

Polarisation von Licht durch Streuung

Trifft Licht auf ein Atom oder Molekül, wie z. B. den Stickstoff der Luft, so werden dessen Elektronen vom elektrischen Feld der Welle zu harmonischen Dipolschwingungen in der Polarisationsrichtung der einfallenden Welle angeregt. Die Elektronen strahlen daher analog zu einer **Dipolantenne** Licht der gleichen Frequenz aus. Die räumliche Verteilung der abgestrahlten Leistung entspricht dabei ebenfalls einer $\lambda/2$ -Dipolantenne (→ Abb. 4.15 auf Seite 101).

Die Abstrahlung (Streuung) erfolgt somit vor allem senkrecht zur Schwingungsrichtung der Elektronen, während in der Schwingungsrichtung keine Abstrahlung erfolgt.

Bei klarem Wetter mit blauem Himmel führt dies zu einer Polarisation des in der Atmosphäre gestreuten Lichts, die in einem 90° Abstand zur Sonne am stärksten ist. Auch die **blaue Farbe des Himmels** lässt sich durch diese **RAYLEIGH-STREUUNG** erklären: Die aufgenommene und abgestrahlte Leistung eines Dipols (→ Zusatzwissen Seite 101) ist proportional zu ω^4 . Folglich ist die RAYLEIGH-STREUUNG für blaues Licht viel stärker als für rotes, sodass der Himmel von der Erde und vom Weltraum aus blau erscheint. Beim Fotografieren werden häufig lineare **Polarisationsfilter** eingesetzt, um dem Himmel eine besonders intensive blaue Farbe zu geben.

Auch die rote Farbe der **Sonnenauf- und -untergänge** ist eine Konsequenz der RAYLEIGH-STREUUNG: Bei einem sehr niedrigen Sonnenstand legt das Licht fast 300 km in unserer **Atmosphäre** zurück, während es Mittags nur rund 8 km sind. Die Rayleigh-Streuung führt beim Sonnenauf- und -untergang daher zu einer starken Schwächung des blauen Anteils im Sonnenspektrum, sodass nur noch rotes Licht übrig bleibt.

Die RAYLEIGH-STREUUNG gilt nur für Teilchen, die wesentlich kleiner als die Wellenlänge des Lichts sind. Größere Teilchen wie Staub oder Wassertropfen reflektieren das Licht entsprechend dem **Reflexionsgesetz** an Ihrer Oberfläche. Da diese Streuung nicht von der Frequenz abhängt, wirken **Wolken** weiß.

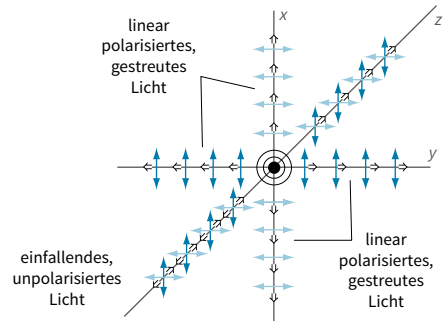


Abb. 4.31: Das einfallende vertikal bzw. horizontal polarisierte Licht (hell- bzw. dunkelblaue Pfeile) regt das Atom oder Molekül zu vertikalen Dipolschwingungen an, das nun seinerseits Licht mit dieser Polarisationsrichtung ausstrahlt. Wie bei einer Dipolantenne ist dessen Intensität in der Ebene senkrecht zur Polarisation am größten.

JOHN WILLIAM STRUTT
1842 – 1919
erbt 1873 den Titel
3. Baron RAYLEIGH,
Nobelpreis 1904

Polarisationsfilter

Trifft eine elektromagnetische Welle auf ein Metallgitter, dessen Gitterkonstante wesentlich kleiner als die Wellenlänge ist, so wird nur der Wellenanteil durchgelassen, dessen elektrisches Feld senkrecht zu den Gitterstäben schwingt. Die in Richtung der Gitterstäbe schwingende Komponente der Welle wird hingegen von diesen „Dipolantennen“ absorbiert oder an deren Oberfläche reflektiert.

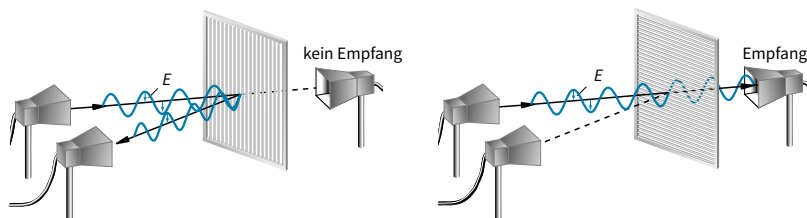


Abb. 4.32: Ein Gitter wirkt als Polarisationsfilter für Mikrowellen

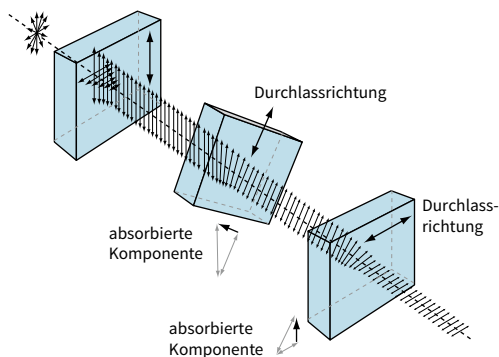


Abb. 4.33: Der erste Polarisationsfilter reduziert die Intensität auf die Hälfte, das durchgelassene Licht ist senkrecht polarisiert. Der zweite Filter reduziert die Intensität abermals, da nur die vektorielle Komponente in seiner Richtung durchgelassen wird. Das gleiche wiederholt sich beim dritten Filter, die Polarisationsrichtung ist gegenüber dem ersten Filter nun um 90° gedreht. Ohne den mittleren Filter würde hingegen das gesamte Licht am zweiten Filter absorbiert.

Für Mikrowellenstrahlung lässt sich ein solches Polarisationsfilter einfach herstellen. Für Licht ist dies hingegen sehr aufwendig, sodass Polarisationsfilter dieser Bauart nur für sehr hochwertige Geräte verwendet werden. Für die Fotografie, 3D-Brillen oder reflexmindernde Ski- und Sonnenbrillen werden hingegen spezielle Kunststoffe verwendet. Diese Folien bestehen aus langkettigen fadenförmigen organischen Molekülen (Polyvinyle), die bei der Folienherstellung durch Strecken ausgerichtet werden. Durch ihre gute elektrische Leitfähigkeit entlang ihrer Molekülketten und die schlechte Leitfähigkeit zwischen den Molekülen wirken diese wie ein metallisches Polarisationsgitter, wobei das in Richtung der Molekülketten polarisierte Licht absorbiert wird (**Dichroismus**).

Trifft unpolarisiertes Licht auf ein solches Polarisationsfilter, so wird im Idealfall die Hälfte der Intensität transmittiert und die andere Hälfte absorbiert. Trifft das durchgelassene Licht auf ein zweites Polarisationsfilter mit der gleichen Orientierung, so lässt dieses im Idealfall das gesamte Licht passieren, ist es hingegen um 90° gedreht, so wird das gesamte Licht absorbiert. Für die dazwischen liegenden Winkel erfolgt durch vektorielle Aufspaltung der Polarisationsrichtung jeweils eine partielle Absorption und Transmission. Diesen Zusammenhang beschreibt das **Gesetz von MALUS**: $T = \cos^2 \alpha$.

ETIENNE LOUIS MALUS
1775 – 1812

In modernen Kinos werden 3D-Filme mit polarisiertem Licht ausgestrahlt. Das Licht ist jedoch nicht linear sondern zirkular polarisiert. Anderenfalls würde jede Kopfbewegung den 3D-Effekt stören. Realisiert wird ein solches zirkulares Polarisationsfilter durch die Kombination eines linearen Polarisationsfilters mit einem sogenannten $\lambda/4$ -Plättchen, das aus einem doppelbrechenden Material besteht.

3D-Brillen

→ Seite 117

Optische Aktivität (Chiralität)

Eine Substanz wird als **optisch aktiv** bezeichnet, wenn sie die Polarisationsrichtung von Licht dreht. Man spricht von **rechtsdrehend**, wenn die Polarisationsrichtung beim Blick zur Lichtquelle im Uhrzeigersinn gedreht wird, sonst von **linksdrehend**. Die Ursache für dieses Verhalten ist die Asymmetrie (**Chiralität**) der chemischen Moleküle, die in zwei chemisch identischen jedoch räumlich spiegelsymmetrischen Varianten existieren (→ Abb. 4.34). Wird die Substanz auf chemischem Wege hergestellt, so enthält die Lösung gleich viele Moleküle beider Geometrien. Die Lösung ist damit insgesamt optisch nicht aktiv. Entsteht die Substanz hingegen durch biologische Prozesse, so bildet sich nur eine geometrische Variante und die Lösung ist optisch aktiv. Da der Drehwinkel der Polarisation proportional zur Konzentration der Lösung ist, wird dies häufig zur Konzentrationsbestimmung ausgenutzt.

Ein typisches Beispiel ist die Konzentrationsbestimmung von Zucker bei der Rübenverarbeitung.

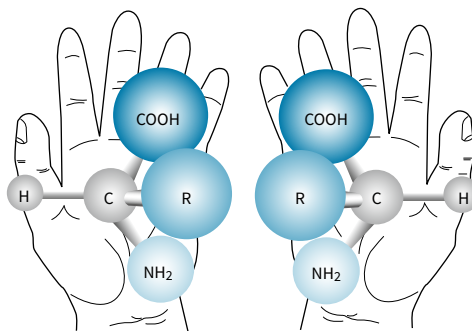


Abb. 4.34: Aminosäuren sind ein typisches Beispiel für chirale Strukturen: Die Moleküle existieren in zwei spiegelsymmetrischen Varianten mit chemisch identischen Eigenschaften.