

Unscharf wird schön – farbenprächtige Beugung an Spinnfäden

Klaus D. Hinsch

Institut für Physik, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg

[mailto: klaus.hinsch@uni-oldenburg.de](mailto:klaus.hinsch@uni-oldenburg.de)

Dünne Fäden von Spinnennetzen oder Blumensamen liefern im Sonnenlicht auf unscharf eingestellten Fotos streifige bunte Farbsegmente. In systematischen Laborversuchen wird gezeigt, dass deren Charakteristika von der Auswahl des am Faden gebeugten Lichtes durch die Apertur der Kamera bestimmt sind.

1 Das Phänomen

An sonnigen Sommertagen kann man bei geeignetem Beobachtungswinkel die Fäden von Spinnennetzen in der Sonne farbig aufleuchten sehen [1,2]. Bei kontrolliert eingestellter unscharfer Fotografie beobachtet man stellenweise faszinierende bunte Farbsegmente, die aus Bändern farbiger und dunkler Streifen bestehen und oft zugespitzt enden (Abb.1). An sehr hellen Stellen auf den Fäden sind außerdem kreisförmige Unschärfescheibchen zu sehen, im Rest verschmieren diese zu diffusen hellen Bändern. Bei Änderung des Beobachtungswinkels erscheinen die farbigen Segmente in veränderten Farben an anderen Stellen der Fäden.

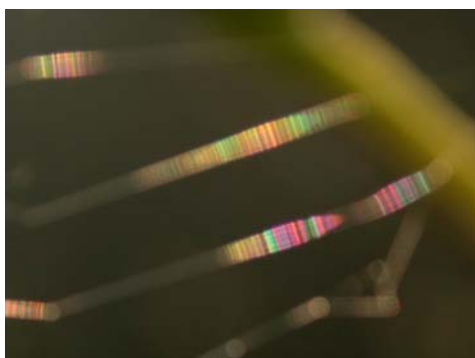


Abb. 1 Unscharf aufgenommenes Foto von Spinnenfäden bei schräg einfallendem Gegenlicht der Sonne.

2 Grundlegende Experimente

Es liegt nahe, das Phänomen mit der Beugung des Lichtes an den Fäden zu erklären. Bei den hier untersuchten Radnetzen der Kreuzspinne sind diese nur wenige Mikrometer stark. Die tangentialen Fangfäden der Netze erscheinen im fokussierten Bild wie Perlenschnüre, da sie mit kleinen Klebstofftröpfchen (variierende Durchmesser von ca. 10 – 50 μm) versehen sind. Um Details der Musterentstehung zu verstehen, wurden Fadenproben im Labor kontrolliert untersucht (Abb.2).

Ein horizontaler Faden wird unter einem Winkel θ von unten mit kollimiertem weißem Licht beleuchtet und mit einer Digitalkamera scharf oder unterschiedlich stark unscharf abgebildet.

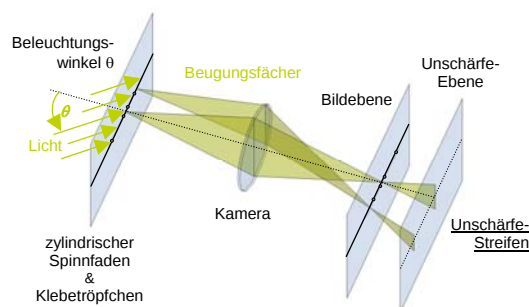


Abb. 2 Experimentelle Untersuchung der durch Beugung entstehenden Farbmuster an Spinnfäden.

Wesentliche Phänomene der Beobachtungen lassen sich mit Beugung an den nicht von Klebstofftröpfchen belegten Stellen eines zylindrischen Fadens verstehen. Hierbei liegt das gebeugte Licht innerhalb einer dünnen senkrecht zum Faden orientierten Schicht wie in einem Fächer, von dem ein Teil durch die Öffnung der Linse aufgefangen und in die jeweilige Abbildungsebene geleitet wird. Anders als bei der Unscharfabbildung heller Punkte entsteht hier also kein Kreisscheibchen, sondern ein senkrecht liegender Streifen. Dessen Farbe hängt davon ab, welchen Teil die Apertur der Kamera aus dem Beugungsfächer ausschneidet. Es wird außerdem klar, dass die Streifen zum Rande hin kürzer werden (abnehmender Ausschnitt aus dem Fächer) und das Band nicht viel länger als der Linsendurchmesser sein kann. Dies wurde quantitativ bestätigt und erklärt die zugespitzten Enden der Segmente. In der Natur sind die Fäden meist gebogen, so dass Beugungsfächer verkippen und die Situation komplizierter wird.

Die vorgeschlagene Entstehung eines farbigen Bandes bei zunehmender Unschärfe lässt sich gut im Vergleich mit dem Mikroskopbild des Fadens verfolgen. Abb.3 zeigt oben ein typisches Farbband auf einem Faden, an dem zu den Seiten außerdem die Unschärfekreise einiger großer Klebstofftröpfchen zu sehen sind. Darunter folgt ein möglichst gut fokussiertes Bild der gleichen Stelle, in dem jetzt durchgehend Klebstofftröpfchen als weiß-

lich helle Punkte zu erkennen sind, zwischen denen sich kurze Farbzonen ausbilden. Es folgt das Mikroskopbild von exakt dem gleichen Teil des Fadens, das die Perlenschnur großer und kleiner Klebetropfen zeigt. Die Bilder zeigen sehr gut, dass sich Farben in den Zwischenbereichen bilden und an den Stellen der Klebetropfen bei Defokussierung die dunklen Streifen entstehen. Schließlich ist noch ein Bild bei veränderter Beleuchtungsrichtung (andere Farbe) und stärkerer Unschärfe (größere Unschärfekreise) hinzugefügt. Man erkennt, dass die Zuordnung zu den Stellen der Klebetropfen nicht mehr ganz stimmt – wohl auch, weil der Beugungsfächer zunehmend dicker wird.

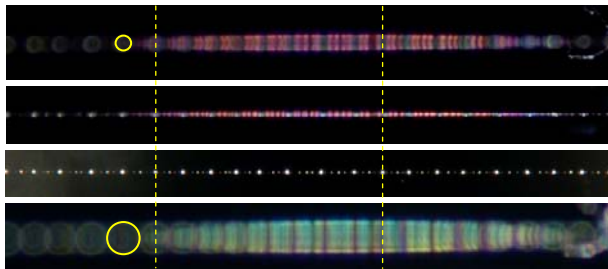


Abb. 3 Unschärfefotografie eines mit Klebetropfen behafteten Spinnenfadens (siehe Text).

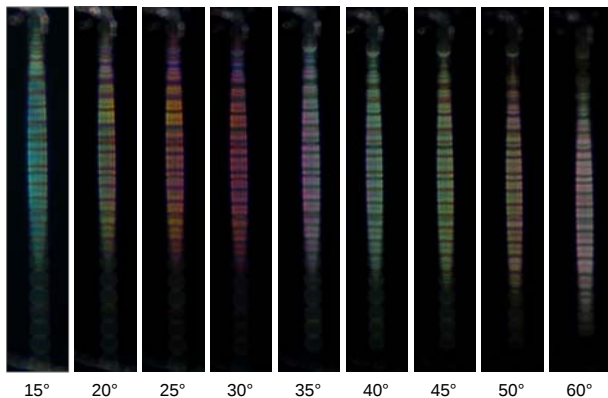


Abb. 4 Änderung der Fadenfarbe mit der Richtung des beleuchtenden Lichtes.

3 Farbvariation mit verändertem Winkel

Im Labor lässt sich nun gut verfolgen, wie sich die Farbe mit dem Beleuchtungswinkel ändert (Abb. 4). Die Dicke des hier betrachteten Fadens wurde mikroskopisch zu ca. 1 μm bestimmt. Wenn man die Situation durch einen Spalt gleicher Breite modelliert und die Farbanteile der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau im gebeugten Licht als Funktion des Winkels berechnet, zeigt sich, dass die Farbe über der nur 4° großen Apertur der Kamera wenig variiert. Quer zur Fadenrichtung gibt es daher kaum eine Änderung der Farbe. Eher schon in der Längsrichtung – wohl auf Grund von Variationen von Fadendicke und Winkel. Es ist außerdem gut zu sehen, wie die Bänder zu den Enden schmaler werden und sich die von den Klebetropfen herrührenden dunklen Streifen konsequent

durch alle Bilder ziehen. Die Berechnung der Farbanteile liefert, dass Grün bei ungefähr 34° fast verschwindet, was als Fadenfarbe Magenta liefern sollte – gut bestätigt in Abb.4.

4 Vergleichsexperiment mit 5 μm Draht

Die Farbenbildung lässt sich an einem dünnen Wolframdraht von 5 μm Durchmesser und 5 mm Länge überprüfen. Wegen des fünffach größeren Durchmessers werden die Beugungswinkel auf ein fünftel verringert, so dass sich die Farbe jetzt innerhalb der Apertur deutlich ändert (Abb.5). Die leichte Farbverschiebung von oben nach unten ergibt sich wahrscheinlich dadurch, dass der Faden etwas gekrümmt montiert war. Die Zuspitzung zu den Enden fehlt, weil das Drahtstück dafür noch zu kurz war. Die Farbreihenfolge stimmt übrigens gut mit den Interferenzfarben an einer keilförmigen Seifenlamelle überein – auch dort werden alle Bestandteile weißen Lichtes mit einer umgekehrt proportional zu ihrer Wellenlänge verschobenen Phase überlagert.

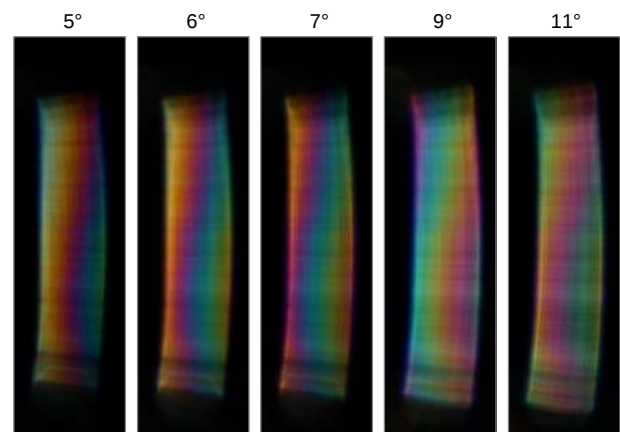


Abb. 5 Unschärfefotografie eines 5 μm dünnen Wolframdrahtes bei Variation des Lichteinfallwinkels.

5 Schluss

Mit Unschärfefotografie lassen sich an geeignet beleuchteten Spinnenfäden beeindruckende Farbeffekte herstellen. Die beobachteten Phänomene werden gut mit Beugung an den dünnen Fasern und Störungen durch deren Klebetropfen erklärt. Für weitere, hier nicht untersuchte Effekte dürften auch Interferenzen des Lichts von regelmäßig angeordneten Klebetropfen verantwortlich sein [3]. Malerische Farbkombinationen liefern übrigens auch die Fotos von Härchen (Pappus) verschiedener Pflanzensamen (Weidenröschen, Löwenzahn).

Literatur

- [1] R. G. Greenler und J. W. Hable, Am.Sci.**77**, 369 (1989)
- [2] H. J. Schlichting, Phys. in uns. Zeit **35**, 28 (2004)
- [3] www.itp.uni-hannover.de/~zawischa/index.html (D. Zawischa)