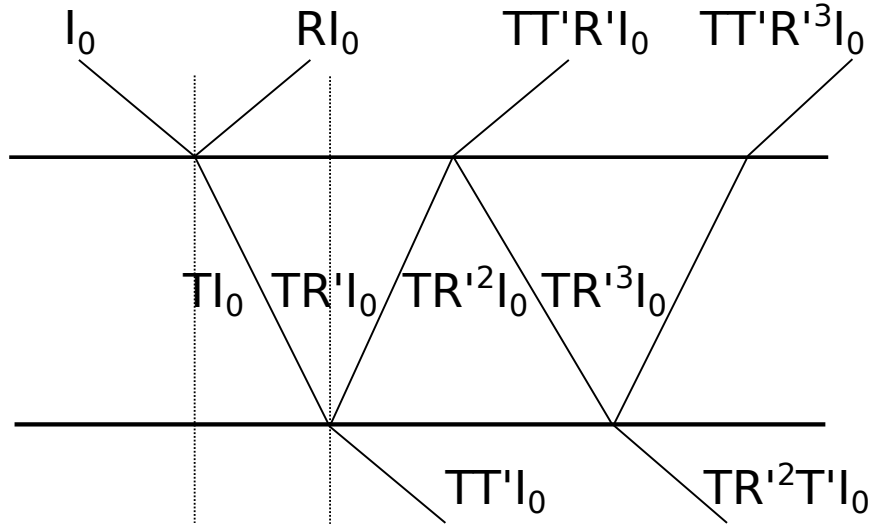


Abbildung 1: Intensitätsverhältnisse einer an einer Grenzfläche unendlich oft transmittierten und reflektierten elektromagnetischen Welle.

ergibt sich somit die Intensität des Strahles, der das Medium verlässt als Überlagerung aller Strahlen mit geraden Potenzen von  $R = R'$ . Analog ist der reflektierte Strahl die Superposition aller Strahlen mit den ungeraden Potenzen.

$$I_{t,ges} = \sum_{k=0}^{\infty} T \cdot T' \cdot (R'^2)^k \cdot I_0 =: T_{ges} \cdot I_0 \quad (7)$$

$$I_{r,ges} = \left( R + \sum_{k=0}^{\infty} T \cdot T' \cdot (R')^{2k+1} \right) \cdot I_0 =: R_{ges} \cdot I_0 \quad (8)$$

Unter Verwendung der Gleichungen (5) und (6) und der geometrischen Reihe ergibt sich das gemessene gesamte Reflexions- und Transmissionsvermögen zu:

$$T_{ges}(n) = T \cdot T' \cdot \frac{1}{1 - R^2} = \frac{2n}{n^2 + 1}, \quad (9)$$

$$R_{ges}(n) = R \cdot \left( 1 + T \cdot T' \cdot \frac{1}{1 - R^2} \right) = R(1 + T_{ges}) = \frac{(n - 1)^2}{n^2 + 1}, \quad (10)$$

$$T_{ges} + R_{ges} = 1. \quad (11)$$

Daraus erhält man durch Lösen der sich ergebenden quadratischen Gleichung den Brechungsindex:

$$n(T_{ges}) = \frac{1}{T_{ges}} \left( 1 + \sqrt{1 - T_{ges}^2} \right), \quad (12)$$

$$n(R_{ges}) = \frac{1}{1 - R_{ges}} \left( 1 + \sqrt{1 - (1 - R_{ges})^2} \right) \quad (13)$$

## 1.2 Aufbau der Versuchsanordnungen

Während des Praktikums werden verschiedene Versuchsaufbauten verwendet, um jeweils den Transmissions- und Reflexionsgrade verschiedener Materialien sowie die Anregungswellenlänge einer organischen, fluoreszierenden Probe zu ermitteln.

### 1.2.1 Shimadzu 3100

Für die Aufnahme der Reflexions- und Transmissionsgrade werden zwei verschiedene Aufbauten eines Gerätes, dem Shimadzu 3100, verwendet. Dieses Gerät erzeugt mithilfe einer Halogen- (WI) und einer Deuteriumlampe (D<sub>2</sub>) Licht verschiedener Wellenlängen, wobei die einzelnen Wellenlängen mithilfe optischer Gitter anstelle von Prismen voneinander getrennt werden. Im Gegensatz zur Verwendung eines Prismas hängt die Beugung über das Gitter nicht direkt von der Wellenlänge ab und es entstehen auch weniger Unsicherheiten aufgrund der Unabhängigkeit von der Brechzahl. Des Weiteren entfällt die Absorption von Licht im Glas, was niedrigere Intensitäten und mit der daraus folgenden geringeren Lichtausbeute auch größere Fehler vermeidet. In Abbildung 2 ist der Transmissionsaufbau zu sehen. **Anordnung zur Messung der Transmission**

Für die verschiedenen Wellenlängenbereiche sind ein Photomultiplier (PM) und eine Blei(II)-Sulfid-Zelle (PbS) als Detektoren und unterschiedliche Lampentypen verwendet. Das Gerät schaltet beim Übergang selbstständig von einem Wellenlängenbereich in den anderen um, wodurch im Umschaltbereich eine starke Fluktuation der Messung beobachtbar ist. (vgl. Abbildungen zu Transmissions- und Reflexionsgrade im Abschnitt 2.1) Diese Umschaltungen

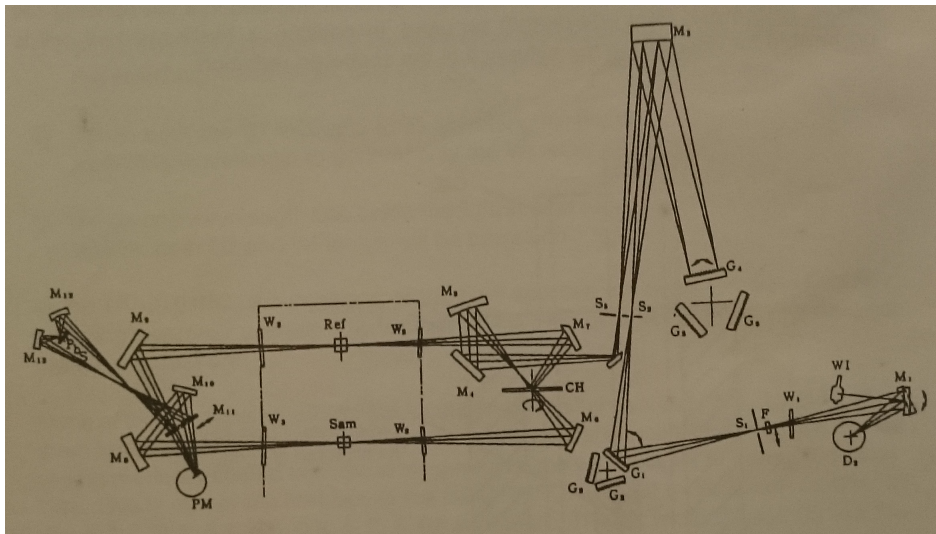


Abbildung 2: Aufbau zur Transmissionsmessung

finden in den Wellenlängenbereichen um 250nm und 850nm statt und werden durch die Messbereiche der verwendeten Detektoren bestimmt. Das Licht der Lampen WI und D<sub>2</sub> wird durch ein System von Spalten, Gittern und einen Filter geleitet und danach über Spiegel aufgespalten. Die Aufspaltung dient dem Erhalt eines Referenz- und eines Probenstrahls.

#### Anordnung zur Messung der Reflexion

Der Aufbau zur Messung der Reflexion ist bis zur Probenkammer identisch dem Aufbau zu Messung der Transmission. In die Probenkammer wird ein System aus Spiegeln eingesetzt, um die Strahlen in eine nebenstehende andere Kammer umzulenken. Dort ist ein weiteres System von Spiegeln angeordnet, welches den Referenzstrahl misst und über weitere Spiegel den Probenstrahl auf die Probe lenkt. Die Probe reflektiert daraufhin einen Teil des Probenstrahls, welcher über Spiegel zu den Detektoren gelenkt wird.

In beiden Fällen muss vor jeder Messung eine Kalibrierung vorgenommen werden, die das Verhältnis von Proben- und Referenzstrahl ohne eingesetzte Probe feststellt. Damit wird auf die 100% Transmission bzw. Reflexion normiert.

#### 1.2.2 Fluoromax

Das Fluorimax-Gerät besteht aus einer Lampe, die weißes Licht emittiert, zwei optischen Gittern, einer Probenkammer, einem System aus Spiegeln und Photodetektoren.

Das erste optische Gitter lässt sich so drehen, dass entsprechend nur Licht einer bestimmten, voreinstellbaren Wellenlänge durchgelassen wird. Dieses Licht entspricht dem Anregungslicht. Die Einstellung der Anregungswellen-

länge geschieht über die Drehung des Gitters vor der Probe. Ein weiteres drehbares Gitter befindet sich hinter der Probe und dient der Abtastung der einzelnen Wellenlängen durch Drehung. Aufgrund der Bragg-Bedingungen:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin(\alpha) \quad (14)$$

mit Wellenlänge  $\lambda$ , Gitterabstand  $d$ , Ordnung  $n$  und dem Drehwinkel  $\alpha$  kann es passieren, dass ganzzahlige Vielfache der Wellenlänge bei fester Gitterkonstante und festem Winkel unerwünscht konstruktiv interferieren und das Messergebnis erheblich beeinflussen. (vgl. Abbildung 3 in Abschnitt 2.2) Um das einfallende Licht Erregungslicht aus der Messung herauszufiltern wird zwischen Probe und dem optischen Gitter ein Filter eingebracht, der die Erregerwellenlänge absorbiert.

### 1.3 Fluoreszenz

Fluoreszenz beschreibt die spontane Emission von Licht nach Anregung eines physikalischen Systems. Dabei erfolgt die Emission durch einen Übergang zwischen zwei Zuständen gleicher Spins von einem höheren in einen niedrigeren. Die Zustände sind sehr kurzlebig, wodurch die Fluoreszenz schnell abklingt. Die Anregungswellenlänge ist dabei meist kleiner als die Wellenlänge des emittierten Lichtes. Ein fluoreszierendes System nennt man Fluorophor.

## 2 Versuchsdurchführung

### 2.1 Messung spektraler Transparenz und Reflexion

Die Messungen zu Transmissions- und Reflexionsgrad erfolgen Schubweise, da für die verschiedenen Proben unterschiedliche Wellenlängenbereiche interessant sind. Für jeden Bereich muss eine Kalibrierung vorgenommen werden, die feststellt, was 100% Reflexions- bzw. Transmissionsgrad sind. Das bedeutet, Proben- und Referenzstrahl werden verglichen und innerhalb der Auswertungsoftware wird um einen entsprechenden Faktor auf die 100% korrigiert. Zunächst müssen die Parameter der Messung eingegeben werden. Das sind der Wellenlängenbereich, die Schrittweite zwischen den Wellenlängen und die Messdauer auf einer Wellenlänge, sowie die Wellenlängen, an denen die Lichtquelle zu wechseln ist. Ist dies eingestellt, wird die Kalibrierung vorgenommen. Danach kann mit dem Einsetzen der Probe im Probenstrahlengang begonnen werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass während der Messungen die Probenräume geschlossen gehalten müssen, da ansonsten Umgebungslicht die Messung beeinflussen würde.

Nun setzt man nacheinander die gewünschten Proben ein, bis ein Wechsel des Wellenlängenbereichs notwendig wird.

Die Intervalle der Messungen wurden in Schritten von jeweils 1nm für die

Farbfilter	Farbe
F0246	blau
F0907	gelb
F0956	orange
F0957	rot

Transmissionsgrade und 2nm für die Messung der Reflexionsgrade abgetastet. Der Lampenwechsel findet an den Wellenlängen 285nm und 885nm statt. Es wurden folgende Farbfilter verwendet: Gemessen werden diese Filter in einem Intervall von 350nm bis 800nm für die Transmission. Die Reflexion wird ab 250nm gemessen. Für die Glasprobe, den Metallinterferenzfilter und die organische Probe werden als untere Intervallgrenze 250nm festgesetzt. Für die Messung an einem Stück eines Visiers eines Feuerwehrhelms wird die obere Intervallgrenze verschoben auf 1300nm. Für die entsprechende unbeschichtete Probe wird der Infrarotbereich von 900nm bis 1500nm gemessen.

## 2.2 Lumineszenzspektrometrie

Die Messung der spektralen Verteilung des emittierten Fluoreszenzlichtes einer Probe wird im FLOUROMAX-Lumineszenzspektrometer vorgenommen. Dabei wird eine Probe mit einer ausgewählten Wellenlänge angeregt und es wird mit einem Detektor die Intensitätsverteilung des emittierten Lichtes gemessen. Zum Ausfiltern der entsprechenden Wellenlängen (sowohl des einfallenden, als auch des ausfallenden Lichtes) werden 2 Monochromatoren verwendet. Diese bestehen aus optischen Gittern mit Gitterkonstante  $d$ , die in einem bestimmten Winkel  $\theta$  platziert werden, so dass die gewünschte konstruktive Interferenzbedingung für  $m \in \mathbb{Z}$  erfüllt ist:

$$m \cdot \lambda \stackrel{!}{=} d \cdot \sin \theta. \quad (15)$$

Zu Beginn wurde die Funktionstüchtigkeit des Monochromators überprüft, indem bei geöffneter Klappe ein weißes Blatt Papier in den Strahlengang gehalten wurde und anhand der Farbe die Richtigkeit der herausgefilterten Wellenlänge geprüft wurde. Dabei fällt auf, dass bereits im normalerweise für das menschliche Auge nicht sichtbare UV-Bereich ein grün-blauer, und somit langwelligerer, Lichtfleck erscheint. Dies kann mit der freien Wahl von  $m$  in Gleichung (15) bei konstanter rechter Seite erklärt werden. Dieses Phänomen trat insbesondere auch bei der Messung des Emissionsspektrums der in Abschnitt 3.2.4 beschriebenen Farbstoffaufdampfschicht unter Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge 280 nm auf. Der rote Graph in Abbildung 3 zeigt einen deutlichen Peak bei  $\lambda = 560 \text{ nm} = 2 \cdot 280 \text{ nm}$ . Der Monochromator am Eingang der Messkammer lässt wegen (15) sowohl 280 nm als auch 560 nm konstruktiv interferieren, wodurch am Ausgang nach entsprechender Trans-



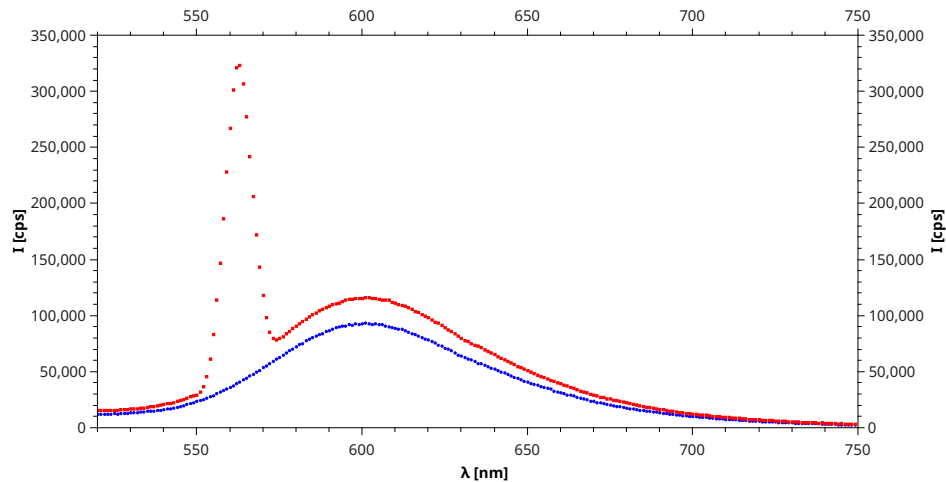


Abbildung 3: Emissionsspektrum der Farbstoffaufdampfschicht ohne (rot) und mit geeignetem Filter (blau).

mission durch die Probe der störende Peak entsteht. Diese kann beseitigt werden, indem man am Eingang einen Kantenfilter (Bezeichnung: WG320) verwendet, der Wellenlängen unterhalb einer gewissen Grenzwellenlänge absorbiert. Das so korrigierte Spektrum entspricht dem blauen Graph in Abbildung 3. Da der Filter auch ein gewisses Absorptionsvermögen in anderen Wellenlängenbereichen hat entsteht weiterhin eine leichte Abschwächung des Signals.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Ermitteln des Brechungsindex einer Glasprobe

Nach der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Messung des spektralen Transmissions- und Reflexionsvermögens einer vorgegebenen (Quarz-)Glasprobe im Wellenlängenbereich von  $\lambda = 250 \dots 800$  nm ergeben sich die in Abbildung 4 dargestellten Spektren. Dabei wurde angenommen, dass das Absorptionsvermögen durch  $A = 1 - R - T$  gegeben ist. Man sieht deutlich, dass das Glas wie ein Kantenfilter wirkt, welcher elektromagnetische Wellen unterhalb einer Wellenlänge von 300 nm absorbiert. Im sichtbaren Bereich von etwa 400 bis 800 nm ist das Glas hauptsächlich transparent, da das Transmissionsvermögen etwa 90 % beträgt.

Mit Hilfe der Formeln (12) und (13) kann aus dem Spektrum der wellenlängenabhängige Brechungsindex bestimmt werden. Abbildung 5 zeigt den Verlauf für die Berechnung aus dem Transmissions- und dem Reflexionsvermögen. Beide Berechnungen sollten theoretisch zu einem identischen Ergeb-

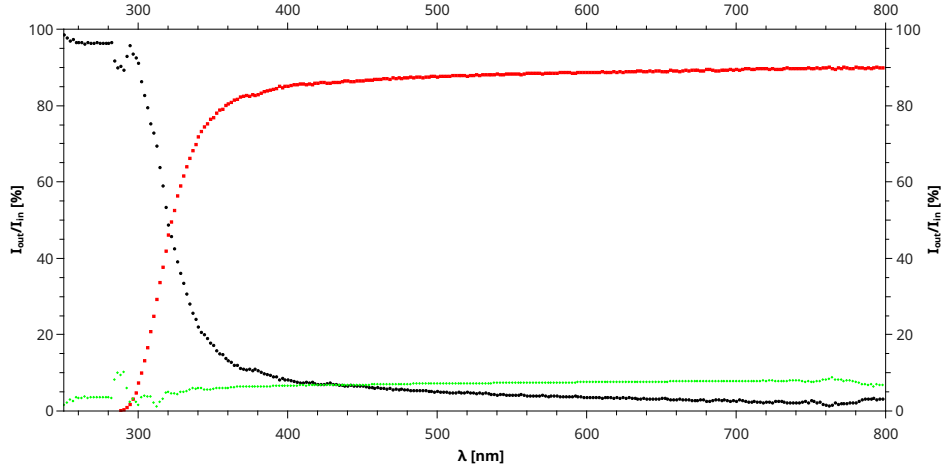


Abbildung 4: Spektrales Transmissions- (rot), Reflexions- (grün) und Absorptionsvermögen (schwarz) einer Glasprobe. Aufgetragen ist das Verhältnis der Intensität des Probestrahles  $I_{out}$  zu der des Referenzstrahles  $I_{in}$  in Abhängigkeit der Wellenlänge des Strahles  $\lambda$ .

nis führen, was offensichtlich nicht der Fall ist. Ein möglicher Grund dafür ist die Tatsache, dass Absorption im Medium stattfindet und somit die Relation  $1 = T_{ges} + R_{ges}$ , die in der Herleitung aus Abschnitt (1.1) verwendet wurde, nicht gültig ist. Da die Absorption allerdings schwach im Vergleich zur Transmission ist, ist die obige Herleitung eine akzeptable Näherung. Mittelt man beide errechnete Werte, erhält man den erwarteten Verlauf, dass der Brechungsindex im sichtbaren Bereich für große Wellenlängen immer weiter abnimmt. Dieser Effekt wird *Dispersion* genannt und er erklärt die spektrale Aufspaltung von Licht, die beispielsweise an einem Glasprisma auftritt. Mittelt man über den gesamten sichtbaren Wellenlängenbereich erhält man einen mittleren Brechungsindex für den vorliegenden Glasfilter von:

$$\bar{n} = 1,57 \pm 0,02. \quad (16)$$

Hierbei steht die Fehlerangabe für die Standardabweichung der aufgenommenen Messpunkte um den Mittelwert.

Für Wellenlängen unterhalb von 400 nm ist es nicht sinnvoll den Brechungsindex mit der oben angegebenen Methode zu berechnen, da Absorptionseffekte immer signifikanter werden. Um dies noch besser zu berücksichtigen müsste man den Brechungsindex als komplexe Größe auffassen, d.h.  $n \rightarrow N := n(1 + \kappa) \in \mathbb{C}$ .

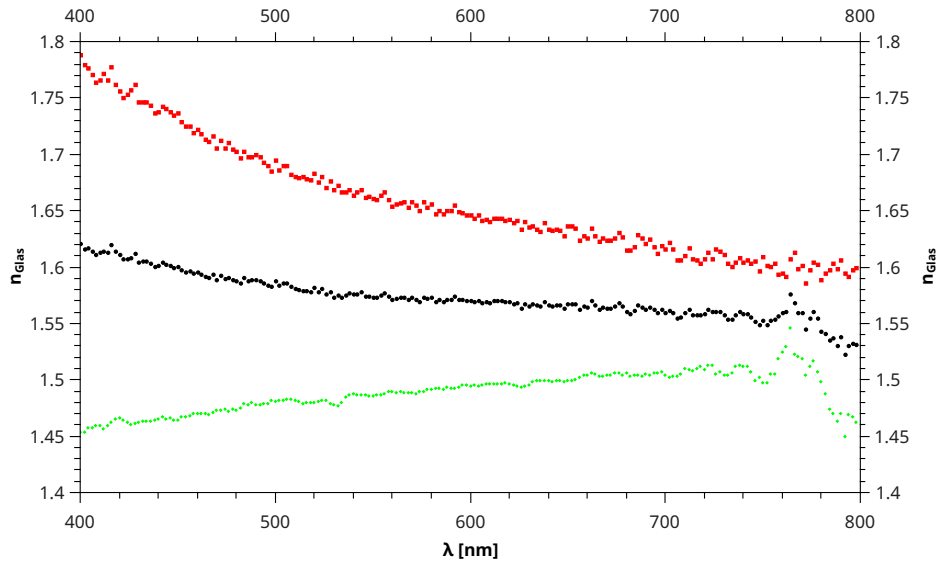


Abbildung 5: Wellenlängenabhängiger Brechungsindex. Dieser wurde aus dem Transmissionsvermögen (rot), dem Reflexionsvermögen (grün) bestimmt und anschließend gemittelt (schwarz).

### 3.2 Transmissions- und Reflexionsvermögen verschiedener Filter

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Messungen des spektralen Transmissions- und Reflexionsvermögens diverser Proben qualitativ diskutiert werden.

#### 3.2.1 Farbfilter

In Abschnitt 2.2 werden zuerst bunte Glasplatten untersucht. Das sind Platten aus Quarzglas, in deren Struktur zusätzlich zum Quarz andere Teilchen eingebracht wurde. In den Abbildungen 6(a) und 6(b) sind die Ergebnisse der Reflexions- und Transmissionsmessung zu sehen. Die Filter *rot*, *orange* und *gelb* nennt man Kantenfilter. Das liegt an ihrer charakteristischen Kante. Der *blaue* Filter wird Gauß-Filter genannt. Dies liegt an seinem charakteristischen Messkurvenverlauf, welcher einer typischen Glockenkurve ähnelt. Die Reflexion der Maxima bei allen Farbfiltern ist deutlich geringer als ihr Transmissionsvermögen in den gleichen Intervallgrenzen. Dieses Verhalten ist erwartungsgemäß, da die Filter alle durchsichtig sind und somit mehr Licht durch sie hindurch gelassen als von ihnen reflektiert wird.

In Abbildung 6(b) kann man Fluktuationen um 285nm erkennen, welche zum einen durch den Lampenwechsel, zum anderen auch durch den Wechsel

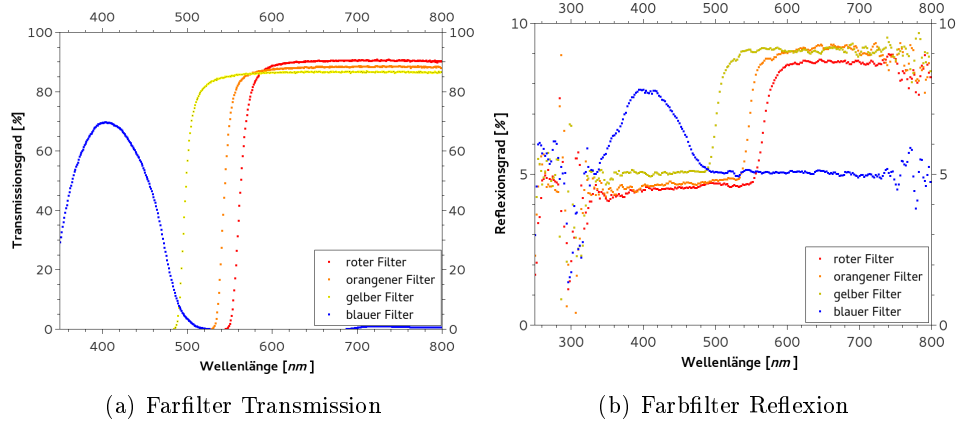
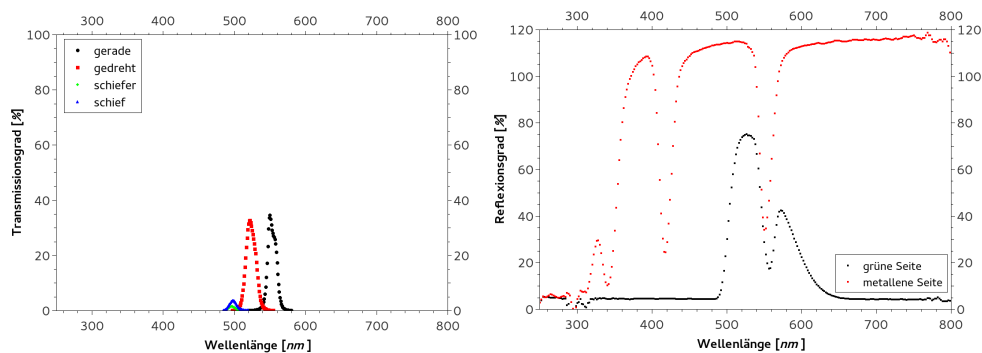


Abbildung 6: Reflexions- und Transmissionsgrade von farbigen Gläsern

der Messbereiche der Detektoren zustande kommt. Für die Kantenfilter gilt weiterhin, dass der Absorptionsgrad links der Kante nahezu 100% beträgt, was gerade der jeweiligen Komplementärfarbe entspricht. Rechts der Kante findet kaum Absorption statt.

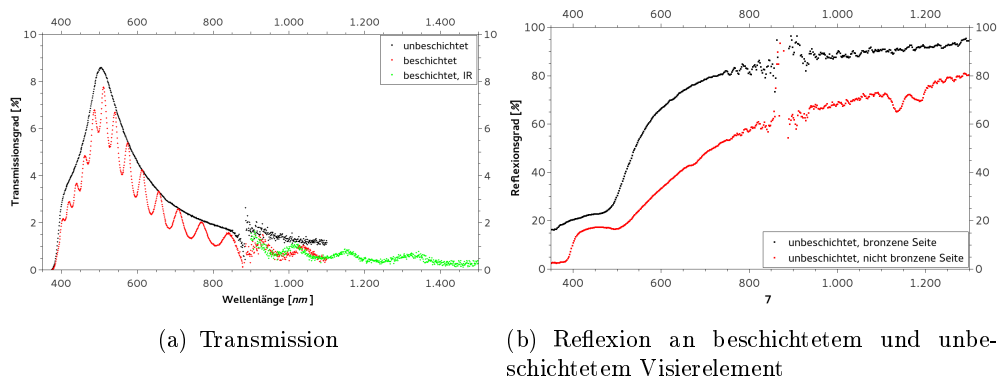
### 3.2.2 Metallinterferenzfilter

Als nächstes wurde ein Filter untersucht, welcher auf der einen Seite grün, auf der anderen Seite metallisch glänzte. Untersucht wurde die Transmission in Abhängigkeit von verschiedenen Winkeln und der Wellenlänge. Genaue Winkel wurden dazu nicht notiert. Weiterhin wurde die Reflexion der Metallschicht sowie der grünen Schicht untersucht. (vgl. Abbildung 7) Abbildung 7(a) zeigt die Transmission in Abhängigkeit des Winkels. Dabei bedeutet *gerade* den rechtwinkligen Einfall des Lichtes, *gedreht* bedeutet eine Drehung um ca.  $40^\circ$  und *schief* bzw. *schief*er bedeuten eine Drehung von ungefähr  $60^\circ$ . Abbildung 7(a) zeigt eine Abhängigkeit der Wellenlänge des transmittierten Lichtes vom Einfallswinkel. Alle anderen Komponenten des Lichts werden entweder absorbiert oder reflektiert. Diese Beobachtung ist wiederum mit der Bragg-Bedingung erklärbar. Durch die Bedampfung des Trägers mit einer Metallschicht, ergibt sich ein Kristallgitter, für welches die Gleichungen 14 bzw. 15 gelten. Ändert man nun den Einfallswinkel unter Konstanz der Ordnung und der Gitter-Konstanten, ändert sich entsprechend die Wellenlänge des transmittierten Lichtes. Ein ähnlicher Gedanke erklärt auch die Kurve des Reflexionsgrades der metallenen Seite. Man kann deutlich wiederkehrende Minima erkennen, deren Abstände sich nahezu verdoppeln. Aus der Bragg-Bedingung könnte sich damit das nächste Minimum bei 840nm befinden. Die grüne Seite des Metall-Interferenz-Filters reflektiert erwartungsgemäß vor allem grünes Licht. Die beiden Peaks entsprechen



(a) Transmission eines Metallinterferenzfilters in Abhängigkeit verschiedener Winkel (b) Reflexion eines Metallinterferenzfilters in Abhängigkeit von der Seite

Abbildung 7: Transmissions- und Reflexionsgrade eines Metall-Interferenz-Filters



(a) Transmission

(b) Reflexion an beschichtetem und unbeschichtetem Visierelement

Abbildung 8: Transmissions- und Reflexionsspektren eines Feuerwehrhelm-Visiers

525nm und 575nm

### 3.2.3 Material des Visieres eines Feuerwehrhelms

#### 3.2.4 Farbstoffaufdampfschicht

Es wurde eine Glasplatte untersucht, auf die eine dünne Schicht eines lumineszierenden organischen Stoffgemisches aufgedampft wurde. Diese Schicht besteht zu 2% aus Dichlormethan (DCM), einer organischen Substanz, die man häufig als Lösungsmittel für Harze, Fette und Kunststoffe verwendet[01], und zu 18 % aus Aluminium-tris(8-hydroxychinolin) (Alq3), einer orange fluoreszierenden Komplexverbindung, welche zum Bau von organischen Leuchtdioden (OLED) verwendet wird. Abbildung 9 zeigt das spektrale Verhalten

der Messung in Transmission und Reflexion, sowie das Absorptionsverhalten. Man erkennt, dass die Absorption für Licht im UV-Bereich stark zunimmt, was dem typischen Verhalten einer Glasplatte, auf die das Substrat aufgebracht ist, entspricht (vergleiche Abbildung 4). Man erkennt mehrere Peaks zum einen im Bereich von etwa 400 nm, welche mit dem Absorptionsverhalten von Alq3 erklärt werden können und in der Umgebung von etwa 500 nm, die dem DCM zugeordnet werden können.

Das Fluoreszenzverhalten dieser Probe wurde mit der in Abschnitt 2.2 be-

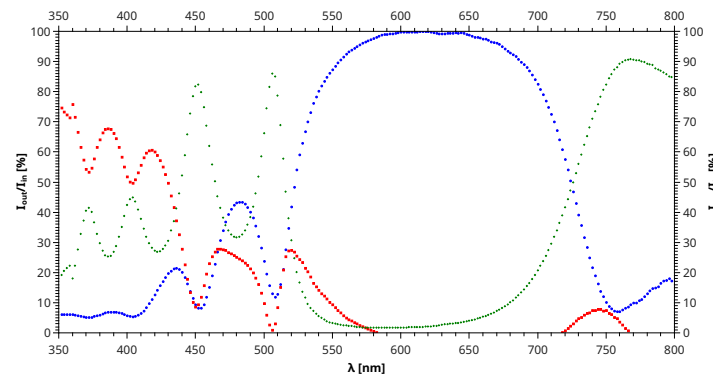


Abbildung 9: Spektrales Transmissions- (grün), Reflexions- (blau) und Absorptionsvermögen (rot) der Farbstoffaufdampfschicht. Aufgetragen ist das Verhältnis der Intensität des Probestrahles  $I_{out}$  zu der des Referenzstrahles  $I_{in}$  in Abhängigkeit der Wellenlänge des Strahles  $\lambda$ .

schriebenen Messmethode weiter untersucht. Dafür wurde die Probe mit 280, 400 und 500 nm angeregt und es wurde die spektrale Intensität des emittierten Fluoreszenzlichtes gemessen. Diese speziellen Wellenlängen wurden gewählt, da bei diesen besonders starke Absorption zu erwarten ist. Abbildung 10 veranschaulicht die Ergebnisse der Messung. Man sieht deutlich, dass in allen drei Fällen ein Intensitätspeak bei 600 nm entsteht, welcher das orangefarbene Fluoreszenzlicht erklärt. Das offensichtlich größte Maximum entsteht, wenn man direkt mit 400 nm die Alq3-Moleküle in einen höheren Anregungszustand versetzt, welche bei Abregung dann Photonen der entsprechenden Wellenlänge emittieren. Mit 280 nm regt man hauptsächlich das Glasgitter an. Dieses gibt die Anregung zum Beispiel in Form von Gitterschwingungen (Phononen) an Alq3 weiter, welches dann fluoresziert. Der resultierende Peak ist allerdings sehr klein im Vergleich zur direkten Anregung. Bei 500 nm wird Dichlormethan besonders häufig angeregt. Auf organische Moleküle wie DCM wirkt sich eine Anregung auf den Schwingungs- und Rotationszustand aus, wodurch auch hier Energie an Alq3 weitergegeben werden kann.

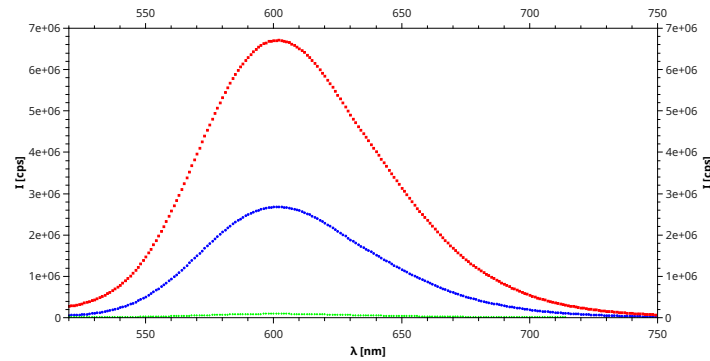


Abbildung 10: Emissionsspektrum der Farbaufdampfschicht unter Bestrahlung mit 280 nm (grün), 400 nm (rot), 500 nm (blau). Dargestellt ist die emittierte Intensität des Fluoreszenzlichtes  $I$  in Einheiten der Detektorzählimpulse pro Zeiteinheiten als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$ .

## 4 Diskussion und Zusammenfassung

Im durchgeführten Experiment wurde die Abhängigkeit des Reflexions-, Transmissions- und Absorptionsvermögens von der Wellenlänge des einfallenden Lichts verschiedener Proben untersucht. Klassische Farbfilter, wie man sie zum Beispiel in der Lichttechnik einsetzt, absorbieren Licht bis zu einer gewissen Grenzwellenlänge und besitzen ein kantenförmiges Spektrum. Die dabei untersuchte Probe einer fluoreszierenden Farbstoffaufdampfschicht ergab ein kompliziertes Spektrum mit Absorptionsmaxima um die der einzelnen Komponentenmoleküle (Glas, DCM, Alq3). Der einzig lumineszierende Stoff dabei ist Alq3 und dieser kann aufgrund der relativ geringen Anregungsenergie von etwa 3,1 eV den Halbleitern zugeordnet werden. Begünstigt man durch geeignete umgebende Materialien die Bildung von Exzitonen (gebundenen Elektronen-Loch-Zuständen), können diese beim Zerfall den Farbstoff anregen und somit gezielt die Aussendung von Fluoreszenzlicht auslösen. Aus diesem Grund trifft man dieses Material sehr häufig in der sogenannten Emitterschicht von organischen Leuchtdioden (OLED) an, die technologisch zum Bau von Handydisplays verwendet werden können.

Weiterhin wurde durch die gleiche Messung der frequenzabhängige Brechungsindex einer Glasplatte bestimmt, der mit zunehmender Wellenlänge abnimmt. Der mittlere Brechungsindex ergibt sich zu  $n = 1,57$ , was sehr gut mit der Erwartung für eine Quarzglasplatte übereinstimmt.

## Literatur

- [01] unbekannter Autor. <https://de.wikipedia.org/wiki/Dichlormethan>. zuletzt geöffnet: 06.03.16