

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Licht und Sehen . . . . .	2
2.2	Licht und Materie . . . . .	3
2.2.1	Reflexion und Transmission . . . . .	3
2.2.2	Brechung und Beugung . . . . .	3
2.2.3	Absorption . . . . .	3
2.3	Lichtquellen . . . . .	4
2.3.1	Schwarze Körper als Strahler . . . . .	4
2.3.2	Elektrische Strahler . . . . .	4
2.3.3	Brennstoffstrahler . . . . .	5
2.3.4	Kosmische Strahler . . . . .	5
2.3.5	Chemische Strahler . . . . .	5
2.3.6	Elektrisch angeregte Strahler . . . . .	6
2.4	Spektralanalysen . . . . .	7
2.4.1	Arten von Spektren . . . . .	7
2.4.2	Spektrale Methoden . . . . .	8
2.4.3	Spektroskopie . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Versuch und Auswertung</b>	<b>9</b>
3.1	Emissionsspektren . . . . .	9
3.2	Transmissionsspektren . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Aufgabe: Verbesserungsvorschläge</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>12</b>
5.1	Literaturverzeichnis . . . . .	12

## Anhang: Spektren aus dem Praktikum

# 1 Einleitung

Zu den wichtigsten Sinnen des Menschen gehört das Sehen. Obwohl nur ein geringer Teil des elektromagnetischen Spektrums durch die Augen wahrgenommen werden kann, sind die Informationen die durch das sichtbare Licht gewonnen werden können sehr umfangreich. Dabei kann das menschliche Auge nicht nur Informationen über die Helligkeit, also die Intensität gewinnen sondern auch die Farbe und damit auch die Wellenlängen von gestreutem Licht unterscheiden.

Auch technisch betrachtet ist der Bereich des sichtbaren Lichts von großer Bedeutung. So können mit Hilfe von elektromagnetischer Strahlung Informationen übertragen, gewonnen und gespeichert werden. Ein wichtiges Hilfsmittel hierbei stellt die Spektralanalyse dar. Hierbei wird die Intensität einer elektromagnetischen Strahlung in Abhängigkeit der Frequenz untersucht. In diesem Versuch werden verschiedene Spektren untersucht und ausgewertet.

## 2 Physikalische Grundlagen

Im Folgenden sollen die zur Versuchsbeschreibung wichtigen physikalischen Grundlagen genannt und erläutert werden.

### 2.1 Licht und Sehen

Das nachweisbare elektromagnetische Spektrum erstreckt sich von Wellen mit einer Wellenlänge von mehreren tausenden Kilometern und damit einer Frequenz im Bereich von mehreren Hertz bis hin zu den den kurzwelligen Strahlungen von wenigen Femtometern und einer Frequenz  $10^{23} Hz$ . Fast alle Teile des Spektrums finden heute Anwendung in Medizin, Forschung und Technik. Rundfunk und Mikrowellen haben dabei eine größere Wellenlänge als sichtbares Licht, während Röntgen- und Gamma-Strahlen zu den kurzwelligen Strahlungen mit Wellenlängen kleiner als die des sichtbaren Bereichs des Spektrums gehören.

Im Versuch wird ausschließlich der Bereich der sichtbaren elektromagnetischen Strahlung zuzüglich des ultravioletten und des infraroten Spektrums betrachtet. Die Wellenlängen dieser Strahlungen liegen im Bereich von  $1nm$  bis hin zu  $1000nm$ , wobei nur ein Teil von  $400nm$  bis hin zu  $750nm$  dieses Spektrums durch das Auge wahrgenommen werden kann und somit zum sichtbaren Licht gehört. Wellen mit einer Wellenlänge von ca  $10nm$  bis hin zu  $400nm$  gehören zum ultravioletten Spektrum, wohingegen Wellen mit einer Wellenlänge größer als  $750nm$  zum infraroten Spektrum gezählt werden.

Das Sehen wird physiologisch durch zwei verschiedene Strukturen im Auge vermittelt. Dabei spielen die Zapfen und Stäbchen auf der Retina des Auges die hauptsächliche Rolle. Die Stäbchen sind dabei intensitätsempfindlicher als die Zapfen, können aber keinen Farbeindruck vermitteln. Farbigen Sehen wird durch die Stäbchen vermittelt, die allerdings nur bei höheren Intensitäten einen Sinnesreiz hervorrufen. Es gibt drei verschiedene Arten von Zäpfchen in der Netzhaut, die bei unterschiedlichen Bestrahlungswellenlängen (blau  $430nm$ , grün  $530nm$ , gelb/rot  $570nm$ ) empfindlich sind. Durch die unterschiedlich starke Reizung dieser Zäpfchen kann so einfallendem Licht ein Farbeindruck zugeordnet werden.

## 2.2 Licht und Materie

Elektromagnetische Wellen und Materie können interagieren. Einerseits können Lichtwellen von einem Körper emittiert und absorbiert werden, andererseits kann Licht an Körpern reflektiert und durch den Körper transmittiert werden.

### 2.2.1 Reflexion und Transmission

Jeder Körper besitzt aufgrund des Aufbaus aus Atomen spezielle Eigenschaften (Dielektrizität und Permeabilität) gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern und somit auch gegenüber elektromagnetischen Wellen. Das unterschiedliche Verhalten verschiedener Körper führt in der Optik zur Definition einer Materialkonstanten, der Brechzahl. Diese ergibt sich aus der Modellvorstellung von Materie als freie Dipoloszillatoren. Die Brechzahl eines Mediums ist im allgemeinen Wellenlängen- bzw. Frequenzabhängig. Dieser Effekt wird als Dispersion bezeichnet. In doppelbrechenden Medien ist die Brechzahl zusätzlich von der Richtung der einfallenden Lichtwellen abhängig.

Mit Hilfe des Brechungsindex (entspricht dem Realteil der Brechzahl) kann bei einem Übergang zwischen zwei Medien einerseits mit Hilfe des Snelliusschen Brechungsgesetzes die Fortpflanzungsrichtung und andererseits mit Hilfe der Fresnelschen Formeln die Amplitude und damit die Intensität von transmittierten und reflektierten Lichtwellen berechnen. Aufgrund der Dispersion ist die Intensität reflektierter und transmittierter, sowie die Fortpflanzungsrichtung transmittierter Lichtwellen bei einem Übergang ebenfalls wellenlängenabhängig.

### 2.2.2 Brechung und Beugung

Elektromagnetische Wellen werden beim Übergang von einem Medium in ein anderes Medium mit einem anderen Brechungsindex gebeugt. Ist der Übergang von einem Medium mit einem geringeren in ein Medium mit größerem Brechungsindex werden Lichtstrahlen zum Lot der Übergangsfläche hin gebrochen. Aufgrund der Dispersion kann bei der Brechung an einer Oberfläche Licht spektral zerlegt werden. Ein Prisma, an dessen Kanten das Licht beim Eintritt und beim Austritt gebrochen wird, eignet sich daher zur spektralen Zerlegung von Licht. Dabei wird kurzwelliges Licht stärker gebrochen als langwelliges Licht. Eine andere optische Methode für die spektrale Zerlegung von Licht bietet die Beugung und Interferenz am Gitter. Ein mehrfarbiger Lichtstrahl wird durch Beugung am Gitter und der Interferenz der gebeugten Teilwellen spektral zerlegt. Hierbei sind die Maxima höherer Ordnungen für lange Wellenlängen unter einem größeren Ablenkwinkel zu finden als die entsprechenden Maxima kürzerer Wellenlängen.

### 2.2.3 Absorption

Der Imaginärteil der komplexen Brechzahl führt zu einer weiteren Materialkonstanten, dem Absorptionskoeffizienten. Anschaulich sorgt eine Dämpfung der Dipoloszillatoren für eine Verminderung der Feldamplitude und führt somit zu einer Intensitätsschwächung bei der Transmission durch ein Medium. Die Energie des absorbierten Lichts wird meistens in Wärme umgesetzt.

Der Absorptionskoeffizient ist wie der Brechungsindex auch frequenzabhängig. In durchsichtigen Medien ist der Absorptionskoeffizient für den Bereich des sichtbaren Lichts relativ gering, so dass die Intensität des transmittierten Lichts nur gering vermindert wird. Wellenlängenbereiche in denen ein Medium eine große Absorptionfähigkeit aufweist sind meist Bereiche anormaler Dispersion, das heißt der Brechungsindex nimmt mit zunehmender Wellenlänge ab. In Bereichen normaler Dispersion dagegen nimmt der Brechungsindex mit Wellenlänge zu.

Als idealisierter Fall einer Absorption lässt sich der Schwarze Körper bezeichnen. Ein idealer schwarzer Körper absorbierte elektromagnetische Strahlung unabhängig von der Wellenlänge zu 100%. Reflektion und Transmission eines schwarzen Körpers verschwinden.

## 2.3 Lichtquellen

Als Gegenteil einer Absorption lässt sich die Emission von elektromagnetischen Wellen bezeichnen. Jede elektromagnetische Welle geht ursprünglich von einer Quelle aus. Lichtquellen, also Körper die elektromagnetische Wellen im Bereich des sichtbaren Lichts emittieren lassen sich aufgrund ihrer Emissionseigenschaften in zwei Gruppen einteilen, die thermischen und die nichtthermischen Strahler. Im Folgenden werden für beide Gruppen einige Beispiele genauer beschrieben.

### 2.3.1 Schwarze Körper als Strahler

Der ideale schwarze Körper emittiert aufgrund seiner Temperatur elektromagnetische Strahlen einer bestimmten Wellenlänge. Dabei hängt nicht nur die Lage des Maximums des emittierten Spektrum, sondern auch die emittierte Leistung von der Temperatur des Strahles ab. Auch die minimal emittierte Wellenlänge verschiebt sich mit steigender Temperatur in Richtung hochenergetischer kurzwelliger Strahlungen.

Die spektrale Zusammensetzung von Licht emittiert durch eine thermische Lichtquelle wird oft mit der Strahlungscharakteristik eines schwarzen Strahlers einer bestimmten Temperatur verglichen, was zur Einführung der Farbtemperatur führt. Licht mit einer Farbtemperatur von ca.  $1800K$  wirkt dabei rötlich während Licht der Temperatur  $16000K$  bläulich erscheint.

### 2.3.2 Elektrische Strahler

Die klassische Art von Lichtquellen bilden die elektrischen Strahler. In ihnen wird meist ein Wolfram-Draht unter einer Schutzatmosphäre von Stickstoff, die ein Oxidieren verhindert, durch elektrischen Strom auf Temperaturen um  $2400^{\circ}C$  erwärmt. Dabei emittiert der Glühdraht Licht im Bereich des sichtbaren Spektrums. Spezielle Schutzatmosphären aus Krypton oder Xenon lassen dabei höhere Temperaturen des Glühdrahts zu, so dass auch höhere Temperaturen und somit auch „weißeres“ Licht erzeugt werden kann.

Noch höhere Temperaturen und größere Strahlungsintensitäten lassen sich durch Lichtbogenlampen erzeugen. Hierbei werden Kohleelektroden durch die Hitze eines Lichtbogens zwischen den Elektroden auf bis zu  $3000^{\circ}C$  aufgeheizt. Die Enden der Kohleelektroden wirken dabei als schwarze Strahler.

Etwas verwirrend scheint in diesem Zusammenhang der Name eines weiteren thermischen

Strahlers, der Kaltlichtquelle. Als Kaltlichtquelle werden normale elektrische Strahler bezeichnet, deren Spektrum einen geringen UV-Anteil enthält.

### 2.3.3 Brennstoffstrahler

Die ältesten Arten der Lichtquelle sind zweifellos alle Arten von brennenden Lichtquellen. Die durch die Oxidation von gasförmigen brennbaren Stoffen frei werdende Energie wird hierbei in eine Emission von elektromagnetischen Wellen umgesetzt. Ein großer Teil der Energie wird dabei nicht im sichtbaren Lichtspektrum emittiert, sondern im infraroten Bereich. Je nach Zusammensetzung der brennenden Stoffe erscheint die Flamme in einer unterschiedlichen Färbung. Dies ist hauptsächlich auf Ionen im Stoff zurückzuführen. Anhand einer Spektralanalyse können so beim Verbrennen Rückschlüsse auf die Art der im Stoff befindlichen Ionen gezogen werden.

Flüssige Brennstoffe können in einer Starklichtlampe mit höherer Lichtausbeute verbrannt werden. Hierbei wird das emittierte Licht nicht von der Flamme erzeugt. Diese dient nur zum Anheizen eines Glühstrumpfes, der für die Emission von Licht verantwortlich ist. Aufgrund von auf den Glühstrumpf aufgetragenen Stoffen besitzt das von einem Glühstrumpf emittierte Licht eine viel höhere Farbtemperatur als die Temperatur durch die Verbrennung erwarten ließe. Grund hierfür ist die geringe Emission von langwelligem Licht.

### 2.3.4 Kosmische Strahler

Die Sonne ist für die Erde die wichtigste Lichtquelle. Die Sonne emittiert wie alle anderen Sterne auch elektromagnetische Wellen in allen Spektralbereichen, allerdings mit stark unterschiedlicher Intensität. Das extraterrestrische Sonnenspektrum ähnelt dem Spektrum eines schwarzen Strahlers bei  $2900K$ . Durch Absorption in der Atmosphäre ist auf der Erdoberfläche die Sonnenemission mit der Emission eines schwarzen Strahlers bei  $2500K$  vergleichbar. Das auf der Erdoberfläche wahrnehmbare Sonnenspektrum hat so sein Maximum im Bereich des sichtbaren Lichts. (Vielmehr ist der Spektralbereich deshalb sichtbar, da hier das Sonnenspektrum ein Maximum hat.)

Sehr große Teile des Sonnenspektrums stammen aus den oberen Schichten der Sonne. Diese wird durch hochenergetische Strahlung aus dem Sonneninneren aufgeheizt und zum emittieren im sichtbaren Bereich angeregt. Die Energie wird durch Kernprozesse im Sonnenkern freigesetzt. Dabei entsteht sehr hochenergetische  $\gamma$ -Strahlung, die durch Absorption und anschließender Emission an den „Schalen“ der Sonne immer wieder Energie verliert.

1805 entdeckte Fraunhofer bei einer Spektralanalyse der von der Sonne emittierten Strahlung mehrere schwarze Linien im kontinuierlichen Sonnenspektrum. Wie später gezeigt wurde entstehen diese „Lücken“ im Emissionsspektrum der Sonne teilweise durch Absorptionen in der äußeren Sonnenoberfläche, der Photosphäre, was einen Rückschluss auf die Elemente der Sonne zuließ. Heute werden viele Informationen im astronomischen Bereich durch die Analyse von Emissionsspektren über den gesamten Bereich des elektromagnetischen Spektrums gewonnen.

### 2.3.5 Chemische Strahler

Neben der Verbrennung können auch andere chemische Reaktionen für die Emission von Strahlungen herangezogen werden. Hierbei ist der Übergang eines Elektrons von einem

angeregten Zustand in einen niederenergetischeren Zustand für die Emission einer elektromagnetischen Welle verantwortlich. Je nach Art der Anregung dieser Reaktion unterscheidet man die Chemolumineszenz, eine Emission gespeist durch eine chemische Reaktion, die Biolumineszenz, eine enzymatisch bedingte Emission, sowie die Fluoreszenz und die Phosphoreszenz. Die Fluoreszenz bezeichnet hierbei die Emission von Licht aufgrund einer Anregung mit kurzwelligerer elektromagnetischer Strahlung, wie zum Beispiel UV-Strahlung. Die Emission endet hier mit dem Beenden der Bestrahlung. Die Phosphoreszenz bezeichnet einen ähnlichen Vorgang. Ein Stoff wird auch hier durch andere elektromagnetische Wellen zum Leuchten angeregt. Allerdings sind die Leuchterscheinungen auch noch nach Beenden der Bestrahlung sichtbar.

Anders als die oben genannten Emissionen, bis auf die Flammenfärbung mit Ionen, sind die Spektren der hier genannten Strahlungen Linienspektren. Bei den Reaktionen werden nur bestimmte Energiebeträge freigesetzt, was im Emissionsspektrum einer bestimmten Wellenlänge entspricht.

### 2.3.6 Elektrisch angeregte Strahler

Nach einem ähnlichem Prinzip wie die chemischen Strahler können verschiedene Stoffe zur Emission von Licht durch das Anlegen eines elektrischen Feldes angeregt werden.

**Gasentladungslampen** In Gasentladungslampen werden die Atome des Gases in der Lampe durch eine elektrische Anregung in einen Zustand versetzt, in denen sie dann spontan in den Grundzustand zurückfallen und dabei Licht emittieren. In den Niederdruckentladungslampen findet beim Anlegen einer Spannung eine Glimmentladung statt. Auch hier sind die emittierten Spektren durch das Material in den Lampen bedingt, so dass von Niederdruckentladungslampen je nach Stoff unterschiedliche Farben emittiert werden. Eine spezielle Art der Niederdruckentladungslampe ist die Leuchtstoffröhre. Das aktive Element Quecksilber emittiert bei einer Anregung Licht im ultravioletten Bereich. An der Innenseite der Leuchtstoffröhren sind fluoreszierende Stoffe angebracht, die bei Bestrahlung mit UV-Strahlung Licht im sichtbaren Spektrum emittiert.

Bei Anwachsener Stromdichte in den Lampen geht die Glimmentladung in eine Lichtbogenentladung über. In Hochdruckentladungslampen kann mit geringeren Spannungen eine größere Intensitätsausbeute erzielt werden. Sie werden unter anderem in Kinoprojektoren oder als neue Generation von Autoscheinwerfern eingesetzt.

**LED** Die moderne Halbleitertechnik erlaubt das Fertigen von Halbleiterelementen, die beim Anlegen einer Spannung Licht emittieren. Diese Bauteile werden als LED, Light Emitting Diode, bezeichnet. Die Emission von elektromagnetischen Wellen erfolgt hier beim Rekombinieren am p-n-Übergang. Je nach verwendetem Halbleitermaterial ist dieser Übergang strahlungslos oder wird mit von einer Emission bei einer bestimmten Wellenlänge begleitet. Durch Einbringen einer fluoreszierenden Substanz kann das emittierte Spektrum noch verändert werden.

**LASER** Die Erzeugung von Laserlicht beruht auf der induzierten (stimulierten) Emission von Licht. Selbst die Abkürzung „Laser“ weist darauf hin: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.

Durch die Zufuhr von Energie kann in einem Atom ein Elektron von seinem Grundzustand in einen höheren Energiezustand überführt werden. Die dafür notwendige Energie kann durch die Absorption einer elektromagnetischen Welle aufgebracht werden. Das so angeregte Atom ist nun in der Lage die zusätzliche Energie wieder durch die Emission einer elektromagnetischen Welle abzugeben. Dabei wird eine Welle mit einer diskreten Wellenlänge emittiert. Bei freien Atomen erfolgt die Emission spontan.

Bringt man allerdings die angeregten Atome in ein Lichtfeld mit geeigneter Wellenlänge, so wird die Emission durch eine der Lichtwellen stimuliert. Ob ein Lichtfeld durch Emission verstärkt oder durch Absorption geschwächt wird, hängt in erster Linie davon ab, wie das Verhältnis der im angeregten Zustand befindlichen Atome zu denen im Grundzustand ist. Im thermischen Gleichgewicht überwiegt nach der Boltzmann-Verteilung der energetisch niedrigere Zustand. Soll Licht durch die induzierte Emission verstärkt werden, so müssen mehr Atome im angeregten Zustand als im Grundzustand vorliegen. Der Besetzungszustand, bei dem die energetisch höheren Energieniveaus überwiegen, wird als Besetzungsinversion bezeichnet.

Die klassischen Laser bestehen meist aus einem optischen Resonator, einer Anordnung aus zwei (halbdurchlässigen) Spiegeln, zwischen denen das Medium der Besetzungsinversion eingebracht wird. So verstärkt sich Strahlung innerhalb des Mediums durch induzierte Emission. Ein Teil der Strahlung kann nun durch den halbdurchlässigen Spiegel entweichen. Die für die Anregung der Atome nötige Energie kann von außen elektrisch in Form einer Gasentladung oder optisch durch Licht einer Gasentladungslampe zugeführt werden (Der Vorgang der Energiezufuhr wird als Pumpen bezeichnet). Auch chemische Reaktionen oder Elektronenstrahlen können zum Pumpen eingesetzt werden.

## 2.4 Spektralanalysen

Ein wichtiges Hilfsmittel zur Untersuchung von Strahlungen bietet die Spektralanalyse. Genauer bezeichnet die Spektralanalyse oder Spektroskopie eine ganze Klasse von experimentellen Verfahren zur spektralen Untersuchung von reflektierten, transmittierten oder emittierten Lichtwellen. Der Begriff Spektrum bezeichnet hierbei die spezielle Abhängigkeit der Intensität von der Wellenlänge bzw. Frequenz. Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung lassen sich drei grundlegende Arten von Spektren unterscheiden.

### 2.4.1 Arten von Spektren

Im Grunde lassen sich drei Arten von Spektren unterscheiden. Diese werden nach dem Auftreten der spektralen Verteilung unterschieden.

**Linienpektrum** Das Linienpektrum zeichnet sich durch einzelne Linien bei verschiedenen Wellenlängen aus. Es besteht aus einer oder mehreren Linien, die auf diskrete Energien hinweisen. Linienspektren sind charakteristisch für die Emission einzelner Atome oder sehr kleiner Moleküle.

**Bandenspektrum** Das Bandenspektrum besteht ähnlich wie das Linienpektrum aus einer Anzahl von Linien. Allerdings sind diese so angeordnet, dass sie sogenannte Banden bilden. Zum Beispiel hat Quecksilber entweder ein Linien- oder ein Bandenspektrum. Die Banden sind aufgrund der Wechselwirkung verschiedener Atome miteinander zu erklären.

Welches Spektrum Quecksilber emittiert hängt in erster Linie vom Druck ab. So emittiert es bei wenig Druck ( $p \approx 1\text{mbar}$ ) ein Linienspektrum und bei hohem Druck ( $p \approx 100\text{bar}$ ) ein Bandenspektrum. Bandenspektren sind charakteristisch für die Emission von Atomen und Ionen, die miteinander wechselwirken und einfache Moleküle.

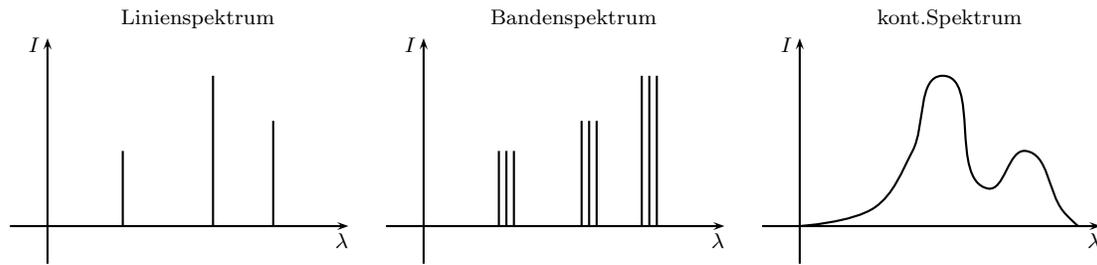


Abbildung 1: Der Vergleich der drei Arten von Spektren.

**Linienspektrum** Das Linienspektrum enthält einen großen Wellenlängenbereich. Es ist oft bei der Emission komplexer Moleküle zu beobachten. Da alle Wellenlängen in einem kontinuierlichen Spektrum zu beobachten sind erschwert das die qualitative Messung mit dem Auge.

#### 2.4.2 Spektrale Methoden

Je nach Aufgabe der spektroskopischen Untersuchung werden verschiedene Spektralanalysen vorgenommen.

Das Emissionsspektrum ist die klassische Art der Spektralanalyse. Hierbei wird Licht aus einer Lichtquelle in einem Spektrometer untersucht. Die Intensität wird dabei absolut über der Wellenlänge aufgetragen. Emissionsspektren eignen sich zur Untersuchung und dem Vergleich verschiedener Lichtquellen.

Für ein Reflektionsspektrum oder Transmissionsspektrum werden zwei spektrale Messungen benötigt. Ein Emissionsspektrum der verwendeten Lichtquelle dient als Referenz. In einem zweiten Schritt wird eine spektrale Messung vom reflektierten bzw. transmittierten Licht vorgenommen. Der Vergleich dieser Messungen liefert dann ein Spektrum der reflektierten bzw. der transmittierten Intensitäten.

Nach dem gleichen Prinzip funktioniert ein Absorptionsspektrum. Auch hier muss ein Emissionsspektrum der verwendeten Lichtquelle als Referenz erstellt werden. Die spektrale Untersuchung der transmittierten Wellen liefert beim Vergleich mit dem Referenzspektrum dann den Anteil der absorbierten Strahlungsintensität pro Wellenlänge.

Während das Emissionsspektrum meist die absolute Intensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge darstellt, werden in Absorptions- und Transmissionsspektren meist relative Intensitäten für einen Wellenlängenbereich dargestellt.

#### 2.4.3 Spektroskopie

Die Möglichkeiten einer spektralen Untersuchung von Licht sind vielfältig. Einige sollen im Folgenden vorgestellt werden.

**Handspektroskopie** Eine qualitative spektrale Untersuchung von Licht ist mit Hilfe eines Handspektrometers möglich. Hierzu wird das zu untersuchende Licht mit Hilfe eines Prismas spektral zerlegt. Anhand einer im Gerät angebrachten Skala können dann die Wellenlängen(-Bereiche) abgelesen werden. Die Messung mit einem Handspektrometer ermöglicht aufgrund der unterschiedlichen Empfindlichkeit des menschlichen Auges aber keine Aussage über die Intensität der nachgewiesenen Wellenlängen.

**Prismen- und Gitterspektrometer** Ähnlich wie bei einem Handspektroskop wird bei Spektrometern das einfallende Licht durch ein Prisma spektral zerlegt. Alternativ dazu kann die Zerlegung auch durch ein optisches Gitter erfolgen. Mit Hilfe einer Photodiode kann nun die Intensität des spektral zerlegten Lichts bestimmt werden. Das Auflösungsvermögen von Spektrometern wird meist mit einer Spaltblende vor der Photodiode vergrößert. Aus dem Winkel zwischen Messarm der Photodiode und der optischen Achse lässt sich so auf den untersuchten Wellenlängenbereich schließen. Unter der Berücksichtigung der Empfindlichkeit der Photodiode für den selektierten Wellenlängenbereich kann so die absolute Intensität dieses Bereichs ermittelt werden.

Durch die Verwendung von speziellen räumlich ausgedehnten Photodioden oder mehreren Spalten können auch mehrere Wellenlängenbereiche gleichzeitig erfasst werden.

**Digitale Spektrometer** Die moderne Halbleitertechnik ermöglicht im Bereich der Spektroskopie die einfachere Spektralanalyse. Hierbei ermöglicht ein CCD-Sensor die gleichzeitige Bestimmung der Intensität und der spektralen Zusammensetzung. Die Unterscheidung verschieden Wellenlängen erfolgt beim CCD-Sensor ähnlich wie auch beim menschlichen Auge durch die spezielle Anordnung verschiedener Bereiche, die für unterschiedliche Wellenlängen eine unterschiedliche Sensibilität besitzen.

Ein CCD-Sensor besteht aus einer gewissen Anzahl elektrisch isolierter Halbleiterelementen. In diesen werden durch den inneren Photoeffekt Ladungen freigesetzt und auf einem Kondensator gespeichert. Die Anzahl der in einem Zeitraum freigesetzten Elektronen kann nach dem Ende der Aufzeichnung digital ausgelesen werden. Durch die Wahl einer längeren Belichtungszeit kann so bei geringen Intensitäten eine Aufnahme erfolgen.

Als Nebeneffekt einer zu langen Belichtungszeit können bei zu hoher Intensität die Elektronenspeicher übersättigen, so dass keine Aussage mehr zur wirklichen Intensität mehr möglich ist.

Für die Aufnahme der Spektren im Versuch wurde ein digitales Spektrometer mit einem CCD-Chip mit 2048 Pixel verwendet.

## 3 Versuch und Auswertung

Als Versuch wurden verschiedene Emissionsspektren mit dem digitalen Spektrometer aufgezeichnet. Die Aufnahme von Reflexions- und Absorptionsspektren war leider auch nach mehreren Versuchen nicht möglich. Allerdings wurden einige Transmissionsspektren aufgezeichnet. Im Folgenden werden nun die verschiedenen Spektren beschrieben.

### 3.1 Emissionsspektren

Die im Anhang befindlichen Spektren sind nummeriert..

1. Das erste aufgenommene Spektrum zeigt das Emissionsspektrum der Umgebungsbeleuchtung aus dem Praktikumsraum. Dabei handelte es sich um eine Leuchtstoffröhre. Am Spektrum sind sehr genau die Quecksilber-Linien aus dem Emissionsspektrum einer Quecksilberdampflampe zu sehen. Diese sind im Spektrum mit der Wellenlänge markiert. Das kontinuierliche Spektrum um die  $HG578nm$  Linie, sowie die Linie bei  $605nm$  sind durch Quecksilber in den Leuchtstofflampen nicht zu erklären. Das Auftreten keiner anderen Spektrallinien im sichtbaren Bereich schließt dabei aber aus, dass es sich um eine Linie eines Edelgases handelt. Vielmehr ist diese Linie wohl durch das unbekannte Leuchtmittel in der Röhre zu erklären.
2. Diese spektrale Aufnahme zeigt die diffuse Außenbeleuchtung. Da an diesem Tag die Bewölkung keine direkte Untersuchung des Sonnenspektrums zuließ, ist keine direkte Aufnahme vorhanden. Trotz der Bewölkung ist die Aufzeichnung eines charakteristischen Sonnenspektrums gelungen. Das spektrale Maximum des emittierten Lichts ist bei ca  $500nm$  zu finden. Das Spektrum ist mit der Strahlungscharakteristik eines schwarzen Strahlers bei  $2500K$  vergleichbar. Ebenfalls gut zu erkennen sind die Fraunhoferlinien im Sonnenspektrum. Diese sind auf dem Spektrum eingezeichnet. Sehr deutlich sind hier die Linien  $A$  und  $B$  zu erkennen, die durch die Absorption in der Atmosphäre entstehen. Gut zu erkennen sind die  $C$ ,  $F$  und  $D'$ -Linien, welche durch Wasserstoff in der Photosphäre zu erklären sind. Die Natrium-Doppellinie  $D_1$  und  $D_2$  sind nicht genau auszumachen. Allerdings ist die  $D_3$ -Linie für Helium gut zu erkennen. Die restlichen Linien entstehen durch Eisen bzw. Magnesium und sind ebenfalls gut zu erkennen.
3. Diese Aufnahme zeigt ebenfalls die diffuse Außenbeleuchtung und die schon in der Aufnahme vorher eingezeichneten Fraunhoferschen Linien. Als Unterschied zur vorherigen Aufnahme wurde hier das Spektrum durch das Fensterglas aufgenommen. Hierdurch sind zwei Veränderungen zu erkennen.  
 Durch Reflexionen am äußeren Glas der Doppelscheibe der Raumbeleuchtung sind einige der gut ausgeprägten Linien des Spektrums einer Leuchtstoffröhre auch auf dem Spektrum der Außenbeleuchtung zu finden. Diese sind im Spektrum markiert.  
 Im zentralen Bereich des Spektrums von  $400nm$  bis  $600nm$  sind ansonsten keine Unterschiede zu der Spektralaufnahme ohne Fensterglas erkennbar, wohl aber in den Randbereichen. Der UV-Spektralbereich von  $300 - 400nm$  wird durch das Fensterglas deutlich absorbiert. Der ursprüngliche Verlauf ist im Spektrum als gestrichelte Linie zu beobachten. Ebenfalls absorbiert wird der Spektralbereich über  $600nm$ . Fensterglas absorbiert also UV und IR-Bereich, nicht aber im Bereich des sichtbaren Lichts.
4. Diese Aufnahme zeigt das Emissionsspektrum einer einfachen roten Laser-Diode. Die Nennwellenlänge dieser Diode beträgt  $650nm$  - ein Standard für rote Laser. Dieses Spektrum entspricht dem erwarteten Linienpektrum, obwohl das Laserlicht eine spektrale Breite aufweist. Ursache hierfür können Randeffekte in den Halbleiterbauteilen der Laserdiode bzw. des CCD-Sensors sein.
5. Dieses Spektrum wurde von einem Lasermodul mit grüner Emission aufgenommen. Hierbei handelt es sich um einen Neodym-Yttrium-Vandanium-Oxid (kurz:  $Nd : YVO_4$ ) Laser, der eigentlich im infraroten Bereich bei  $1064nm$  emittiert. Die grüne Emission wird hier durch eine Frequenzverdopplung bzw. Wellenlängenhalbierung auf  $532nm$  in

einem zusätzlichem Bauteil, einem Kaliumtitanylphosphat-Kristall (kurz: *KTP*) erreicht.

6. Diese Spektren wurden von einer blauen LED aufgenommen. Die Lichtleistung der verwendeten LED ist allerdings sehr gering, was durch einen vermutlichen Defekt im Bauteil zu erklären ist. Das erste Spektrum (a) entstand unter der vollen Raumbelichtung und mit einer sehr langen Belichtungszeit ( $1s$ ), so dass hier die diffuse Überlagerung des Leuchtstoffröhrenspektrum die Messung beeinträchtigt. Dennoch ist die Nennwellenlänge der blauen LED von  $478nm$  gut zu erkennen. Die zweite Aufnahme (b) mit kürzerer Belichtungszeit und digitalem Dunkelabgleich lieferte nun ein schärferes Spektrum der LED.
7. Das „beste“ Spektrum lieferte die Untersuchung einer Weißlicht-LED. Das optisch aktive Halbleiterelement besteht hierbei aus Zinkselenid, welches blaues Licht emittiert. Deutlich ist der hohe Blauanteil im Spektrum zu erkennen. Die weiße Emission wird durch ein zusätzliches fluoreszierendes Medium, Cer-dotiertem Yttrium-Aluminium-Granat-Pulver, vor dem blauen Emitter erreicht.

### 3.2 Transmissionsspektren

Neben den Emissionsspektren der verschiedenen Lichtquellen, gelang auch die Aufzeichnung einiger Transmissionsspektren. Als Lichtquelle diente hierbei die vorhandene, zum Spektrometer gehörige Lichtquelle, die Licht im gesamten Messbereich des Spektrometers mit annähernd gleicher Intensität emittieren kann. Aufgrund der geringen Intensität der verwendeten Lichtquelle bzw. Defekten an den verwendeten Lichtwellenleitern musste eine sehr lange Belichtungszeit gewählt werden. Somit sind die Aufnahmen teilweise verraucht, was eine quantitative Auswertung kaum noch zulässt. Qualitativ lieferten die Aufnahmen aber die erwarteten Spektren.

8. Dieses Transmissionsspektrum zeigt die Transmission eines Objektträgers aus handelsüblichem Glas. Wie zu erwarten ist die Transmission im Bereich des sichtbaren Lichts nahe 100%. Auch für den untersuchten infraroten Spektralbereich ist keine Absorption durch das Glas zu erkennen. Auffällig ist die hohe Absorptionsfähigkeit von Glas im Bereich des ultravioletten Spektrums. Hier wird fast die komplette Leistung auch durch den relativ dünnen Objektträger absorbiert. Dieser Effekt ist eigentlich schon beim Emissionsspektrum der Leuchtstoffröhre zu beobachten. Hier wird das von der Niederdruckquecksilberdampfampe emittierte ultraviolette Spektrum einerseits vom Leuchtmittel und andererseits von der dünnen Glaswand komplett absorbiert. Auch bei den untersuchten Spektren der Umgebungsbeleuchtung mit und ohne Festerglas lässt sich die hohe Absorptionsfähigkeit für UV-Strahlung von Glas erahnen.
9. Niederdruckquecksilberdampfampen werden auch für die Erzeugung von ultraviolettem Licht genutzt. Dabei ist die Anwendung von normalem Glas aufgrund der hohen Absorptionsfähigkeit im UV-Bereich eher ungeschickt. Abhilfe schafft hier die Verwendung von Quarzglas, welches bei allen Wellenlängen des ultravioletten und sichtbaren Bereichs nur wenig absorbiert. Im Spektrum ist zu erkennen, dass alle Wellenlängen mit annähernd gleichen Intensitätsverlusten transmittiert werden. Das geringe Level

des aufgezeichneten Spektrums lässt sich auf eine nicht korrekte Ausrichtung der verwendeten Linsen zurückführen. Dennoch ist das Spektrum qualitativ wie erwartet.

10. Eine weitere Transmissionsmessung an einem durchsichtigen Plaskörper liefert auch ein erwartetes Ergebnis. Ähnlich wie normales Glas ist die Absorption im Bereich des ultravioletten Spektrums sehr hoch. Weiter ist hier zu beobachten, dass die Transmissionsvermögen für längere Wellenlängen zunimmt. Aufgrund der durchsichtigen Erscheinung erwartet man hier eine nahezu konstante Transmissionsfähigkeit im Bereich des sichtbaren Lichts, was durch das Spektrum bestätigt wird.
11. Ein interessantes, aber erwartetes Transmissionsspektrum lieferte die Untersuchung eines Interferenzfilters der Filterwellenlänge  $550\text{nm}$ . Hier zeigt sich die geringe spektrale Breite des Filter. Schon bereits in einem Wellenlängenbereich von  $5\text{nm}$  um die Filterwellenlänge ist die transmittierte Intensität auf die Hälfte reduziert.

## 4 Aufgabe: Verbesserungsvorschläge

Ein schöner Punkt des Versuchs ist die freie Wahlmöglichkeit der zu untersuchenden Spektren. Dies macht aber auch die Auswertung des Versuchs etwas schwierig, da hier nicht auf alle untersuchten Phänomene eingegangen werden kann.

Etwas umständlich war die Einarbeitung in die Software, deren Handbuch zwar verfügbar, für die meisten kleinen Fragen und zum Gewinn einer groben Übersicht über die Besonderheiten der Software keine große Hilfe war. Eine kurze Einführung mit den für den Versuch wichtigen Einstellungsmöglichkeiten würde vielleicht einen einfacheren Start ermöglichen.

Schade ist, dass die digital gewonnenen Daten nur als „Papierform“ exportiert werden können. Wenn die Software eine Möglichkeit bietet die gewonnenen Daten zu speichern könnten besser qualitative Auswertungen an den gewonnenen Spektren vorgenommen werden. Schön wäre also die Schaffung einer Möglichkeit zum Export der Daten in digitaler Form (e-Mail, USB-Stick, etc.).

## 5 Verzeichnisse

### 5.1 Literaturverzeichnis

[WPEnz] Verschiedene *Wikipedia - Die freie Enzyklopädie* <http://de.wikipedia.org>

[APScript] B.RUNGE *Versuchsanleitung zur Spektroskopie*