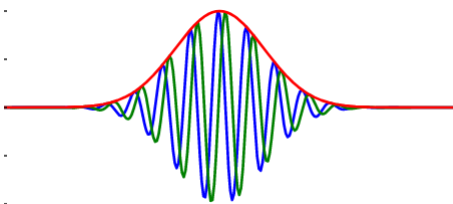


# Lösungen zu den Übungsaufgaben Physik 2Stünder, KW12

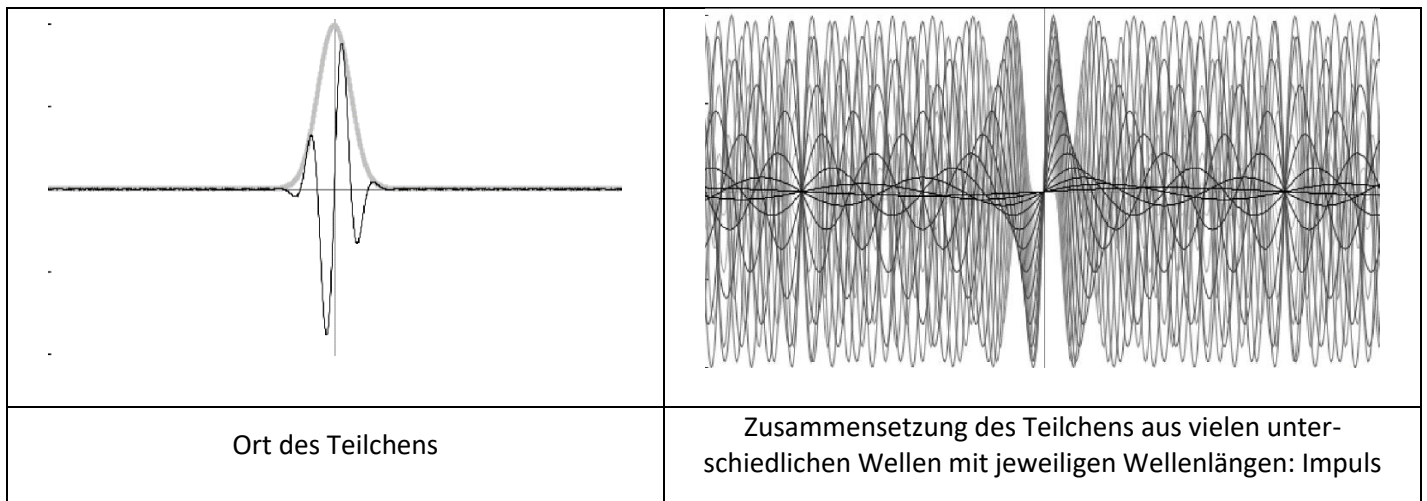
## 1) Während du den Film schaust, erläutere kurz in Stichworten die folgenden Begriffe:

<p><b>Wahrscheinlichkeitsinterpretation</b></p> <p>Die Welleneigenschaften eines Teilchens bestimmen seinen Aufenthaltsort. Die Intensität der Welle wird dabei als Wahrscheinlichkeit aufgefasst, das Teilchen dort anzutreffen</p>	<p><b>Superposition</b></p> <p>Teilchen existieren in Form von Wellen. Wellen besitzen eine Frequenz, bzw. Wellenlänge. Diese Wellenlänge definiert den Impuls des Teilchens. Da ein Teilchen eine Impulsunschärfe besitzt, besitzt es Anteile vieler unterschiedlicher Wellenlängen und damit unterschiedlicher Impulse. Es liegt in einer Überlagerung (Superposition) verschiedener Wellen als Wellenpaket vor.</p>	<p><b>Messprinzip</b></p> <p>Die Messung zerstört den Zustand: Ein Teilchen befindet sich in einem Raumabschnitt mit einer charakteristischen Wahrscheinlichkeitsverteilung. Der Moment der Messung konkretisiert diese Wahrscheinlichkeitsverteilung an einen genau definierten Ort. Dadurch wird der Quantenzustand der Superposition zerstört. Dieses Messprinzip ist von universaler Natur.</p>
<p><b>Unbestimmtheit</b></p> <p>Ein Teilchen besitzt nach der Heisenberg'schen Unschärferelation eine Orts- und Impulsunschärfe, die aneinander gekoppelt sind. Je genauer eine der beiden Größen definiert wird, desto ungenauer muss die korrespondierende Größe sein. Beim Spaltexperiment ist der Auftreffort eines Teilchens unbestimmt, bzw. wahrscheinlichkeitsverteilt.</p>	<p><b>Aufenthaltsort</b></p> <p>Ein Teilchen besitzt einen unscharfen, bzw. unbestimmten Aufenthaltsort bis zu einem Messvorgang. Das bedeutet, dass es sich in einem Raumabschnitt befindet, genauer beschrieben durch eine Wahrscheinlichkeitsfunktion</p>	<p><b>Unschärfe</b></p> <p>Siehe Unbestimmtheit: Ein Teilchen befindet sich – solange kein Messvorgang stattgefunden hat – in keinem definierten Zustand, sondern in einer Superposition aller erlaubten Zustände. Dadurch wird sein tatsächlicher Zustand unscharf.</p>
<p><b>Interferenzmuster</b></p> <p>Hinter dem Doppel- oder Einfachspalt ergibt sich durch Interferenz der Wellenfunktion eines Teilchens mit sich selber eine Intensitäts- bzw. Wahrscheinlichkeitsverteilung. Diese lassen sich berechnen mittels des zugehörigen Interferenzmusters der mit sich selbst interferierenden Wellenfunktion.</p>	<p><b>Wellenpaket</b></p>  <p>Durch Superposition von vielen Wellenlängen ergibt sich (hier rot dargestellt) der Zustand eines Teilchens als Zusammensetzung in Form eines Wellenpakets.</p>	<p><b>Ort und Bewegung (Impuls)</b></p> <p>Stehen in direkter Wechselbeziehung; je schärfer die eine Größe, desto unschärfer die andere</p>

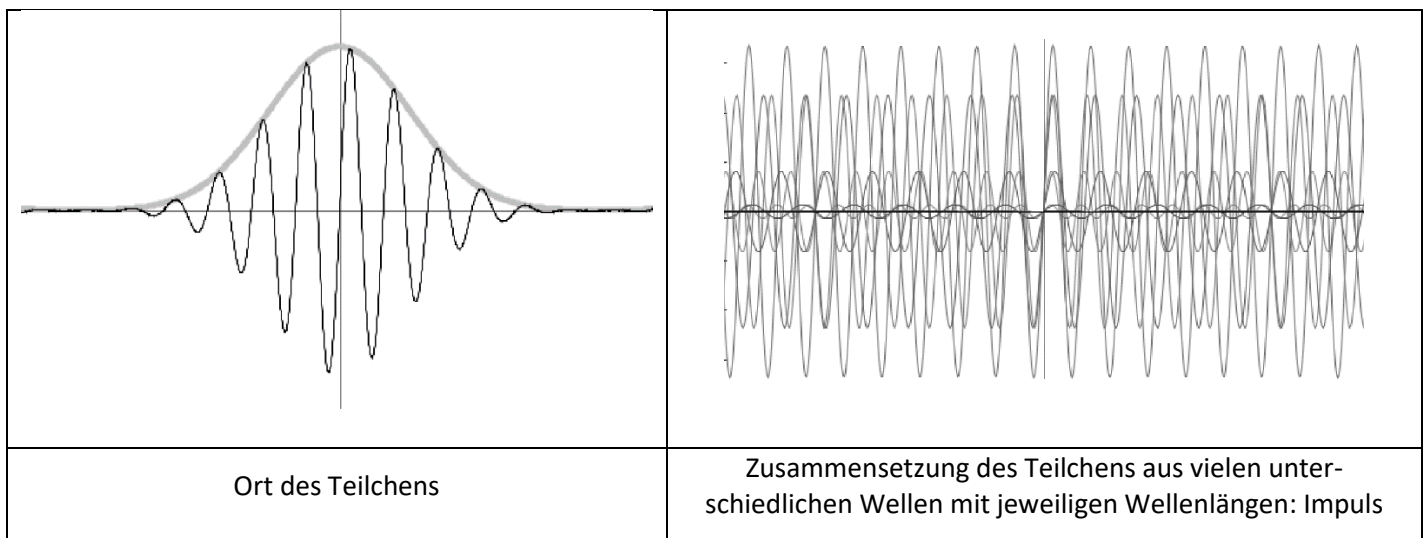
**2) Fülle die folgenden Lücken aus:**

Breites Wellenpaket bedeutet scharfer Impuls, bedeutet aber unscharfer Ort. Enger definierter Ort bedeutet unscharfer Impuls. Verhalten von Materie hängt davon ab, ob man sie beobachtet.

Scharfer Ort, unscharfer Impuls, zu erkennen an der großen Menge an unterschiedlichen Wellenlängen (= Impulsen):



Unscharfer Ort, scharfer Impuls, zu erkennen an der kleinen Menge an unterschiedlichen Wellenlängen (= Impulsen):



### 3) Beantworte in Stichworten:

#### a) Wo hatte Einstein unrecht?

Dass der Mond nicht da ist, wenn keiner hinsieht. Nach ihm soll ein Photon feste Eigenschaften haben—in der Quantenmechanik gilt dies erst, wenn es vermessen wurde. Teilchen haben nach Einstein keine Verbindung. In der Quantenmechanik, so zeigen Experimente, sind sie verschränkt.

#### b) Warum misst man im Vakuum?

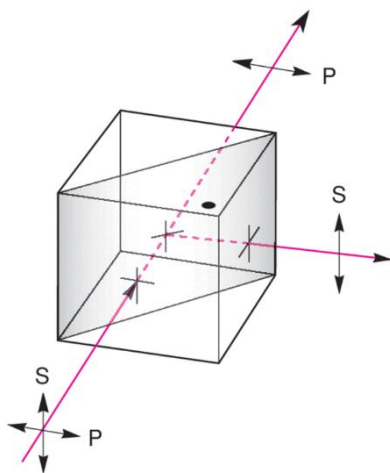
Bei einem Versuch mit normaler Materie zeigt sich das Wellenmuster nur im Vakuum. Ein Interferenzmuster kann nur dann entstehen, wenn es keine Wechselwirkung mit anderen Teilchen gibt – Wechselwirkungen kommen Messprozessen gleich. Und Messprozesse zerstören die Wellenfunktion, wodurch jegliche Interferenzeffekte zunichte gemacht werden.

#### c) Warum ist der Mond da, auch wenn man nicht hinsieht?

Mond ist zu sehen, weil ständig gemessen wird. Jede Form von Stoß der Luftmoleküle oder Strahlung löst Messvorgang aus.

#### d) Was bedeutet Verschränkung?

Dass zwei Teilchen miteinander in Verbindung stehen und einen gemeinsamen Zustand ausbilden, der sich durch eine Wellenfunktion beschreiben lässt. Dies gilt auch dann, wenn sie räumlich voneinander getrennt sind.



Ein Beispiel sind die verschränkte Polarisationsrichtungen von Photonen.

Kurze Erklärung Polarisation: Licht ist eine elektromagnetische Transversalwelle, und Transversalwellen besitzen eine Schwingungsrichtung, genauso wie eine Seilwelle eine Schwingungsrichtung besitzt. Mit sogenannten Polarisationsfiltern kann man Licht nach seiner Schwingungsrichtung filtern:

[https://javalab.org/en/polarization\\_en/](https://javalab.org/en/polarization_en/)

Ein Photon kann nun in einem Strahlteiler-Kristall in zwei Photonen aufgeteilt werden, wobei beide eine Schwingungsrichtung erhalten, die voneinander abhängig sind, ähnlich wie zwei Gegenstände, die sich voneinander abstoßen, von denen der eine in die exakt entgegengesetzte Richtung des anderen fliegt (Actio = Reactio). Das sieht dann so aus:

[scinexx.de/news/technik/erstes-foto-einer-quantenverschaerung/](http://scinexx.de/news/technik/erstes-foto-einer-quantenverschaerung/)

Aber auch hier gilt: Die Polarisation jedes einzelnen Photons besteht aus einer Überlagerung (bzw. Superposition) unterschiedlicher Zustände, und zwar genau so lange, bis gemessen wird. Wird ein Photon gemessen, dann wird der Quantenzustand zerstört – und damit auch der Quantenzustand des zweiten Teilchens. Einstein sprach hier von sogenannter „Spukhafter Fernwirkung“, weil eigentlich eine Art ‚Kommunikation‘ zwischen den beiden Teilchen stattfinden müsste, in etwa:

Teilchen 1 zu Teilchen 2: „ich bin gemessen, und in Zustand P, bitte sei du jetzt in Zustand S!“

Nach aktuellem Stand der Wissenschaft existiert diese spukhafte Fernwirkung tatsächlich!

<https://science.orf.at/v2/stories/2911863/>

#### e) Sind zwei getrennte Photonen, die aus einem Photon im Kristall, Zwillinge, identisch, getrennt?

Sie sind bezüglich ihrer Verschränkung miteinander gekoppelt; sie sind ein einziges Quantensystem, ein Ganzes, trotz räumlicher Trennung.