

UNSCHÄRFERELATION

nach
Heisenberg

Der Begriff *Unschärferelation*, auch Unbestimmtheitsrelation genannt, stammt von dem berühmten deutschen Physiker Werner Heisenberg (1901 – 1976) und bezieht sich auf Phänomene der Quantenmechanik. Vereinfacht ausgedrückt besagt er: Zwei Eigenschaften eines Quantenobjekts (Elektron), wie beispielsweise Ort und Geschwindigkeit – genauer gesagt *Impuls*, dem Produkt aus Geschwindigkeit und Masse – lassen sich nie zeitgleich exakt messen und bestimmen. Je genauer wir den Ort des Elektrons kennen (durch Messung), umso weniger können wir etwas über die Geschwindigkeit aussagen und umgekehrt. Dabei resultiert die Art der Unschärfe nicht, wie man durchaus vermuten könnte, aus Messungenauigkeiten oder Messfehlern. Sie stellt viel mehr eine unausweichliche Konsequenz der mathematischen Strukturen der Quantenphysik dar. In der klassischen Physik, der Welt des Makrokosmos, ist das anders. Hier kann man zum Beispiel die Bahn der Planeten objektiv verfolgen und bis weit in die Zukunft hinein präzise vorausberechnen. Im Kleinsten allerdings, in der Welt der Atome und Elementarteilchen, ist die Wirklichkeit nicht aus Dingen gemacht. Getreu dem Motto von Hans-Peter Dürr (1929 – 2014), einem Schüler von Werner Heisenberg und dessen Nachfolger als Direktor des Max-Planck-Instituts für Physik und Astrophysik in München: Materie ist nicht aus Materie zusammengesetzt! Heisenberg konstatiert: Von einer Elektronenbahn (Kreis- oder Ellipsenbahn) um den Atomkern herum kann man gar nicht sprechen. Die Wirklichkeit zeigt sich demnach als ein Meer von Möglichkeiten mit berechenbaren Wahrscheinlichkeiten für ihre Realisierung. Er spricht in dem Zusammenhang auch – und das finde ich in Anbetracht seiner exponierten Stellung als Vertreter der „harten“ Wissenschaften erstaunlich – von einer so genannten „Wahrscheinlichkeitswolke“.

Fazit: Ein quantenphysikalisches Objekt befindet sich also nicht eindeutig in diesem oder jenem Zustand (siehe Wellen-Teilchen-Dualismus), sondern die Beobachtung, sprich der Messvorgang, d.h. die Frage, die **wir** stellen, entscheidet, welche Antwort wir über den Zustand des Objekts bekommen. Es scheint offenbar so zu sein, dass Elementarteilchen mehrere noch nicht realisierte Eigenschafts-Möglichkeiten aufweisen und erst die Messung entscheidet darüber, was wir beobachten werden. Potenzialität wird durch Beobachtung in die sichtbare Realität übergeführt.

Das mit der Beobachtung ist allerdings so eine Sache! Inwiefern? Wenn wir ein Elektron beobachten wollen, wie es sich beispielsweise um den Atomkern bewegt, brauchen wir, laienhaft ausgedrückt, ein äußerst empfindliches Mikroskop (ich bin mir nicht sicher, ob es ein solches gibt). Die Wellenlänge des Lichts muss dabei kleiner sein als die Größe des zu beobachtenden Elektrons. Das wiederum hat einen gravierenden Nachteil. Je kleiner nämlich die Wellenlänge eines Lichtquants, desto höher die Frequenz (Energie). Dieser Sachverhalt entspricht dem Gesetz der Optik. Beobachtung heißt in dem vorliegenden Fall: Licht mit *sehr hoher Energie* trifft auf das Elektron und schubst es im Moment der „Kollision“ quasi aus der vorgegebenen Bahn, so dass wir gar nicht sagen können, wo es sich gerade befindet. Und dieses Tatbestand bedeutet im Grunde genommen: Veränderung der Wirklichkeit durch Beobachtung!

Unschärferelation

$$\Delta p \cdot \Delta q \sim h$$

1) $\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2}$	2) $\lambda = \frac{h}{p}$
4) $p \cdot \sin \alpha \leq \Delta p$	3) $\Delta x \cdot \sin \alpha \leq \lambda$
6) $\Delta x \Delta p \geq h$	5) $\frac{h}{p \Delta x} \leq \sin \alpha \leq \frac{\Delta p}{p}$
	7) $\sigma_p \Delta x \geq \pi \hbar$

ohne Kommentar