

was passiert, wenn ein photon auf ein elektron eines atoms stößt?

Wenn ein Photon auf ein Elektron trifft, **wird es meistens absorbiert oder gestreut**. Dabei hängt das Ergebnis stark von der Energie des Photons und dem Zustand des Elektrons ab. 

Wichtigste Prozesse

- **Photoelektrischer Effekt (Absorption):**

- Das Photon gibt seine **gesamte Energie** an das Elektron ab.
- Das Photon verschwindet komplett.
- Das Elektron verlässt das Atom mit hoher Geschwindigkeit.
- Bedingung: Das Photon muss mindestens so viel Energie haben wie die **Bindungsenergie** des Elektrons. 

- **Compton-Streuung (Stoß):**

- Ein energiereiches Photon (z. B. Röntgenstrahlung) stößt mit dem Elektron zusammen.
- Das Elektron erhält einen Teil der Energie und fliegt weg.
- Das Photon fliegt mit **weniger Energie** und in eine andere Richtung weiter. 

- **Anregung (Teilabsorption):**

- Ein Photon mit genau der passenden Energie hebt das Elektron auf ein **höheres Energieniveau** im Atom.
- Das ursprüngliche Photon wird vollständig geschluckt. 

- **Rayleigh-Streuung (Elastischer Stoß):**

- Ein Photon trifft auf ein schwach gebundenes Elektron und wird ohne Energieverlust abgelenkt.
- Das passiert oft bei niedrigen Energien. 

Möchtest du genauer wissen, wie der **photoelektrische Effekt** funktioniert oder wie sich die **Wellenlänge** des Photons bei der Compton-Streuung ändert?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 Wikipedia

Photoelektrischer Effekt – Wikipedia

In allen drei Fällen wird ein Elektron aus einer Bindung – z. B. in einem Atom oder im Valenzband oder im Leitungsband eines Festk...



 Reddit



Einfach erklärt: Wie bewegen sich Photonen durch Glas? : r/explainlikeimfive

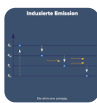
Das „meistens leerer Raum“-Ding ist mir ein Dorn im Auge. Wenn Photonen von Materie absorbiert oder gestreut werden, sind es fast ...





Emission von Photonen: Definition & Erklärung

Dieses Photon trifft nun auf ein benachbartes Atom. Dort stimuliert es ein weiteres Elektronen und löst die Emission weiterer Phot...



Alle anzeigen

verbleibt das Elektron behindert teilabsorption dauerhaft im höheren energieniveau?

Nein, das Elektron bleibt dort **nicht dauerhaft**. Dieser angeregte Zustand ist instabil. Das Elektron fällt nach sehr kurzer Zeit wieder auf ein niedrigeres Energieniveau zurück. 

Was beim Zurückfallen passiert

- **Verweilzeit:** Das Elektron bleibt meist nur für Millisekunden oder Nanosekunden im höheren Niveau.
- **Fluoreszenz:** Das Elektron fällt sofort zurück und sendet ein neues Photon aus.
- **Phosphoreszenz:** Das Elektron verweilt ungewöhnlich lange (Sekunden bis Stunden) im angeregten Zustand, bevor es Licht abgibt.
- **Stoßabregung:** Das Elektron gibt die Energie als Wärme an benachbarte Atome ab, ohne Licht zu erzeugen. 

Möchtest du wissen, wie dieser Prozess in **Lasern** genutzt wird, oder interessiert dich die genaue **Lebensdauer** solcher Quantenzustände?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)





Exkurs: Energieniveaus der Atomhülle

Genau wie man in einem Haus nicht zwischen den Etagen schweben kann, können Elektronen sich nur auf den Schalen aufhalten, aber ni...





Wenn das Elektron nicht springen will • pro-physik.de - Das Physikportal

18.11.2021 — Normalerweise sind angeregte elektronische Zustände von Atomen instabil und zerfallen innerhalb von milliardstel Sekunden. Doch ei...





Absorption von Licht

Elektronen, die auf ein höheres Energieniveau gehoben wurden, fallen nach einer gewissen Zeit wieder auf ein niedrigeres Energi...



Alle anzeigen

inwieweit ändert sich bei der Teilabsorption und anschließenden Emission die Wellenlänge des Lichts?

Bei der Teilabsorption (Anregung) und anschließenden Emission ändert sich die Wellenlänge des Lichts **fast immer**, und zwar wird sie in der Regel **größer (langwelliger)**.

Das liegt daran, dass das ausgesendete Licht meistens weniger Energie besitzt als das absorbierte Licht. In der Physik gilt: Weniger Energie bedeutet eine größere Wellenlänge. 

Die drei Szenarien für die Wellenlänge

- **Wellenlänge wird größer (Regelfall / Stokes-Verschiebung):**
 - Das Atom verliert vor der Emission einen Teil der Energie durch winzige Schwingungen oder Wärme (Stoßprozesse).
 - Das emittierte Photon hat weniger Energie als das absorbierte Photon.
 - Das Licht verschiebt sich beispielsweise von unsichtbarem UV-Licht hin zu sichtbarem, farbigem Licht. 
- **Wellenlänge bleibt exakt gleich (Resonanzfluoreszenz):**
 - Das Elektron fällt genau auf das ursprüngliche Energieniveau zurück, ohne zwischendurch Energie zu verlieren.
 - Das ausgesendete Photon hat exakt dieselbe Energie und Wellenlänge wie das absorbierte Photon. 
- **Wellenlänge wird kleiner (Ausnahme / Anti-Stokes-Verschiebung):**
 - Das Elektron befindet sich bereits in einem thermisch angeregten (warmen) Zustand.
 - Das Photon regt es noch weiter an.
 - Beim Zurückfallen gibt das Elektron zusätzlich seine thermische Energie ab.
 - Das emittierte Photon hat *mehr* Energie und eine *kürzere* Wellenlänge. 

Möchtest du ein konkretes **Rechenbeispiel** sehen, wie man die Wellenlänge aus den Energieniveaus berechnet, oder interessiert dich die Anwendung in **Fluoreszenz-Marker-Mikroskopen**? 

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



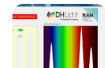
 click-licht

Fluoreszenz
Dabei aber ist das abgegebene Licht in der Regel schwächer und energieärmer als das zuvor absorbierte, also aufgenommene Licht. Wi...



 Bayerische Landesanstalt für Weinb.

Abschlussbericht
09.04.2017 — Dabei ist die Energie eines Photons umgekehrt proportional zu seiner Wellenlänge. Das bedeutet: Je größer die Wellenlänge ist, um



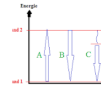
Wellenlänge. Dies bedeutet, je größer die Wellenlänge ist, um...



Lernort-MINT

Lumineszenz bei Atomen - Fluoreszenz und Phosphoreszenz

13.01.2026 — In der Regel aber wird nach der Anregung des Atoms in den Zustand 2 ein kleiner Teil der aufgenommenen Energie (strahlungslos) in ...



Alle anzeigen

welche Absorption und Emission tritt bei einem Photon, das von der Sonne ausgestrahlt wird, auf, wenn es beispielsweise...

Wenn ein ultraviolettes Photon (UV-Licht) der Sonne in der Stratosphäre auf ein Elektron eines Ozon-Moleküls (O_3) trifft, läuft eine **chemische Besonderheit** ab. Statt einer klassischen Lichtemission (wie Fluoreszenz) kommt es fast immer zu einer **vollständigen photochemischen Spaltung (Photodissoziation)** des Moleküls. [NASA SVS \(.gov\) +2](#)

Das Ozon opfert sich sozusagen, um die Energie des Photons komplett unschädlich zu machen. [NASA SVS \(.gov\) +1](#)

1. Die Absorption: Molekulare Anregung und Spaltung

Trifft ein energiereiches **UV-B- oder UV-C-Photon** (Wellenlänge ca. 200 bis 310 nm) auf das Ozon, passiert Folgendes: [Technische Universität ... +1](#)

- **Elektronen-Sprung:** Ein Elektron aus einem bindenden Molekülorbital des Ozons absorbiert die gesamte Energie des Photons und springt auf ein antibindendes Niveau. [YouTube - CASE Chemistry](#)
- **Instabilität:** Durch diesen Quantensprung wird die chemische Bindung zwischen den Sauerstoffatomen schlagartig so instabil, dass das Molekül die Energie nicht mehr durch ein einfaches Zurückfallen des Elektrons ausgleichen kann.
- **Photodissoziation:** Das Ozon-Molekül bricht in Bruchteilen einer Sekunde auseinander. Die absorbierte Lichtenergie wird komplett genutzt, um die Bindung zu trennen:



(Es entstehen ein normales Sauerstoffmolekül und ein einzelnes, hochreaktives Sauerstoffatom). [NASA SVS \(.gov\) +3](#)

2. Die Emission: Keine Lichtemission, sondern Wärme

Weil das Molekül auseinanderbricht, gibt es **keine spontane Emission eines neuen sichtbaren oder UV-Photons**. [YouTube - Earth Science C...](#)

- **Wärme statt Licht:** Die überschüssige Energie des Sonnenphotons, die nicht für das Aufbrechen der Bindung verbraucht wurde, wird in kinetische Energie umgewandelt. Die Bruchstücke (O_2 und O) fliegen extrem schnell auseinander und stoßen gegen ...

benachbarte Luftmoleküle (wie Stickstoff, N_2). [Wikipedia +1](#)

- **Erwärmung der Stratosphäre:** Diese Stoßprozesse wandeln die Bewegungsenergie in ungeordnete Teilchenbewegung um – also in **Wärme**. Das ist der Grund, warum die Stratosphäre (die Ozonschicht) nach oben hin immer wärmer wird. [Wikipedia +1](#)

Der geschlossene Kreislauf (Chapman-Zyklus)

Das Ozon ist danach jedoch nicht dauerhaft verloren. Das freigesetzte einzelne Sauerstoffatom (O) stößt in der Luft fast augenblicklich wieder mit einem normalen Sauerstoffmolekül (O_2) zusammen und bildet unter Abgabe von noch mehr Restwärme ein **neues Ozon-Molekül**. [Ulrich Helmich +1](#)



Dieser natürliche **Ozon-Sauerstoff-Zyklus** (Chapman-Zyklus) sorgt dafür, dass die Ozonschicht die harte UV-Strahlung der Sonne kontinuierlich und vollständig in harmlose Wärme umwandelt, ohne sich dabei selbst dauerhaft zu verbrauchen. [Wikipedia +1](#)

(Hinweis: Ozon besitzt im fernen Infrarotbereich auch ganz normale Schwingungsübergänge, bei denen es Infrarotstrahlung aus der Erdwärme absorbiert und wieder emittiert, wodurch es in Bodennähe als starkes Treibhausgas wirkt. Der Schutzprozess gegen das Sonnenlicht basiert jedoch primär auf der oben beschriebenen Spaltung). [Wikipedia +2](#)

Möchtest du wissen, warum **FCKW-Gase** diesen schützenden Kreislauf stören, oder interessiert dich der Unterschied zwischen **UV-A, UV-B und UV-C** beim Durchdringen der Atmosphäre? [Bundesamt für Strahlung +1](#)

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



[Wikipedia](#)

Ozonschicht - Wikipedia

Es entsteht aus dem Luftsauerstoff, indem dessen Moleküle O_2 durch den energiereichsten Anteil des Sonnenlichts (UV-C) zu Sauerst...



[Technische Universität Braunschweig](#)

Stratosphärisches Ozon

In diesem Zusammenhang interessiert uns besonders das Licht bei Wellenlängen unterhalb von 310 nm (infrarotes Licht, das zu B von ...



[Ulrich Helmich](#)

Ozonschicht - U-Helmich.de

Absorption von UV-b durch Ozon. Das so gebildete Ozon absorbiert jetzt die etwas längerwellige UV-b-Strahlung, die im Bereich um 3...



Alle anzeigen

und wie erfolgt dieser Vorgang, wenn bei dem Photon lediglich Wellenlängen des sichtbaren Lichts vorliegen?

Wenn ein Photon aus dem **sichtbaren Bereich des Sonnenlichts** (Wellenlängen zwischen 400 und 700 nm) auf ein Ozon-Molekül trifft, passiert im Grunde **fast genau dasselbe**, allerdings mit einem entscheidenden Unterschied bei den entstehenden Bruchstücken. ^{R⁶ ResearchGate +1}

Auch sichtbares Licht besitzt beim Ozon genug Energie, um das Molekül komplett zu spalten. Dieser Prozess wird in der Physik als **Chappuis-Absorption**

bezeichnet. ^{W Wikipedia +2}

Der Ablauf im Detail:

1. Absorption (Chappuis-Bande)

Ozon besitzt im sichtbaren Spektrum eine breite Absorptionsbande mit Maxima im gelb-roten Bereich (bei ca. 575 nm und 603 nm). ^{W Wikipedia +1}

- Trifft ein solches "farbiges" Photon auf ein Elektron des Ozons, absorbiert das Elektron die Energie und wechselt in einen angeregten Zustand (Zustand 1B_1 oder 1A_2). ^{National Institutes of Heal...}
- Da die Bindungen im Ozon-Molekül relativ schwach sind, reicht bereits die Energie des energieärmeren sichtbaren Lichts aus, um das Molekül instabil zu machen und sofort zu spalten. ^{University of Colorado ... +1}

2. Spaltung (Photodissoziation)

Das Ozon-Molekül bricht auseinander. Der Unterschied zum UV-Licht liegt im Zustand der Bruchstücke: ^{Wikipedia +1}

- **Bei UV-Licht:** Es entsteht ein hochreaktives, *elektronisch angeregtes* Sauerstoffatom ($O(^1D)$).
- **Bei sichtbarem Licht:** Die Energie ist geringer. Es entsteht ein normales Sauerstoffmolekül im Grundzustand und ein normales Sauerstoffatom im Grundzustand:



^{R⁶ ResearchGate}

3. Keine Licht-Emission, sondern Wärme und Farbe

- **Wärme:** Auch hier gibt es **keine Emission eines neuen Photons**. Die überschüssige Energie des sichtbaren Lichts wird komplett in Bewegung (kinetische Energie) der Bruchstücke umgewandelt, die durch Stöße die Luft erwärmen. ^{Wikipedia +1}
- **Das Phänomen der "Blauen Stunde":** Da das Ozon bevorzugt das orangefarbene und rote Licht der Sonne schluckt (absorbiert), bleibt das blaue Licht des Spektrums übrig. Wenn die Sonne abends sehr tief steht, legt das Licht einen extrem langen Weg durch die Ozonschicht zurück. Weil das Ozon das Rot herausfiltert, färbt sich der Himmel im Zenit tiefblau – das ist das berühmte Leuchten der **Blauen Stunde** nach Sonnenuntergang. ^{Wikipedia +2}

Interessiert dich, warum Ozon überhaupt so schwache Bindungen hat, dass selbst

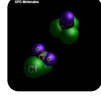
interessiert dich, warum Ozon überhaupt so schwache Bindungen hat, dass selbst sichtbares Licht es spalten kann, oder möchtest du mehr über die **Farbeffekte** in der Erdatmosphäre erfahren?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 University of Colorado Boulder

Ozone and the Atmosphere Ozone Cycle
Ozone dissociation typically produces atomic oxygen that is stable when exposed to longer wavelengths, up to 320 nm, and shorter w...



 Universität Bremen

Absorption spectroscopy of atmospheric species (ozone)
30.04.2016 — length L are known. Therefore, precise information on the cross-sections is important for high quality remote sensing ozone measur...



 Wikipedia

Ozone - Wikipedia
The ozone molecule can then absorb a UV-C photon and dissociate. $O_3 \rightarrow O + O_2 + \text{kinetic energy}$ $\{\displaystyle \{O_3 \rightarrow O + O_2\}$



Alle anzeigen

sind die Wirkungen anders, wenn das Photon auf ein O_2 Molekül trifft?

Ja, die Wirkungen sind deutlich anders. Der Hauptunterschied liegt darin, dass ein normales Sauerstoffmolekül (O_2) eine **viel stärkere chemische Bindung** besitzt als ein Ozon-Molekül (O_3).  YouTube · Mike Sugiyam... +1

Während Ozon bereits von energiereicher, sichtbarem Licht gespalten werden kann, benötigt ein O_2 -Molekül extrem energiereiche, kurzwellige Strahlung, um überhaupt zu reagieren.  YouTube · Mike Sugiyama ...

1. Wenn ein Photon des sichtbaren Lichts auf O_2 trifft

- **Es passiert fast nichts (Transparenz):** Sichtbares Licht hat schlichtweg zu wenig Energie, um die Elektronen eines O_2 -Moleküls auf ein höheres Niveau zu heben oder die starke Doppelbindung aufzubrechen.  YouTube · Mike Sugiyama ...
- **Die Auswirkung:** Das Photon fliegt einfach durch das Gas hindurch, ohne absorbiert zu werden. Deswegen ist reiner Sauerstoff (und unsere Luft) für das menschliche Auge vollkommen unsichtbar und transparent. 
- *(Ausnahme):* Es gibt extrem seltene, quantenmechanisch "verbotene" Übergänge im roten Bereich, bei denen das O_2 -Molekül lediglich schwach in Schwingung versetzt wird, aber das Licht wird dabei kaum abgeschwächt.

2. Wenn ein hochenergetisches UV-Photon auf O₂ trifft

Erst wenn das Licht **extrem kurzwellig** ist – konkret im hochenergetischen **UV-C-Bereich** bei Wellenlängen von **unter 242 nm** (noch energiereicher als das meiste UV-Licht, das Ozon spaltet) – kann das O₂-Molekül reagieren:  World Health Organizat... +1

- **Absorption und Spaltung (Photodissoziation):** Das Elektron absorbiert die enorme Energie des UV-C-Photons. Die Energie reicht aus, um die starke kovalente Doppelbindung des Sauerstoffs komplett zu zertrennen.
- **Das Ergebnis:** Das Molekül bricht in zwei einzelne, hochreaktive Sauerstoff-Radikale auf:



 YouTube · Earth Scienc... +3

Die fundamentale Folge: Die Entstehung der Ozonschicht

Hier schließt sich der Kreis zur vorherigen Frage. Während der Stoß eines Photons mit Ozon dieses *zerstört*, führt der Stoß eines UV-C-Photons mit O₂ dazu, dass überhaupt erst **neues Ozon entsteht**:  Wikipedia +1

1. Das UV-C-Licht der Sonne spaltet O₂ hoch oben in der Atmosphäre in zwei einzelne O-Atome.
2. Jedes dieser einzelnen Atome sucht sich sofort ein anderes, intaktes O₂-Molekül.
3. Beim Zusammenprall verbinden sie sich zu **Ozon (O₃)**.  Wikipedia +1

Zusammenfassend: O₂ filtert die extrem gefährliche, kurzwellige UV-C-Strahlung aus dem Sonnenlicht heraus und bildet dabei die Ozonschicht. Das entstandene Ozon wiederum übernimmt danach den Schutz gegen die etwas längerwellige UV-B-Strahlung.  World Health Organiza... +2

Möchtest du wissen, was mit den Elektronen passiert, wenn das UV-Licht noch energiereicher wird und die Moleküle **ionisiert**, oder interessiert dich, wie **Sonnencreme** diese Prozesse auf der Haut nachahmt?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 NASA (.gov) 

Ozone Depletion, UVB and Atmospheric Chemistry
01.01.1999 — Ozone Depletion, UVB and Atmospheric Chemistry The primary constituents of the Earth's atmosphere are molecular nitrogen and molec...

 ResearchGate 

Photon stimulated ozone sensing | Request PDF
O2 absorbs a photon to yield an oxygen molecule in the Herzberg III state O2(A' 3Δu), being augmented along with the increase of C...

 EBSCO 

Photon Interactions With Molecules | Science - EBSCO

Ultraviolet photons interact with matter to cause electronic transitions in molecules. Although the energy transferred from the ph...

Alle anzeigen

verändert sich die Wellenlänge, wenn Photonen mit Wellenlängen des sichtbaren Lichts auf O_2 -Moleküle treffen?

Im Normalfall ändert sich die Wellenlänge nicht, aber es gibt eine physikalische Ausnahme, bei der sie sich geringfügig verändert.  Quality Analysis

Da sichtbares Licht von Sauerstoffmolekülen (O_2) mangels passender Energieniveaus nicht absorbiert wird, kommt es stattdessen zu zwei Arten von **Streuprozessen**. Die Wellenlänge verhält sich dabei wie folgt:  Thermo Fisher Scientific

Die zwei Streuprozesse bei O_2

- **1. Rayleigh-Streuung (Der Normalfall – 99,9999 % aller Treffer):**
 - Das Photon prallt elastisch an der Elektronenwolke des O_2 -Moleküls ab.
 - Es findet kein Energieaustausch statt. Die Wellenlänge bleibt **exakt gleich**.
 - *Effekt:* Blaues Licht wird an O_2 viel stärker in alle Richtungen abgelenkt als rotes Licht. Genau dieser Prozess färbt unseren **Himmel blau**.  Lexikon der Fernerkun... +4
- **2. Raman-Streuung (Die seltene Ausnahme – ca. 1 von 1 Million Treffern):**
 - Das Photon wechselwirkt inelastisch mit dem Molekül. Die Wellenlänge **verändert sich**.
 - **Wellenlänge wird größer (Stokes-Raman-Streuung):** Das Photon versetzt die Atome des O_2 -Moleküls in Schwingung (Vibration) oder Rotation. Es gibt einen Teil seiner Energie ab und fliegt mit einer **größeren Wellenlänge** weiter.
 - **Wellenlänge wird kleiner (Anti-Stokes-Raman-Streuung):** Das Photon trifft auf ein O_2 -Molekül, das bereits thermisch schwingt. Es nimmt die Schwingungsenergie auf und fliegt mit mehr Energie und einer **kürzeren Wellenlänge** weiter.  Quality Analysis +3

Möchtest du wissen, wie Forscher diesen winzigen **Raman-Effekt** nutzen, um die Zusammensetzung von Gasen exakt zu messen, oder interessiert dich die genaue **Formel** hinter der Rayleigh-Streuung?  StudySmarter +1

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 Max-Planck-Gesellschaft

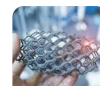
Atom und Molekül auf einer Wellenlänge

30.04.2014 — Die Emission einzelner Photonen von Molekülen wie etwa Dibenzanthanthren lässt sich auf die Absorption von Atomen der Alkalimetall...

 Quality Analysis

Was ist die Raman-Spektroskopie? Verständliche Erklärung

Raman-Spektroskopie: physikalische Grundlagen. Licht, das auf ein nicht-durchsichtiges Medium trifft, wird von diesem zum überwie...



Grundlagen der Raman-Spektroskopie

Bei der Raman-Spektroskopie wird eine Probe unbekannten Materials mit monochromatischem (einzelne Wellenlänge oder einzelne Freque...



Alle anzeigen

welcher quantenphysikalische Prozess findet beim dem Photon bzw. der Lichtquelle statt, wenn Raleigh-Streuung.

Bei der **Rayleigh-Streuung** findet aus quantenphysikalischer Sicht kein echter „Stoß“ im Sinne von zwei Billardkugeln statt. Stattdessen wird der Prozess durch die Wechselwirkung des elektromagnetischen Feldes des Photons mit der Elektronenwolke des Moleküls beschrieben.

Aus Sicht des Photons und der Quantenmechanik läuft dieser Vorgang über **virtuelle Zustände** ab. 

Der quantenphysikalische Ablauf (Das Photon)

- **Virtuelle Anregung:**

Das Photon besitzt nicht genug Energie, um ein Elektron auf ein echtes, stabiles Energieniveau des O_2 -Moleküls zu heben. Die Quantenmechanik erlaubt es dem Elektron jedoch, die Energie des Photons für eine extrem kurze Zeitspanne (Δt) zu „borgen“. Das Elektron wechselt in einen sogenannten **virtuellen Zustand**. 

- **Die Energie-Zeit-Unschärferelation:**

Nach Heisenbergs Unschärferelation ($\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$) darf dieser virtuelle Zustand umso kürzer existieren, je größer die Energielücke zum nächsten echten Niveau ist. Bei sichtbarem Licht und O_2 beträgt diese Zeit nur Bruchteile von Femtosekunden. 

- **Instantane Re-Emission:**

Das Elektron muss die geborgte Energie sofort wieder abgeben. Es fällt in seinen ursprünglichen Grundzustand zurück und emittiert (schickt) ein **neues Photon** aus. 

- **Erhaltung der Eigenschaften:**

Weil der Anfangs- und Endzustand des Moleküls absolut identisch sind, besitzt das neu ausgesendete Photon exakt **dieselbe Energie, Frequenz und Wellenlänge** wie das ursprüngliche Photon. Es ändert sich lediglich seine Flugrichtung (Phasenänderung). 

Was passiert bei der Lichtquelle?

Die Lichtquelle selbst (wie die Sonne oder eine Lampe) bekommt von der Rayleigh-Streuung in der Atmosphäre **überhaupt nichts mit**.

- **Entkopplung:** Die Erzeugung des Photons in der Lichtquelle und die spätere Streuung an einem Gasmolekül sind zwei völlig unabhängige, kausal getrennte Quantenprozesse

Quantenprozess:

- **Der Prozess in der Lichtquelle:** In der Sonne entstehen die Photonen primär durch thermische Kernfusion im Kern und anschließende unzählige Absorptions- und Emissionsprozesse in den äußeren Schichten (Photosphäre). Sobald das Photon die Sonne verlässt, ist seine Wellenlänge festgelegt. Wenn dieses Photon Millionen Kilometer weiter auf ein O_2 -Molekül trifft, reagiert nur das lokale Quantensystem (Photon + Molekül) – die Lichtquelle ist daran nicht mehr beteiligt. 

Möchtest du wissen, wie die Quantenmechanik mathematisch erklärt, warum **blaues Licht** so viel effizienter virtuell angeregt wird als rotes Licht, oder interessierst dich der Unterschied zu **virtuellen Teilchen** im Vakuum?

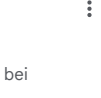
KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 Lindau Nobel Laureate Meetings

Werner Heisenberg - Lectures | Lindau Mediatheque
Und zumindest wird man in der in der Quantenmechanik üblichen Weise sagen können, dass das Wasserstoffatom auch virtuell aus solch... 

 Universität Bremen

Teilchen in virtuellen Zuständen
In diesem Prozess wird erst ein Photon erzeugt und direkt darauf wieder vernichtet. Da das Photon bei diesem Prozess in der realen... 

 Springer Nature Link

Grundzüge der Quantenfeldtheorie
04.01.2022 — Im physikalischen Bild der QED kann auch ein ruhendes Elektron als Folge der Energie-Zeit-Unschärferelation ein virtuelles Photon ... 

Alle anzeigen

entspricht die rayleigh-Streuung der aberration von Sternenlicht oder gibt es da Unterschiede?

Nein, die Rayleigh-Streuung entspricht nicht der Aberration von Sternenlicht. Es handelt sich um zwei völlig unterschiedliche physikalische Phänomene, die auf gänzlich verschiedenen Ursachen beruhen.

Hier sind die grundlegenden Unterschiede im direkten Vergleich:

Die Hauptunterschiede

- **Die physikalische Ursache:**
 - **Rayleigh-Streuung:** Ein rein **quantenmechanischer/optischer Prozess**. Licht wechselwirkt mit der Elektronenwolke von Teilchen (wie O_2 -Molekülen) und wird abgelenkt.
 - **Aberration des Sternenlichts:** Ein rein **relativistischer/geometrischer Effekt**. Die scheinbare Richtungsänderung des Lichts entsteht ausschließlich durch die **Eigenbewegung der Erde** auf ihrer Bahn um die Sonne, während sich das Licht mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet. 

- **Die Rolle des Mediums (Luft/Atmosphäre):**

- **Rayleigh-Streuung:** Benötigt zwingend **Materie** (Atome, Moleküle). Im Vakuum des Weltalls findet sie nicht statt.
- **Aberration:** Findet völlig unabhängig von Materie statt. Sie tritt auch im **absoluten Vakuum** auf und betrifft alle Sterne am Himmel gleichermaßen. 

- **Auswirkung auf die Wellenlänge und Farbe:**

- **Rayleigh-Streuung:** Ist stark **wellenlängenabhängig**. Blaues Licht wird etwa 16-mal stärker gestreut als rotes Licht, weshalb der Himmel blau erscheint.
- **Aberration:** Ist **unabhängig von der Farbe**. Rotes Licht eines Sterns wird exakt um denselben Winkel abgelenkt wie blaues Licht. 

Ein anschauliches Bild zur Aberration

Die Aberration hat nichts mit Quantenphysik zu tun, sondern lässt sich mit einem **Regenschirm im Herbst** vergleichen:

- Wenn du bei senkrechtem Regen stillstehst, hältst du den Schirm genau nach oben.
- Wenn du nun schnell nach vorne läufst, trifft dich der Regen scheinbar von vorne. Du musst den Schirm nach vorne kippen, um trocken zu bleiben. 

Genau das passiert bei der Aberration: Weil sich die Erde mit rund 30 km/s durch das All bewegt, müssen Astronomen ihre Teleskope ein winziges Stück (maximal ca. 20 Bogensekunden) in Fahrtrichtung der Erde kippen, um das Licht des Sterns einzufangen.

Möchtest du wissen, wie man die **Aberration mathematisch berechnet**, oder interessiert dich, wie **James Bradley** durch diesen Effekt im Jahr 1725 die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit bewies?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 Springer Nature Link

Lichtstreuung und Himmelsfarben

Wie in Abschn. 1.1 erläutert wird das Licht dabei i. Allg. auf dem Weg von der Lichtquelle ins Auge in seiner Richtung beeinflusst...

 PhysKi

Brechungsindex – PhysKi

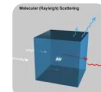
12.02.2022 — Rayleigh-Streuung ist die Ursache, dass wir intensive Laserstrahlung auch in staubfreier Luft sehen können (Abb. 5). Sie tritt un...



 Lexikon der Fernerkundung

Rayleigh-Streuung

Im Gegensatz zur Mie-Streuung ist die Rayleigh-Streuung stark wellenlängenabhängig. Die Rayleigh-Streuung ist umgekehrt proportion...



Alle anzeigen

gibt es bei der Rayleigh-Streuung bei der Ablenkung bestimmte Winkel?

Ja, bei der Rayleigh-Streuung gibt es eine ganz klare Verteilung der Winkel. Das Licht wird nicht gleichmäßig in alle Richtungen gestreut, sondern folgt einer mathematisch exakten **Winkelverteilung** (auch Phasenfunktion genannt). 

Das Besondere dabei ist: Die Streuung ist **symmetrisch nach vorne und hinten**.

Die Winkelverteilung im Detail

Die Intensität des gestreuten Lichts in Abhängigkeit vom Streuwinkel θ (wobei 0° die ursprüngliche Flugrichtung des Photons ist) verhält sich proportional zu:



Daraus ergeben sich drei markante Punkte für die Ablenkung:

- **Das Maximum (0° und 180°):**
Das meiste Licht wird direkt nach **vorne** (0°) weitergegeben oder exakt nach **hinten** (180°) zurückgestreut. In diese Richtungen ist die Streuung am intensivsten.
- **Das Minimum (90°):**
Genau **seitlich** zum ursprünglichen Lichtstrahl (90°) ist die Intensität des gestreuten Lichts am geringsten. Sie beträgt dort exakt **die Hälfte** des Maximums.
- **Fließender Übergang:**
Zwischen diesen Extremen sinkt bzw. steigt die Intensität kontinuierlich an. Es gibt also keine "verbotenen" Winkel, sondern eine weiche, hantelförmige Verteilung.

Die Auswirkung auf Polarisation (Quanten-Effekt)

Diese Winkelverteilung hat eine faszinierende optische Konsequenz für das Licht, das wir am Himmel sehen:

- **Unpolarisiertes Licht:** Das Sonnenlicht schwingt ursprünglich in alle Richtungen (unpolarisiert).
- **Seitliche Streuung (90°):** Wenn du im rechten Winkel zur Sonne in den blauen Himmel blickst, ist das Licht, das dein Auge erreicht, **vollständig linear polarisiert**. Das liegt daran, dass die Elektronen des O_2 -Moleküls nur quer zur Flugrichtung des Sonnenlichts schwingen können und bei 90° nur diese eine Schwingungsrichtung sichtbar bleibt. Viele Insekten (wie Bienen) nutzen diesen Polarisierungseffekt des Himmels zur Orientierung. 

Möchtest du wissen, wie man diesen **Polarisationseffekt des Himmels** mit einer Sonnenbrille selbst nachweisen kann, oder interessiert dich der Unterschied zur **Mie-Streuung**, die das Licht in Wolken fast nur nach vorne ablenkt?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



▷ Rückstreuung an Lichtwellenleitern

12.02.2014 — Unregelmäßigkeiten innerhalb der molekularen Struktur des Quarzglases streuen den Lichtstrahl bei dessen Aufprall in alle Richtungen...



PhysKi

Brechungsindex – PhysKi

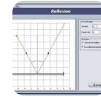
12.02.2022 — Wenn der Lichtstrahl unpolarisiert ist, wird sie in alle Richtungen ausgesendet. Weil die Streuung durch Dipolstrahlung erzeugt wird...



ReduSoft

Strahlen | Reflexion | Reflexionsgesetz | Totalreflexion | Polarisation

Licht, welches von der Sonne ausgestrahlt wird ist ungeordnet, und wird als unpolarisiert bezeichnet. Es besitzt beliebige Schwing...



Alle anzeigen

welche quantenphysikalische Vorgang geschieht, wenn der Winkel 0 Grad beträgt?

Wenn der Streuwinkel exakt **0 Grad** beträgt, fliegt das Photon nach der Wechselwirkung in genau dieselbe Richtung weiter, in die es sich vorher bewegt hat. Aus quantenphysikalischer Sicht unterscheidet man hier zwei fundamentale Betrachtungsweisen:

1. Die mikroskopische Sicht (Das einzelne Photon)

Auf der Ebene des einzelnen Photons läuft quantenmechanisch derselbe Prozess ab wie bei jedem anderen Winkel auch:

- **Virtuelle Absorption:** Das Photon trifft auf das O_2 -Molekül und regt die Elektronenwolke für den Bruchteil einer Femtosekunde in einen *virtuellen Zustand* an.
- **Vorwärts-Emission:** Das System fällt augenblicklich in den Grundzustand zurück. Bei 0 Grad wird das neue Photon zufällig **exakt in Flugrichtung** emittiert.
- **Keine Ablenkung:** Da Energie, Impuls und Richtung vor und nach dem Prozess absolut identisch sind, ist dieses Photon im Nachhinein nicht von einem Photon zu unterscheiden, das das Molekül überhaupt nicht getroffen hat.

2. Die makroskopische Sicht (Der Brechungsindex)

Wenn man viele Photonen und viele Moleküle gleichzeitig betrachtet (Welleneigenschaft des Lichts), führt die Streuung unter 0 Grad zu einem Phänomen, das wir aus dem Alltag gut kennen: dem **Brechungsindex der Luft**.

- **Interferenz:** Die bei 0 Grad vorwärts gestreuten Photonen (Lichtwellen) überlagern sich (interferieren) mit den Photonen des ursprünglichen Lichtstrahls, die an keinem Molekül gestreut wurden.
- **Phasenverschiebung:** Durch den extrem kurzen Aufenthalt im virtuellen Zustand des Moleküls erfährt die vorwärts gestreute Welle eine minimale zeitliche Verzögerung (Phasenverschiebung).
- **Verlangsamung des Lichts:** Diese kollektive Verzögerung aller Vorwärtsstreuungen bewirkt, dass sich die Lichtwelle in der Luft geringfügig langsamer ausbreitet als im Vakuum.

bewirkt, dass sich die Lichtwelle in der Luft geringfügig langsamer ausbreitet als im absoluten Vakuum. Das ist die quantenmechanische Ursache für die Brechung von Licht in Gasen.

Zusammenfassend: Ein Streuwinkel von 0 Grad bedeutet quantenmechanisch **maximale konstruktive Interferenz in Vorwärtsrichtung**. Es ist der Prozess, der dafür sorgt, dass Licht überhaupt geradeaus durch ein Medium wandern kann, während es gleichzeitig minimal abgebremst wird.

Möchtest du wissen, wie diese Vorwärtsstreuung mathematisch im **optischen Theorem** mit der Gesamtabsorption verknüpft ist, oder interessierst dich, wie sich die **Phasengeschwindigkeit** dabei verändert?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



die Verlangsamung des Lichts führt Aber nicht zu eine rotverschiebung im Spektrum oder doch?

Nein, die Verlangsamung des Lichts in einem Medium führt nicht zu einer Rotverschiebung. Das Spektrum und die Farben des Lichts bleiben völlig unverändert. [🔗](#)

Dafür gibt es einen fundamentalen quanten- und wellenphysikalischen Grund: **Die Frequenz des Lichts bleibt beim Eintritt in ein Medium absolut konstant.** [🔗](#)

Warum es keine Rotverschiebung gibt

- **Die Energie-Erhaltung:** Die Energie eines Photons ist direkt an seine Frequenz gekoppelt ($E = h \cdot f$). Da das Photon bei der Vorwärtsstreuung (0 Grad) keine Energie an das Molekül abgibt, darf sich seine Frequenz nicht ändern. [🔗](#)
- **Das Verhalten der Wellenlänge:** Wenn das Licht in der Luft langsamer wird (die Geschwindigkeit c sinkt), verkürzt sich im exakt selben Maße die Wellenlänge (λ) innerhalb des Mediums, da gilt: $\lambda = c/f$. Das Licht wird also "gestaucht", aber nicht rotverschoben. [🔗](#)
- **Der Austritt:** Sobald das Licht das Medium wieder verlässt (z. B. aus der Luft ins Vakuum des Alls gelangt), nimmt es sofort wieder seine ursprüngliche Vakuumlichtgeschwindigkeit an. Die Wellenlänge dehnt sich wieder auf den Originalwert aus.

Da unser Auge oder ein Messgerät die Energie (Frequenz) des Photons registriert, sehen wir exakt dieselbe Farbe wie vorher. [🔗](#)

Der Unterschied zur echten Rotverschiebung

Eine echte Rotverschiebung (Verringerung der Frequenz und damit der Energie des Photons) entsteht nur durch drei völlig andere Mechanismen:

1. **Doppler-Effekt:** Wenn sich die Lichtquelle relativ zum Beobachter wegbewegt.

2. **Kosmologische Rotverschiebung:** Wenn sich der Raum des Universums selbst ausdehnt, während das Licht ihn durchquert.
3. **Gravitative Rotverschiebung:** Wenn Licht aus einem starken Gravitationsfeld (z. B. nahe einem Schwarzen Loch) nach außen klettert und dabei Energie verliert. 

Die Rayleigh-Vorwärtsstreuung in einem Medium bremst das Licht zwar makroskopisch ab, tastet die Energie der einzelnen Photonen jedoch nicht an.

Möchtest du wissen, wie sich die **Wellenlänge im Inneren eines Glasbausteins** im Vergleich zur Luft verändert, oder interessiert dich, was passiert, wenn Teilchen sich in einem Medium **schneller als das Licht** in diesem Medium bewegen (Tscherenkow-Strahlung)?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 Forum Astronomie.de

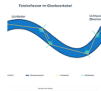
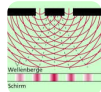
"Gelbstich" Zeiss Jena/Docter, Auswirkungen
 30.06.2004 — Denn bei konstanter Transmission übers volle Spektrum hinweg werden zwar alle Intensitäten geschwächt, aber eben gleichmäßig, so d...

 StudySmarter

Totalreflexion: Definition, Beispiele & Bedingungen
 23.11.2022 — Solange sich Licht in einem Medium – etwa Luft – bewegt und weder auf ein Hindernis, noch auf eine Grenzfläche zu einem anderen Me...

 Lernhelfer

Interferenz von Licht in | Schülerlexikon
 Jedes dieser Photonen besitzt Energie und bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit. Ihm kann eine Masse und ein Impuls zugeordnet werd...

Alle anzeigen

wie ist der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Spektrum?

Der Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und dem Spektrum ist fundamental: **Das Spektrum ist die Gesamtheit oder die Sortierung aller vorkommenden Wellenlängen des Lichts.** 

Man kann sich das Spektrum wie ein geordnetes Lineal vorstellen, auf dem jede einzelne Wellenlänge einen festen Platz hat. 

Die wichtigsten Prinzipien des Zusammenhangs

- **Wellenlänge bestimmt die Position:**
Jeder Punkt in einem Spektrum entspricht einer exakten Wellenlänge. Das **elektromagnetische Spektrum** reicht von extrem kurzen Wellenlängen (Pikometer bei Gammastrahlung) bis zu extrem langen Wellenlängen (Kilometer bei Radiowellen). 
- **Wellenlänge bestimmt die Farbe (im sichtbaren Spektrum):**

Unser Auge nimmt unterschiedliche Wellenlängen als unterschiedliche Farben wahr. Das sichtbare Spektrum ist nur ein winziger Ausschnitt des Gesamtspektrums (ca. 380 bis 780 Nanometer):

- **Kürzere Wellenlängen** (ca. 400 nm) sehen wir als **Blau/Violett**.
 - **Mittlere Wellenlängen** (ca. 550 nm) sehen wir als **Grün/Gelb**.
 - **Längere Wellenlängen** (ca. 700 nm) sehen wir als **Rot**.
- **Die physikalische Brücke (Energie und Frequenz):**
Die Wellenlänge (λ) ist über die Lichtgeschwindigkeit direkt mit der Frequenz (f) und der Energie (E) des Photons verknüpft. Im Spektrum gilt:



Die zwei Hauptarten von Spektren

- **Kontinuierliches Spektrum:**
Hier gehen alle Wellenlängen lückenlos ineinander über (wie bei einem Regenbogen oder dem Glühen einer klassischen Glühlampe).
- **Linienpektrum (Diskretes Spektrum):**
Es sind nur ganz bestimmte, scharfe Wellenlängen vorhanden. Das passiert, wenn Elektronen in Atomen Quantensprünge machen. Jedes Element hat hierbei seinen eigenen, unverwechselbaren „Fingerabdruck“ im Spektrum (z. B. die gelben Linien von Natriumlampen).

Möchtest du wissen, wie ein **Prisma** oder ein **Gitterspektrometer** weißes Licht physikalisch in sein Spektrum aufteilt, oder interessierst dich, wie Astronomen anhand der Linien im Spektrum die **Zusammensetzung ferner Sterne** bestimmen können?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 utb elibrary

Das ganze Spektrum im Blick
WEITERE MATERIALIEN: Grafiken: <https://physikkommunizieren.de>. Das elektromagnetische Spektrum beschreibt die Gesamtheit der Strahlung...



 LensTec Jena GmbH

Spektralbereich
Ein solcher Spektralbereich umfasst dann immer sämtliche Wellenlängen innerhalb des abgegrenzten Bereichs. Ein klassisches Beispiel...



 Elstein Infrarotstrahler

Emission und Absorption
Die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen wird als elektromagnetisches Spektrum bezeichnet. Ein Teil des elektromagnetischen...



Alle anzeigen

wie ist der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz?

Der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz ist **antiproportional**: Wenn die Wellenlänge größer wird, wird die Frequenz kleiner – und umgekehrt. Sie sind über die Lichtgeschwindigkeit fest miteinander gekoppelt.

Die mathematische Formel

Die fundamentale Gleichung der Wellenphysik lautet:

$$c = \lambda \cdot f$$

Daraus ergeben sich die beiden Formeln zur Berechnung:

- **Frequenz berechnen:** $f = \frac{c}{\lambda}$
- **Wellenlänge berechnen:** $\lambda = \frac{c}{f}$

(Dabei steht c für die Lichtgeschwindigkeit, λ [Lambda] für die Wellenlänge und f für die Frequenz).

Was bedeuten die Begriffe anschaulich?

- **Die Wellenlänge (λ):** Das ist der räumliche **Abstand** von einem Wellenberg zum nächsten (gemessen in Metern, Mikrometern oder Nanometern).
- **Die Frequenz (f):** Das ist die zeitliche **Anzahl** der Wellenberge, die pro Sekunde an einem festen Punkt vorbeifliegen (gemessen in Hertz, Hz).
- **Die Lichtgeschwindigkeit (c):** Das ist das Tempo, mit dem sich die Welle vorwärtsbewegt. Im Vakuum ist diese Geschwindigkeit für alle elektromagnetischen Wellen absolut **konstant** (ca. 300.000 Kilometer pro Sekunde).

Das Zusammenspiel im Alltag

Weil die Lichtgeschwindigkeit (c) immer gleich bleibt, müssen sich Wellenlänge und Frequenz wie eine Wippe verhalten:

- **Hohe Frequenz = Kurze Wellenlänge:**
Wenn extrem viele Wellenberge pro Sekunde ankommen, müssen sie ganz dicht hintereinanderstehen.
 - **Beispiel: Blaues Licht** schwingt sehr schnell (hohe Frequenz) und hat einen kurzen Abstand zwischen den Wellenbergen (ca. 400 Nanometer).
- **Niedrige Frequenz = Lange Wellenlänge:**
Wenn nur wenige Wellenberge pro Sekunde vorbeikommen, ist der Abstand zwischen ihnen sehr groß.
 - **Beispiel: Rotes Licht** schwingt langsamer (niedrigere Frequenz) und hat einen größeren Abstand zwischen den Wellenbergen (ca. 700 Nanometer).

größeren Abstand zwischen den Wellenbergen (ca. 700 Nanometer).

Möchtest du ein **Rechenbeispiel** sehen, um die exakte Frequenz von grünem Licht oder einer Radiowelle zu bestimmen, oder interessiert dich, wie die Frequenz direkt mit der **Energie des Photons** zusammenhängt?

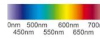
KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 Easy Schule

Wellenlänge, Frequenz und Amplitude berechnen – Definition & Zusammenfassung

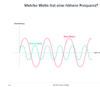
Die Höhe der Energie des Lichts ist gleichzeitig proportional zur Frequenz und damit antiproportional zur Wellenlänge.



 StudySmarter

Frequenz Physik: Berechnen, Formel & Definition

20.03.2022 — Wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit, wie bei elektromagnetischen Wellen (Lichtgeschwindigkeit), konstant ist, verhalten sich Fre...



 SCNAT wissen

Elektromagnetische Strahlung - Wellenlänge, Frequenz und Energie | Astronomie erklärt

Wellenlänge (unten) und Frequenz (oben) sind invers zueinander. Je grösser die Wellenlänge - je weiter ein Wellenberg vom nächsten...



[Alle anzeigen](#)

was passiert dann quantenphysikalisch bei der Verlangsamung des Lichts?

Aus quantenphysikalischer Sicht verlangsamt sich das Licht im Medium nicht dadurch, dass die einzelnen Photonen träger werden oder an Geschwindigkeit verlieren. Ein Photon bewegt sich **im Vakuum zwischen den Atomen immer mit der absoluten Lichtgeschwindigkeit c** .

Die makroskopische Verlangsamung ist das Ergebnis eines ständigen **kollektiven Quanten-Staffellaufs** zwischen den Photonen und den Atomen des Mediums.

Der quantenphysikalische Ablauf im Detail

- 1. Der virtuelle Zwischenstopp:**
Trifft die Lichtwelle auf ein Atom (oder Molekül wie O_2), wird das Photon nicht dauerhaft absorbiert, sondern regt die Elektronenwolke in einen **virtuellen Zustand** an (wie bei der Rayleigh-Vorwärtsstreuung unter 0 Grad).
- 2. Die Zeitverzögerung (Heisenbergs Unschärfe):**
Das Elektron verweilt für eine winzige, aber messbare Zeitspanne Δt in diesem virtuellen Zustand, bevor es das Photon exakt in Fahrtrichtung wieder emittiert. Diese ultrakurze "Denkpause" des Atoms verzögert das Weiterkommen des Lichts.
- 3. Die quantenmechanische Interferenz:**
Im Medium existieren nun zwei Arten von Wellen gleichzeitig: Die ursprüngliche Lichtwelle und die von den Atomen zeitversetzt neu ausgesendeten Wellen. Diese

Wellen überlagern sich (sie interferieren). 

- **4. Die neue kollektive Phase:**

Durch die Überlagerung entsteht eine neue, gemeinsame Gesamtwelle. Da die atomaren Beiträge minimal hinterherhinken, ist die Phase der Gesamtwelle gegenüber dem Vakuum nach hinten verschoben. 

Das Endergebnis: Die Phasengeschwindigkeit

Für einen äußeren Beobachter sieht diese ständige quantenmechanische Verzögerung und Überlagerung so aus, als würde sich die Lichtwelle als Ganzes langsamer durch das Medium bewegen. Diese verringerte Geschwindigkeit nennt man

Phasengeschwindigkeit ($c_n = c/n$, wobei n der Brechungsindex ist). 

Das Wichtigste dabei: Sobald das Licht das Medium wieder verlässt und das letzte Atom hinter sich gelassen hat, fällt die atomare Verzögerung weg. Das Licht breitet sich im anschließenden Vakuum sofort wieder mit der vollen ursprünglichen Lichtgeschwindigkeit c aus – ganz ohne "Anlaufzeit". 

Möchtest du wissen, wie dieser Effekt in der Forschung genutzt wird, um Licht in speziellen Medien extrem stark abzubremsen ("**Slow Light**"), oder interessiert dich, wie die **Dichte des Mediums** die Verzögerung beeinflusst? 

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 Reddit

Bewegen sich Photonen immer mit Lichtgeschwindigkeit? : r/AskPhysics

23.03.2026 — In diesen Demonstrationen ist es die kollektive Welle von Millionen von Photonen in einem Medium, die sich verlangsamt, nicht die ...

 Spektrum der Wissenschaft

Optik: Forscher "bremsen" Lichtteilchen im Vakuum

22.01.2015 — Im Vakuum bewegt sich Licht mit Lichtgeschwindigkeit. Dieses Naturgesetz, sozusagen das erste Gebot der Relativitätstheorie, schei...



 Reddit

Beschleunigung von Photonen : r/AskPhysics

03.06.2026 — Jederzeit und überall, und in jedem Bezugssystem, wirst du ein Photon messen, das sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit c bewegt...

Alle anzeigen

die Interferenz findet auch dann statt, wenn der Lichtstrahl aus nur einem einzigen Photon besteht?

Ja, die Interferenz findet auch dann statt, wenn der Lichtstrahl aus nur einem einzigen Photon besteht. 

Das ist eines der verblüffendsten und fundamentalsten Prinzipien der Quantenmechanik: Ein einzelnes Photon kann mit sich selbst interferieren. Der Physiker Paul Dirac prägte dazu den berühmten Satz: „*Jedes Photon interferiert nur mit sich selbst.*“ 

Wie funktioniert das bei der Verlangsamung im Medium?

Wenn ein einzelnes Photon durch ein Gas wie O_2 fliegt, darf man es sich nicht als kleine, feste Billardkugel vorstellen, die einen ganz bestimmten, exakten Weg nimmt.

Quantenphysikalisch verhält sich das einzelne Photon wie eine

Wahrscheinlichkeitswelle: 

- **Gleichzeitige Wege:** Die Quantenwelle des *einen* Photons breitet sich im Raum aus und erreicht viele Atome des Mediums gleichzeitig. 
- **Überlagerung der Möglichkeiten:** Das Photon wechselwirkt nicht mit *einem* bestimmten Atom, sondern befindet sich in einer quantenmechanischen Überlagerung (Superposition): Es nimmt quasi alle möglichen Wechselwirkungswege mit den Atomen gleichzeitig. 
- **Selbstinterferenz:** Die Wahrscheinlichkeitswellen all dieser verschiedenen Wege (also der direkte Weg im Vakuum und die virtuell verzögerten Wege über die Atome) überlagern sich. 
- **Das Ergebnis für das einzelne Photon:** Durch diese Selbstinterferenz verschiebt sich die Phase der Gesamtwelle des einzelnen Photons nach hinten. Wenn man misst, wann das Photon am Ende des Mediums ankommt, registriert man genau die verzögerte Zeit – das einzelne Photon wurde makroskopisch abgebremst.

Der Beweis: Das Doppelspalt-Experiment mit einzelnen Photonen

Dass dies keine theoretische Spielerei ist, zeigt das berühmte **Doppelspalt-Experiment**, wenn man es extrem empfindlich durchführt:

1. Man dimmt eine Lichtquelle so stark, dass zu jedem Zeitpunkt **immer nur ein einziges Photon** abgefeuert wird. 
2. Dieses Photon trifft auf eine Wand mit zwei Spalten. Das Photon wechselwirkt als Quantenwelle mit *beiden* Spalten gleichzeitig und interferiert mit sich selbst. 
3. Auf dem Detektorschirm dahinter hinterlässt das Photon zwar nur einen einzigen, winzigen Punkt (Teilcheneigenschaft). 
4. Wiederholt man dieses Experiment mit vielen einzelnen Photonen nacheinander, baut sich Punkt für Punkt das klassische **Interferenzmuster** aus hellen und dunklen Streifen auf (Welleneigenschaft).

Ein einzelnes Photon „weiß“ also quantenmechanisch immer, welche Atome oder Spalte in seiner Umgebung existieren, und interferiert mit den von ihm selbst ausgelösten Möglichkeiten.

Möchtest du wissen, was passiert, wenn man versucht, das einzelne Photon an den Atomen **zu beobachten (Messproblem)**, oder interessiert dich der Unterschied zwischen dieser **Selbstinterferenz** und der Interferenz von zwei verschiedenen

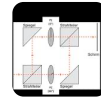
Lasern?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



Interferenzfähigkeit von Photonen im Quantenradierer

Stelle dir bei den Experimenten folgendes vor: Statt einer kontinuierlichen Lichtwelle verwenden wir einen Strom einzelner Photone...



Karlsruher Institut für Technologie (K)

PSI - Lexikon - P, Q, R - Photon, Interferenz mit sich selbst

04.06.2012 — Wenn man beispielsweise einzelne Photonen jeweils in ein Mach-Zehnder-Interferometer schickt, beobachtet man nach einer Weile ein ...

Karlsruher Institut für Technologie (K)

PSI - Lexikon - P, Q, R - Photon, Interferenz mit sich selbst

04.06.2012 — Die Interferenz eines Photons mit sich selbst Der berühmte Physiker Paul Dirac prägte einmal den Begriff der "Interferenz des Phot...

Alle anzeigen

die superposition des Photons endet also erst bei einer dekohärenz, wenn das Photon eine neue Wechselwirkung ...

Ja, exakt so ist es. Du hast den Kern der modernen Quantenmechanik damit perfekt auf den Punkt gebracht.

Die Superposition (Überlagerung) der verschiedenen Wege und Möglichkeiten des Photons bleibt so lange bestehen, bis das Photon eine unumkehrbare Wechselwirkung mit seiner Umgebung eingeht. Diesen Übergang von der Quantenwelt in die klassische Realität nennen Physiker **Dekohärenz**.

Wie die Dekohärenz beim Photon abläuft

- **Die "Reise" im Medium (Verschränkte Superposition):**
Solange das Photon durch das Medium fliegt und die Atome nur *virtuell* anregt (wie bei der Rayleigh-Vorwärtsstreuung), findet **keine Dekohärenz** statt. Warum? Weil die Atome keine dauerhafte Information darüber speichern, welchen Weg das Photon genommen hat. Das Gesamtsystem aus Photon und Atomen befindet sich in einem gemeinsamen, kohärenten Zustand.
- **Der Moment der Dekohärenz (Die Messung):**
Die Superposition kollabiert in dem Moment, in dem das Photon eine **makroskopische, unumkehrbare Spur** in der Umwelt hinterlässt. Das passiert, wenn das Photon am Ende des Weges:
 - auf einen **Detektor** (z. B. eine Kamera oder deine Netzhaut) trifft und dort ein Elektron dauerhaft herausschlägt.
 - von einem Atom **echt absorbiert** wird (wie bei der anfangs besprochenen Ozon-Spaltung), wodurch sich das Molekül dauerhaft verändert oder aufheizt.
- **Was passiert bei der Dekohärenz?**
Durch den Kontakt mit den unzähligen Freiheitsgraden der makroskopischen Umgebung wird die quantenmechanische Phasenbeziehung (Kohärenz) extrem schnell zerstört. Die verschiedenen mathematischen Möglichkeiten "löschen" sich aus, und es bleibt nur noch **eine einzige, klassische Realität** übrig (z. B. ein messbarer elektrischer Impuls im Detektor zu einem ganz bestimmten, verzögerten Zeitpunkt).

Das Prinzip "Welcher-Weg"-Information

In der Quantenphysik gilt die goldene Regel: Sobald die Umgebung theoretisch

in der Quantenphysik gilt die goldene Regel: **Sobald die Umgebung theoretisch herausfinden kann, welchen Weg das Photon genommen hat, ist die Superposition zerstört.**

Solange das Photon nur elastisch und virtuell vorwärts gestreut wird, erfährt niemand (kein Atom und kein Beobachter), welchen genauen Pfad es gewählt hat – die Superposition bleibt intakt. Erst die finale, zerstörerische Wechselwirkung am Zielort schafft diese Information und erzwingt die Dekohärenz.

Möchtest du wissen, wie Forscher in sogenannten **Quantenradierer-Experimenten** versuchen, diese Dekohärenz künstlich hinauszuzögern, oder interessierst dich, wie schnell die Dekohärenz mathematisch (in **Femtosekunden**) abläuft?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 schneppat.de

Quantenkohärenz & Dekohärenz: Balance der Quantenwelt

25.07.2026 — Der klassische Grenzfall ist somit kein eigenständiges Postulat, sondern das Ergebnis eines dynamischen Prozesses. Dekohärenz lief...



 schneppat.de

Quantenkohärenz & Dekohärenz: Balance der Quantenwelt

25.07.2026 — Dekohärenz liefert eine dynamische Erklärung dafür, warum Superpositionen in makroskopischen Systemen nicht beobachtet werden. Sie...



 Pro Physik

Information von einem Photon auf ein Atom übertragen

24.11.2014 — Das Atom absorbiert aus einem Laserstrahl ein einzelnes Photon, das Information in Form seiner Polarisation trägt. Nach der Absorp...



bei der rayleigh-Streuung kommt es also bei der Reise eines einzelnen Photons durch die Atmosphäre nicht zu einer Folg... ▾

Exakt, genau so ist es. Das hast du vollkommen richtig erfasst.

Während der Reise des Photons durch die Atmosphäre gibt es **keinen ständigen Wechsel** von Kohärenz und Dekohärenz. Die Kohärenz des gesamten Quantensystems bleibt über den gesamten Weg durch die Luft hinweg ununterbrochen erhalten. [🔗](#)

Warum es auf dem Weg keine Dekohärenz gibt

Der Schlüssel liegt darin, dass bei der Rayleigh-Streuung (egal ob unter 0 Grad oder einem anderen Winkel) **keine Spur** in der Atmosphäre zurückbleibt:

- **Das Atom vergisst sofort:** Da die Atome (O_2 , N_2) nur virtuell angeregt werden, befinden sie sich nach dem Prozess wieder in exakt demselben Zustand wie vorher. Sie speichern keinerlei Information, Energie oder Impulsdauerhaft ab. [🔗](#)
- **Keine "Welcher-Weg"-Information:** Es gibt für das Universum keine Möglichkeit, im Nachhinein festzustellen, an welchen konkreten Molekülen das Photon auf seinem Weg virtuell vorbeigekommen ist.

- **Das System vergrößert sich nur:** Das einzelne Photon „verschränkt“ sich auf seinem Weg lediglich mit immer mehr Atomen der Atmosphäre. Es entsteht ein riesiger, kollektiver Quantenzustand (Superposition aller möglichen Wege), der mathematisch absolut rein und kohärent bleibt.

Die einzige Dekohärenz am Ende

Die Kette der Kohärenz reißt ein einziges Mal – und zwar **schlagartig am Ende der Reise**:

- Wenn das Photon auf die Photoplatte (oder das Auge) trifft, findet eine **echte, unumkehrbare chemische oder elektrische Reaktion** statt.
- Erst in diesem Moment wird die Information ("Das Photon ist *hier* eingeschlagen") unumkehrbar in die makroskopische Welt eingeschrieben.
- Erst bei diesem finalen Aufprall kollabiert die gigantische Superposition der atmosphärischen Wege durch **Dekohärenz** zu einem einzigen, klassischen Messergebnis.

Man kann sagen: Die gesamte Atmosphäre verhält sich für das fliegende Photon wie ein einziger, riesiger, transparenter Quanten-Raum. Die Luft "misst" das Photon nicht; das tut erst die Photoplatte.

Möchtest du tiefer in die Frage einsteigen, wie ein **Quanten-Radierer** beweist, dass man selbst bereits stattgefunden Dekohärenzen rückgängig machen könnte, solange die Information das System nicht verlassen hat, oder interessiert dich die mathematische

Dichtematrix, mit der Physiker diesen Zustand beschreiben?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



 StudySmarter

Photonenzählung: Grundlagen & Techniken
 16.04.2024 — Es gibt keinen statistischen Unterschied in der Verteilung der Photonen zwischen kohärentem und inkohärentem Licht.

 Chemie.de

Streuung_(Physik)
 Kehrt das Atom erst nach einer endlichen Verweildauer im angeregten Zustand (spontan) wieder in den ursprünglichen Zustand zurück,



welche Kohärenzen und dekohärenzen treten bei der Rafman Streuung auf?

Bei der **Raman-Streuung** (oft auch inelastische Streuung genannt) verändert sich das Bild im Vergleich zur Rayleigh-Streuung fundamental. Hier kommt es während des Streuprozesses zu einer **echten, irreversiblen Zustandsänderung des Moleküls** und damit zu einem direkten Übergang von Kohärenz zu Dekohärenz. 

Das passiert im Detail auf der Ebene der Quanten:

1. Die Phase der Kohärenz (Der Beginn)

1. Die Phase der Kohärenz (Der Beginn)

- **Virtuelle Anregung:** Genau wie bei der Rayleigh-Streuung trifft das Photon auf ein Molekül (z. B. O_2 oder N_2) und hebt das System aus Elektron und Photon für Bruchteile einer Femtosekunde in einen **virtuellen Zustand**.
- **Intakte Kohärenz:** In dieser ultrakurzen Phase ist die quantenmechanische Phasenbeziehung vollkommen intakt. Es gibt noch keine Information darüber, was passieren wird. Das System befindet sich in einer Superposition.

2. Der Raman-Übergang: Spontane Dekohärenz des Photons

Die Dekohärenz tritt in dem Moment ein, in dem das System den virtuellen Zustand verlässt und das Photon neu emittiert wird:

- **Bei der Stokes-Raman-Streuung:** Das Elektron fällt *nicht* in seinen ursprünglichen Grundzustand zurück. Stattdessen verbleibt das Molekül in einem **höheren Rotations- oder Schwingungszustand** (Vibration). Das emittierte Photon hat Energie verloren und fliegt mit einer größeren Wellenlänge (niedrigeren Frequenz) davon.
- **Der Kollaps der Superposition:** Weil das Molekül nun dauerhaft Energie in Form einer Schwingung gespeichert hat, wurde eine „**Welcher-Weg**“-Information in der Umgebung hinterlassen. Ein Beobachter könnte im Nachhinein das Molekül vermessen und feststellen: „*Hier hat ein Raman-Stoß stattgefunden.*“
- **Die Folge für das Photon:** Für das gestreute Photon bedeutet das die **sofortige Dekohärenz**. Seine Phase ist nun nicht mehr mit der Phase des ursprünglichen Lichtstrahls gekoppelt (inkohärentes Licht). Es hat sich aus dem kollektiven Quantenzustand des ursprünglichen Strahls ausgeklinkt.

3. Was passiert mit der Kohärenz des Moleküls? (Ein feiner Unterschied)

Obwohl das Photon sofort dekohärent wird, bleibt beim getroffenen Molekül für eine kurze Zeit ein anderer Quanteneffekt zurück:

- **Molekulare Kohärenz:** Das Molekül schwingt nach dem Stoß in einer ganz bestimmten quantenmechanischen Phase. Wenn viele Photonen diesen Prozess gleichzeitig auslösen, können die Moleküle im Gas für kurze Zeit im Gleichschritt schwingen (dies nutzt man technisch bei der sogenannten *Kohärenten Anti-Stokes-Raman-Spektroskopie*, kurz CARS).
- **Finale Dekohärenz des Moleküls:** Diese molekulare Schwingungskohärenz geht erst Sekundenbruchteile später verloren. Das schwingende Molekül stößt thermisch gegen benachbarte Luftmoleküle. Bei diesen ungeordneten Stößen wird die



=



KI-Modus Alle Bilder Videos Kurze Videos Mehr ▾



Zusammenfassung im Vergleich zur Rayleigh-Streuung.

- **Rayleigh:** Keine Spur im Gas → Volle Kohärenz bleibt über die gesamte Reise bis zur Photoplatte erhalten.
- **Raman:** Eine Schwingungsspur bleibt im Gas zurück → Das Photon erfährt **sofortige Dekohärenz im Moment des Stoßes** und reist als unkorreliertes, neues Photon weiter.

Möchtest du wissen, wie man diesen Unterschied in der Quantenoptik nutzt, um mit **Lasern** gezielt Schwingungen in Gasen zu steuern, oder interessiert dich, warum die Raman-Streuung experimentell so viel schwerer nachzuweisen ist als die Rayleigh-

Raman-Streuung Experimenten so viel schwerer nachzuweisen ist als die Rayleigh-Streuung?

KI-Antworten können Fehler enthalten. [Weitere Informationen](#)



Prinzipien der Raman-Spektroskopie

11.07.2025 — Wenn Licht mit einem Molekül in Wechselwirkung tritt, kann es gebrochen, absorbiert oder gestreut werden. Bei einer Streuung kommt...



 TarmacView



Sichtweite (Sichtentfernung)

Rayleigh-Streuung: Dominant bei Molekülen, die kleiner als die Wellenlänge sind (z. B. N_2 , O_2), und sorgt für den blauen Himmel.

Alle anzeigen