



Bei bewegtem, nicht fehsichtigem Auge wird ein Speckle-Muster als stationär wahrgenommen. Wandert das Speckle-Muster mit der Bewegung des Kopfes mit, ist das Auge übersichtig. Im anderen Fall ist es kurzsichtig.



© Delpixel/Shutterstock.com

Ein einfacher Sehtest auf Basis des Speckle-Effekts

Prof. Dr. Axel Donges

Betrachtet man eine optisch raue Wand,¹ die mit kohärentem Licht (Laserlicht) beleuchtet wird, treten Interferenzerscheinungen auf. Dieses Phänomen wird als Speckle-Effekt bezeichnet. Damit ist konkret gemeint: Eine z. B. homogene weiße Wand erscheint dem Beobachter gesprenkelt, d. h. fleckig (Abb. 1). Unter einem Speckle versteht man dabei sowohl einen hellen als auch einen dunklen Flecken des Interferenzmusters.² Die Gesamtheit der Speckles bildet das Speckle-Muster.

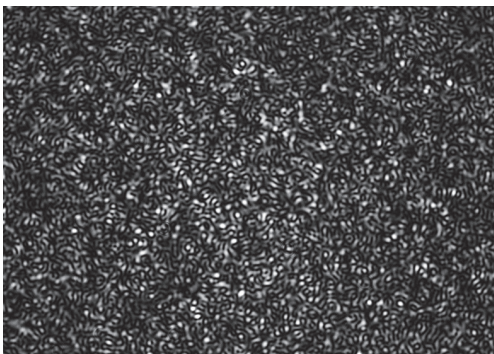


Abb. 1: Eine mit kohärentem Licht (Laserlicht) beleuchtete Wand erscheint einem Beobachter gesprenkelt (Quelle: groups.jqi.umd.edu/rolston/research/disordered-neutral-atoms-optical-lattices).

Ursache der Speckles

Jeder Punkt der Oberfläche, der von dem einfallenden Licht getroffen wird, ist Ausgangspunkt einer kugelförmigen Streuwelle. Die Unebenheiten der beleuchteten Oberfläche führen zu statistischen Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen, an verschiedenen Punkten gestreuten Kugelwellen. Die Kugelwellen, die von eng benachbarten Streupunkten auf der Oberfläche gestartet sind, überlappen wegen der Beugung an der Linsenapertur in der Beobachtungsebene (z. B. Netzhaut des Auges). Durch diese Interferenzen ergibt sich das Speckle-Muster (Abb. 2).

Speckles bei bewegtem Auge

Der Speckle-Effekt wird in der Messtechnik ausgenutzt. Ein Anwendungsbeispiel ist die Untersuchung der Fehlsichtigkeit eines Auges. Dabei wird der nachfolgend beschriebene Effekt ausgenutzt: Der Proband schließt ein Auge und schaut mit dem anderen Auge völlig entspannt, d. h. mit nicht akkomodiertem Auge, auf eine optisch raue Wand, die mit

kohärentem Laserlicht beleuchtet wird. Dadurch nimmt der Proband ein Speckle-Muster wahr. Wenn er nun seinen Kopf bewegt, z. B. von unten nach oben (oder umgekehrt),³ nimmt er eine der drei folgenden Varianten wahr:

- Das Speckle-Muster bleibt stationär. Dann liegt keine Fehlsichtigkeit des Auges vor.
- Das Speckle-Muster wandert nach unten (oben), wenn der Kopf und damit auch das Auge nach oben (unten) gehen. Das Speckle-Muster wandert also entgegen der Kopfbewegung. Dann ist das Auge kurzsichtig (Myopie).
- Das Speckle-Muster wandert nach oben (unten), wenn der Kopf nach oben (unten) geht. Das Speckle-Muster wandert mit der Kopfbewegung mit. In diesem Fall ist das Auge übersichtig (Hyperopie).

Mögliche Bewegungen des Speckle-Musters veranschaulichen die Abbildungen 3–5 durch die geometrisch-optische Betrachtung des Strahlengangs eines einfallenden Parallelstrahls.

Die Abbildung 3 zeigt schematisch stark vereinfacht ein nicht fehlsichtiges Auge in zwei verschiedenen Positionen (u: unten, o: oben). In beiden Fällen wird ein- und derselbe einfallende Parallelstrahl zu der gleichen Stelle der Netzhaut gebrochen (durch einen kleinen Kreis gekennzeichnet). Auf Abbildung 4

ist ein kurzsichtiges, d. h. zu langes Auge dargestellt. Bei den beiden Augenpositionen (u, o) wird ein und derselbe einfallende Lichtstrahl zu zwei unterschiedlichen Stellen der Netzhaut gebrochen. Der Auftreffpunkt des Lichtstrahls bewegt sich auf der Netzhaut – wie das Auge – ebenfalls von unten nach oben.

Da das Gehirn oben und unten wieder vertauscht, wird allerdings eine entgegengesetzte Bewegung wahrgenommen. Abbildung 5 zeigt wiederum ein übersichtiges, d. h. zu kurzes Auge. In diesem Fall ist die Situation umgekehrt zu der in Abbildung 4.

Schlussbemerkungen

Ein Speckle-Muster wird bei bewegtem, nicht fehlsichtigem Auge als stationär wahrgenommen. Wandert das Speckle-Muster mit der Bewegung des Kopfes mit, ist das Auge übersichtig. Im anderen Fall ist es kurzsichtig.

Zur praktischen Demonstration dieses Effekts muss man lediglich mit einem aufgeweiteten Laserstrahl⁴ eine möglichst weiße Fläche (z. B. Wand) beleuchten und mit entspanntem Auge und den Kopf bewegend die Fläche betrachten. Alle drei Varianten (stationäres Speckle-Muster, Speckle-Muster bewegt sich entgegengesetzt zum Auge oder Speckle-Muster bewegt sich mit dem Auge) können von einer Person wahrgenommen werden, wenn durch das Tragen von Brillen mit positiver bzw. negativer Brennweite Kurz- und Übersichtigkeit simuliert werden.

Hinweise:

- 1 „Optisch rau“ bedeutet, dass die Unebenheiten der Oberfläche mindestens in der Größenordnung der Wellenlänge des verwendeten Lichts sind.
- 2 „Speckle“ kommt aus dem Englischen und bedeutet: Flecken, Sprenkel, Tupfen.
- 3 alternativ von links nach rechts
- 4 z. B. mit einer Linse aufgeweiteter Lichtstrahl eines Laserpointers

Quellen:

<http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2011/6175/pdf/tiz122.pdf>
(Download am 29.04.2015)
groups.jqi.umd.edu/rolston/research/disordered-neutral-atoms-optical-lattices

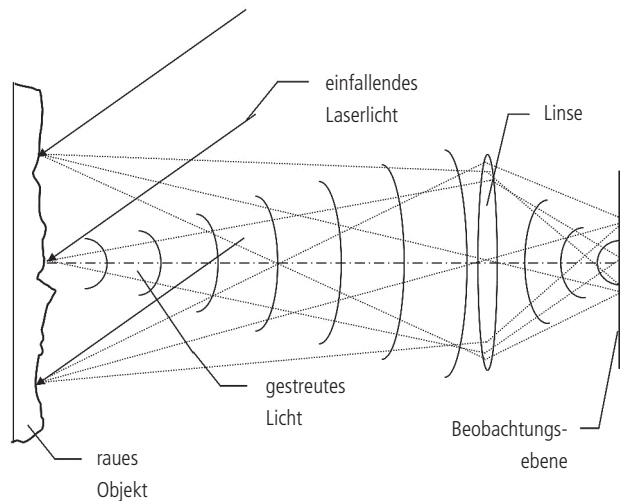


Abb. 2

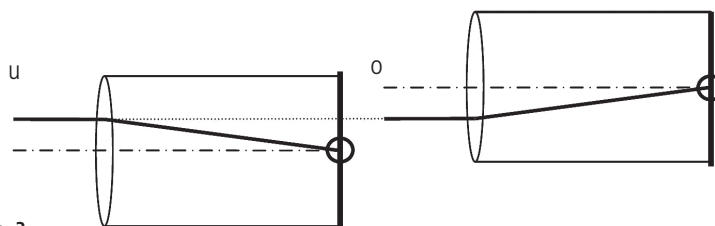


Abb. 3

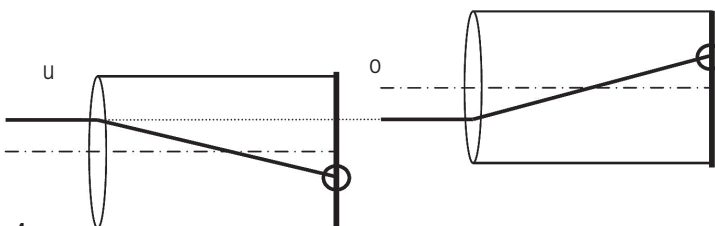


Abb. 4

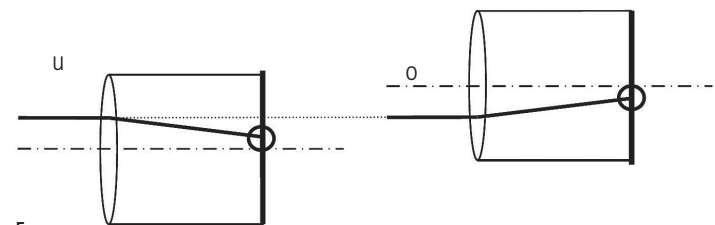


Abb. 5

Abb. 2: Entstehung eines Speckle-Musters durch Überlagerung von Streuwellen in der Beobachtungsebene. Die Streuwellen werden an der Linsenapertur gebeugt. So können Lichtwellen, die an unterschiedlichen Objektpunkten gestartet sind, interferieren. – **Abb. 3:** Ein parallel zur optischen Achse einfallender Lichtstrahl wird – unabhängig von der Position – stets zur gleichen Stelle der Netzhaut gebrochen. – **Abb. 4:** Ein parallel zur optischen Achse einfallender Lichtstrahl wird bei einem kurzsichtigen Auge zu unterschiedlichen Stellen der Netzhaut gebrochen. Tritt der Lichtstrahl über (unter) der optischen Achse ins Auge ein, so trifft er unterhalb (oberhalb) der optischen Achse auf die Netzhaut auf. – **Abb. 5:** Ein parallel zur optischen Achse einfallender Lichtstrahl wird bei einem übersichtigen Auge zu unterschiedlichen Stellen der Netzhaut gebrochen. Tritt der Lichtstrahl über (unter) der optischen Achse ins Auge ein, so trifft er oberhalb (unterhalb) der optischen Achse auf die Netzhaut auf.

Kontakt Prof. Dr. Axel Donges
Fachhochschule und
Berufskollegs NTA
Seidenstraße 12–35
88316 Isny im Allgäu
donges@nta-isny.de