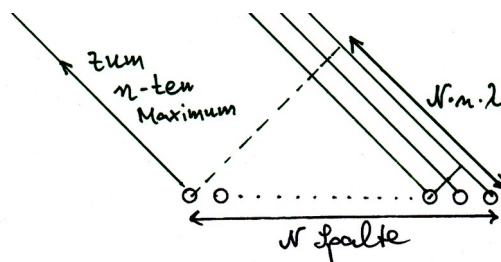


## Die Unbestimmtheitsrelation in der Zeigerdarstellung

[www.geogebra.org/m/k6en5drj](http://www.geogebra.org/m/k6en5drj)

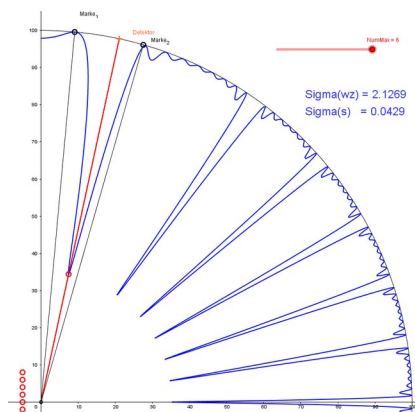
Eine Konsequenz der UBR ist, dass das Licht in einem Interferenzmaximum mit höherer Ordnung ein schmaleres Spektrum aufweist - also anders zusammengesetzt ist. Der tiefere Grund für dieses Verhalten liegt in der mathematischen Beschreibung von Quanten-Situationen.

Am Gitter wird Licht in einen Superpositionszustand verschieden langer Pfade gebracht. Die Abbildung zeigt die Pfade zum  $n$ -ten Interferenzmaximum. Die Längen zweier benachbarter Pfade zu diesem Maximum unterscheiden sich um die Gangdifferenz  $n \cdot \lambda$ , die insgesamt auftretende Spannweite  $s$  ist dann  $s = N \cdot n \cdot \lambda$ .



Den Ort des Quantenobjekts kann man durch die Pfadlänge Quelle-Detektor messen. Wegen der erforderlichen Superposition kann man auch die Pfadlänge nur durch Mittelwert und Standardabweichung angeben.

Mit dem Programm [www.geogebra.org/m/k6en5drj](http://www.geogebra.org/m/k6en5drj) kann man die beiden Standardabweichungen für Wellenzahl und Ort in den Maxima ausmessen, die an einem 9-fach-Spalt durch Licht fester Wellenlänge erzeugt werden. Der Bildschirm wird beim Start so aussehen:



Das Modell berechnet für jeden Ort des Detektors auf dem Viertelkreis die Zeigersumme und deren Quadrat, also die Nachweiswahrscheinlichkeit. In einem Textfeld am oberen Bildrand werden die zugehörigen Standardabweichungen dargestellt.

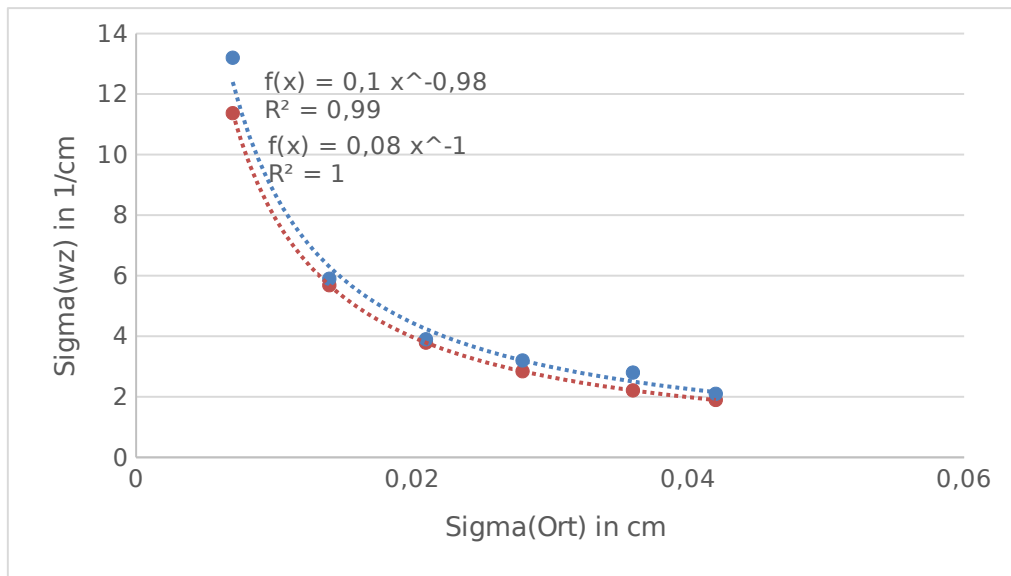
Die Erkundung der Unbestimmtheitsrelation erfolgt in den folgenden Schritten:

- Am Schieberegler wird die Nummer des gerade untersuchten Maximums eingestellt

- Mit der Maus wird die Lage des Detektors genau in das Maximum gestellt.
- Die Breite dieses Maximums kann durch Bewegen der beiden „Marken“ mit der Maus bestimmt werden.

Die Messergebnisse sind als Wellenzahl  $wz$  angegeben, weil der in der UBR auftretende Impuls der Gleichung  $p = \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{1}{\lambda} = wz$  genügt. Die abgelesenen Wertepaare werden notiert und in einer Tabelle weiter verarbeitet.

Man erhält dies Ergebnis:



In blauer Farbe ist der mit dem Modell erarbeitete Graph dargestellt. In roter Farbe sieht man die von der UBR in der Form vorgegebene Grenze.

Aus der Beziehung  $\sigma(p) \cdot \sigma(x) \geq \frac{h}{4\pi}$  wird bei Betrachten der im Modell messbaren

Größen die im Graphen benutzte Form  $\sigma\left(\frac{1}{\lambda}\right) \cdot \sigma(x) \geq \frac{1}{4\pi}$ .