

Der physikalische Kraftbegriff und seine Problematik

Der physikalische Kraftbegriff ist in der klassischen Physik zentral, doch bei genauerer Betrachtung ergeben sich konzeptionelle Schwierigkeiten. In der modernen Physik existieren vier Grundkräfte, wobei die Gravitation eine Sonderstellung einnimmt, da sie sich einer Vereinheitlichung mit den anderen Kräften entzieht, und sie ihre Entstehung im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie ursächlich einer raumzeitlichen „Geometrie“ verdankt. Zudem wird in der Quantenfeldtheorie Kraft nicht als direkte Ursache (einer Wirkung) beschrieben, sondern als Wechselwirkung durch den Austausch von Bosonen. Der Begriff der Kraft spielt eine große Rolle auch im Rahmen der physikalischen Feldtheorien, aber weder der Kraftbegriff noch der Feldbegriff sind im Kontext der Feldtheorien epistemisch klar verstandene physikalische Kategorien. Dies führt zur Frage, ob Kraft tatsächlich eine fundamentale physikalische Entität ist, oder ob es eine tiefgreifendere Deutung des Phänomens „Kraft“ gibt, mit der die physikalische Kraft als emergentes Phänomen beschrieben werden kann.

Der Vorrang des Begriffs der physikalischen Wirkung

Der semantische Gehalt des Wirkungsbegriffs ist – für sich genommen (außerhalb eines Kontextes) - ebenfalls nicht klar: er beschreibt sowohl das Ergebnis einer Ursache, als auch in Verbindung mit dem Kraftbegriff die Ursache selbst (als Kraftwirkung). Die Physik verwendet den Begriff der Wirkung im Hamiltonschen Prinzip (auch Prinzip der „kleinsten Wirkung“ genannt), vor allem jedoch in der Quantenmechanik im Begriff des Planck´schen Wirkungsquantums. Interessanterweise zeigt das Hamiltonsche Prinzip, dass Bewegungsgleichungen auf allen Größenskalen auch *ohne* explizite Kenntnis der wirkenden Kräfte allein aus Energiebetrachtungen abgeleitet werden können. Zudem ist in der relativistischen Mechanik die Wirkung in Form des Wirkungsdifferential $dS = E \cdot dt - P \cdot dx$ invariant unter Bezugssystemwechsel (Lorentz-invariant). Die Kraft als zeitliche Ableitung des Impulses ist dagegen nicht invariant. Auch in der Quantenmechanik ist die Wirkung eine zentrale Größe, da die Phase der sogenannten Wellenfunktion ψ mit der Wirkung S zusammenhängt: $\psi \sim e^{iS/\hbar}$, wobei die metaphysische⁽¹⁾ Bedeutung von S allerdings im Dunkeln bleibt. Da die Wirkung S eine Lorentz-invariante Größe ist, ist dadurch gesichert, dass auch die Quantenmechanik relativistisch korrekt formuliert werden kann. Auch die Pfadintegralformulierung der Quantenmechanik umgeht den Kraftbegriff konsequent. Dies deutet darauf hin, dass die fundamentale Struktur der physikalischen Welt eher mit dem Begriff der „Wirkung“ als mit dem der „Kraft“ beschrieben werden kann.

Wechselwirkung als Austausch von Wirkungsquanten

Ein neuer Ansatz zur Beschreibung von Kräften und Wechselwirkungen ist die Interpretation der Kraftwirkung als Austausch von diskreten Wirkungsquanten (Drehimpulsen). Bereits in der klassischen Mechanik kann jedem bewegten Objekt ein Drehimpuls zugeordnet werden, sofern der zum Drehimpuls gehörende Drehpunkt nicht auf der Bahn liegt. Die Übertragung eines Drehimpulses L von einem Gegenstand auf einen anderen entlang einer Raum- und Zeitstrecke x und t entspricht formal einer Kraftwirkung $F = L/(x \cdot t)$.

Eine neue Interpretation quantenmechanischer Grundgleichungen

Die fundamentalen Gleichungen der Quantenphysik $E = h/T$ und $P = h/\lambda$ ⁽²⁾ lassen sich aus dieser Perspektive heraus neu interpretieren. Diese Gleichungen können wie folgt umgeschrieben werden:

$$E = n \cdot h / n \cdot T = n \cdot h / t, \quad n \cdot h \text{ ist der auf der Zeitstrecke } t = n \cdot T \text{ übertragene Drehimpuls } n \cdot h$$

$$P = n' \cdot h / n' \cdot \lambda = n' \cdot h / x, \quad n' \cdot h \text{ ist der auf der Raumstrecke } n' \cdot \lambda \text{ übertragene Drehimpuls } n' \cdot h$$

mit h als Planck'sches Wirkungsquantum, und n und n' als Anzahl der bei einer Wechselwirkung zweier Gegenstände austauschbaren Wirkungsquanten $n \cdot h$ und $n' \cdot h$ längs der durchlaufenen Zeit- bzw. Raumstrecke t und x (n sind ganze Zahlen 1,2,3 ...). Es gilt dann: eine Kraft F ergibt sich formal aus der sequenziellen Übertragung diskreter Wirkungsquanten $n \cdot h$ und $n' \cdot h$. Kräfte oder Wechselwirkungen sind das Resultat diskreter Abfolgen solcher Übertragungen. Auch Energie und Impuls lassen sich neu deuten: Der Impuls $P = n' \cdot h / x$ eines Gegenstandes ist ein Maß für die übertragbare Wirkung $n' \cdot h$ längs der durchlaufenen Wegstrecke x , und die Energie $E = n \cdot h / t$ ist ein Maß für die übertragbare Wirkung $n \cdot h$ in der zum Durchlaufen von x benötigten Zeitspanne t . Kraftausübung heißt: die Anzahl der pro Zeit- und Raumstrecke übertragbaren Wirkungsquanten ändert sich längs der jeweils durchlaufenen Raum- und Zeitstrecken. Im Fall, dass keine Kraft ausgeübt wird, ändert sich die Zahl der übertragbaren Wirkungsquanten nicht⁽³⁾.

Mit „Übertragung“ ist hier und im Folgenden gemeint, dass sich die Drehimpulse der beiden Gegenstände bei ihrer wechselseitigen Einwirkung aufeinander gegenläufig und synchron um den gleichen Betrag ändern.

Anschaulich gesprochen ist Kraftwirkung dann nicht anderes als eine Interaktion, bei der sich die „Potenz“ eines Gegenstandes zu einer Wirkungsübertragung $n \cdot h$ beim Durchlaufen der Strecken x und t ändert. Diese Interpretation entspricht den üblichen physikalischen Vorstellungen, nämlich dass man Kraftwirkung auf zwei Weisen beschreiben kann: einmal als zeitliche Änderung des Impulses $dP/dt = (h/x) \cdot dn'/dt$, was gleichbedeutend ist mit der zeitlichen Änderung der Zahl der Wirkungsquanten, die längs der *Raumstrecke* x übertragbar sind, und einmal als örtliche Änderung der Energie $dE/dx = (h/t) \cdot (dn/dx)$, was gleichbedeutend ist mit einer örtlichen Änderung der Zahl der übertragbaren Wirkungsquanten längs der *Zeitstrecke* t . Kraftwirkung und Beschleunigung beruhen demnach auf einer asynchronen Übertragung von Wirkungsquanten längs x und t .

Mit einer Impulsmessung bestimmt man der Zahl der auf ein Messgerät übertragenen Wirkungsquanten längs einer *Raumstrecke*. Da die Wirkungsquanten-Übertragung nicht an einem Ort, sondern längs einer Strecke stattfindet, ist der „Ort“ dieser Wirkungsübertragung nicht definiert. Daher gibt es auch keinen gemessenen Impuls an einem definierten Ort. Genauso wenig ist es möglich, die Energie eines Gegenstandes durch Messung der Zahl der übertragenen Wirkungsquanten zu einem bestimmten Zeitpunkt zu bestimmen. Die Übertragung findet längs einer Zeitstrecke statt (dauert eine Zeit lang), ein definierter Zeitpunkt für diese Übertragung existiert nicht. Die Inkommensurabilität von Impuls und Ort und Energie und Zeit ist nur eine von vielen Folgen dieser sequentiellen Übertragung von Wirkung - es gibt weitere tiefgreifende Konsequenzen, die noch besprochen werden müssen.

Im Fall $E/P = c$ mit $c =$ Lichtgeschwindigkeit ist gemäß meiner Interpretation $E/p = (n \cdot h / n \cdot T) / (n' \cdot h / n' \cdot \lambda) = (n / n') \cdot (\lambda / T) = c$. Wegen $\lambda/T = c$ folgt unmittelbar, dass $n/n' = 1$. Das bedeutet: falls sich ein Gegenstand mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, ist die Zahl der längs der Zeitstrecke t übertragbaren Wirkungsquanten genauso groß, wie die Zahl der übertragbaren

Wirkungsportionen längs der Raumstrecke x , dies über den gesamten Streckenverlauf hinweg. Dies erklärt, warum sich Photonen immer mit Lichtgeschwindigkeit bewegen – sie erfahren keine asymmetrische Übertragung von Wirkungsportionen, die auf sie wirkende Kraft ist immer $F=0$, sie erfahren keine Beschleunigung.

Wenn dagegen $n \neq n'$, existiert auch das Wirkungsdifferential $dS = E \cdot dt - P \cdot dx > 0$ - es existiert eine Asymmetrie in der sequenziellen Übertragung der Wirkungsportionen, und dieses „Ungleichgewicht“ „erzeugt“ eine Kraftwirkung. Der Term $L = -dS/dt$ stellt dann die Lagrange-Funktion für eine (klassische) Bewegung dar, und diese lässt sich nach meiner Interpretation von E und P auch in der Form $L = -dS/dt = d(n \cdot h - n' \cdot h)/dt$ darstellen. Die Bewegungsgleichungen lassen sich dann aus der Überlegung gewinnen, dass sich im Verlauf der Bewegung der Unterschied zwischen den längs x und t übertragbaren Mengen an Wirkungsportionen möglichst wenig ändert, die Asymmetrie der Übertragung längs x und t also möglichst klein bleibt.

Mit all diesen Überlegungen könnte sich das Phänomen „Kraft“ als makroskopische Beschreibung eines tieferliegenden quantisierten Prozesses erweisen. Das bedeutet: Kräfte sind nicht fundamental (4 „Grundkräfte“), sondern resultieren aus einer unterschiedlichen Menge an sukzessiv übertragenen Wirkungsquanten längs der vom Gegenstand durchlaufenen Weg- und Zeitstrecken. Diese Sichtweise ist neu: Statt den unscharfen Begriff „Kraft“ als fundamentale physikalische Entität zu betrachten, könnte das Kraftkonzept der Physik besser mit einem quantisierten Modell der Wirkungsübertragung beschrieben werden. Dies könnte dann tiefgreifende Konsequenzen für unser Verständnis von Trägheit und Gravitation haben, die fundamentalen physikalischen Wechselwirkungen in neuem Licht erscheinen lassen, und möglicherweise auch einige bisher unbeachtete Aspekte der raumzeitlichen Struktur der physikalischen Welt erhellen (s. spätere Abschnitte).

Möglichkeiten einer experimentellen Überprüfung des neuen Kraftmodells

Eine weitergehende mathematische Fundierung und experimentelle Überprüfung müsste zeigen, ob dieser Ansatz auch mit den Aussagen der Quantenfeldtheorie und mit den Theorien der Gravitation in Einklang gebracht werden kann. Eine Möglichkeit, die vorstehende Deutung der beiden Grundgleichungen experimentell zu überprüfen, ist folgende: Dazu lässt man ein Atom, zum Beispiel ein Cäsium-Atom, im Gravitationsfeld der Erde frei fallen und prüft, ob Quanteneffekte auftreten, die die vorstehend beschriebenen Deutung der beiden Grundgleichungen bestätigen. Dazu folgende Vorüberlegungen:

Masse Cäsium-Atom:	$220,694695 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
angreif. Gravitationskraft:	$F = m \cdot g = 2164,274699 \times 10^{-27} \text{ N}$
Geschwindigkeit nach 1 sec:	$v = 9,80665 \text{ m/s}$
Impuls nach 1 sec:	$p = m \cdot v = 220,694695 \times 10^{-27} \cdot 9,80665 = 2164,27563 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
Kinet. Energie nach 1 sec:	$E = 1/2 \cdot m v^2 = 220,694695 \times 10^{-27} \cdot (9,80665)^2 = 10612,14682 \cdot 10^{-27} \text{ J}$
Quantenanzahl pro sec:	$n/t = E/h = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ Quanten pro sec}$
Quantenzahl pro m:	$n/t = P/h = 3,3 \cdot 10^9 \text{ Quanten pro m}$