

Theoretische Physik als mathematisches Modell der Natur

Naturwissenschaften im Allgemeinen und der theoretischen Physik im speziellen haftet ein Schleier des Mystischen an. Bekannte Persönlichkeiten und populärwissenschaftliche Literatur beschäftigen sich häufig mit spektakulären Themen, wie zum Beispiel der Astrophysik oder der Elementarteilchenphysik. Quantenmechanik und Relativitätstheorie werden immer noch als etwas Neues, Ungewöhnliches verkauft, obwohl auch sie schon ein Jahrhundert auf dem Buckel haben und in der Praxis bewährt sind. Hier soll aus der Sicht eines „Insiders“ ein kurzer Einblick in das Gebiet der theoretischen Physik gegeben werden. Der Focus liegt auf der klassischen Physik, die um 1900 abgeschlossen war, aber nach wie vor für eine große Zahl aktueller Probleme das Werkzeug der Wahl ist.

Fast alle theoretischen Physiker beschäftigen sich nicht mit der Entwicklung grundlegender neuer Theorien, sondern mit der Erstellung von Modellen auf Basis der etablierten Theorien. Überraschenderweise spielt die theoretische Physik gerade bei Experimenten eine wichtige Rolle. Einerseits kann vor dem Aufbau eines Experimentes schon abgeschätzt werden, wie der optimale Aufbau, der Parameterbereich, die Position der Sensoren, etc. gewählt werden sollen. Auf der anderen Seite ist eine möglichst effektive Datenauswertung im Sinne des Erkenntnisgewinns notwendig. Für beides sind Modelle und Simulationen auf einer soliden theoretischen Basis unumgänglich.

Vieles in der klassischen Physik dreht sich um zwei grundlegende Konzepte: Das Teilchen und das Feld. Diese sind als Modelle zu verstehen, die nur als idealisierter mathematischer Grenzfall real existieren und Berechnungen möglich machen. Für einen weiten Parameterbereich, der von Bedingungen unserer täglichen Erfahrung (Geschwindigkeit, Ausdehnung, Temperatur, etc.) nicht zu sehr abweicht, sind diese Begriffe zweckmäßig und folgen als Grenzfall aus den allgemeineren Theorien der Quantenmechanik und Relativitätstheorie. Aus diesem Grund lehnen auch viele Physiker das Poppersche Konzept der Falsifikation für die Mechanik ab, sondern bevorzugen ein Bild, in dem die alte Theorie in einem bestimmten Bereich als Untermenge in sehr guter Näherung gültig bleibt.

Das Teilchen ist hier (anders als in der Quantenmechanik) als punktförmiges Objekt zu verstehen, das sich auf einer bestimmten Bahn bewegt. Ein Teilchen besitzt intrinsische Eigenschaften wie Masse und Ladung. Die Zeit t ist (anders als in der Relativitätstheorie) ein Parameter der Bahnkurve, also eine bestimmte Art, zu messen, wie weit das Teilchen schon gekommen ist. Eine andere Möglichkeit, die Bahnkurve zu parametrisieren, wäre z.B. die Weglänge s . Die Gleichungen, die die Bahnen beschreiben nehmen bei Verwendung von t eine sehr einfache Form an: Die Newtonschen Bewegungsgleichungen (gewöhnliche Differentialgleichungen 2. Ordnung). Umgekehrt kann argumentiert werden, dass die Variable t , die wir Zeit nennen, durch diese Eigenschaft erst definiert wird.

Teilchen können Kräfte aufeinander ausüben, z.B. elektrische Anziehung und Abstoßung. In einem Vielteilchensystem ist es äußerst umständlich, die Wechselwirkung zwischen je 2 Teilchen einzeln anzuschreiben. Deshalb wurde von Maxwell der Begriff des Feldes eingeführt. Mit diesem Konzept wird es möglich, die potentielle Krafteinwirkung eines Teilchens an einem Ort getrennt von den restlichen Teilchen zu betrachten: Ein Feld ist im gesamten Raum ausgedehnt und ordnet jedem Ort x einen vektoriellen Wert, also eine Stärke und eine Richtung zu. Wenn sich ein anderes Teilchen am Ort x befände, würde es mit dieser Stärke (gewichtet mit seiner eigenen Ladung) in diese Richtung beschleunigt. In der Elektrostatik sagt man, ein Teilchen ist eine Punktladung oder Quelle des Feldes.

Nun zeigt es sich, dass Felder, also ortsabhängige Krafteinwirkungen, unabhängig von Quellen eine eigene Dynamik zeigen können (beschrieben durch partielle Differentialgleichungen). Das wird z.B. bei der elektromagnetischen Welle sichtbar, die sich als schwingendes Feld im Vakuum fortpflanzen kann. Damit kann die Übertragung von Radiosignalen und Licht über riesige räumliche Abstände ohne das Vorhandensein von Materie erklärt werden. Ein ähnliches Verhalten kann man für Gravitationswellen vorhersagen, die allerdings noch nicht gemessen werden konnten.

Wie kann man in der Praxis mit Feldern und Teilchen vorhersagen treffen? Auf der einen Seite existieren für viele Gleichungen analytische Lösungen für einfache Geometrien, z.B. Kugeln oder Zylinder oder weitere vereinfachende Annahmen. Diese Lösungen werden beispielsweise als Fourierreihe von Sinus- und Cosinusfunktionen bis zur gewünschten Genauigkeit entwickelt. Analytische Ansätze haben neben der oft kurzen Rechenzeit am Computer auch den Vorteil, dass die geschickte Vereinfachung auf ein einfaches Modell es erlaubt, die wesentlichen Eigenschaften eines Systems herauszuarbeiten und die unwesentlichen wegzulassen. Unendlichkeit (Größe, Feinheit, Anzahl, etc.) ist bei analytischen Ansätzen oft eine Vereinfachung, die die Lösung erst möglich macht

Komplementär dazu werden numerische Verfahren eingesetzt, die auf allgemeinere Systeme z.B. beliebiger Geometrie anwendbar sind. Diese Verfahren sind immer durch die Endlichkeit von Speicher und Rechenzeit beschränkt. Zeitschrittverfahren berechnen Teilchenpositionen daher nur zu diskreten Zeitpunkten und Feldberechnungen werden auf einzelne Punkte in einem Gitter im Raum beschränkt. Wird die Punktdichte fein genug gewählt, nähern sich die Lösungen dieser Verfahren an die exakte Lösung an. Eine geschickte Kombination aus analytischen und numerischen Verfahren ist oft für die Problemlösung optimal und eine Spezialität der theoretischen Physik.

Werden die beschriebenen Konzepte über die Physik hinaus verallgemeinert, wird auch unmittelbar ein weiter Bereich der mathematischen Modellierung abgedeckt. Zudem kann genaue Analyse und Modellbildung, wie sie in der Physik üblich sind, in vielen Bereichen nützlich sein. Aus diesem Grund eignen sich theoretische Physikerinnen und Physiker auch gut für Tätigkeiten in allgemeiner Forschung und Entwicklung, Wirtschaft und Finanzen, Systemanalyse und vielen anderen Gebieten. Dazu kenne ich viele Beispiele von meinen Studienkollegen – die wenigsten enden als Albert Einstein!

Literatur:

Roger Penrose (2006): *The road to reality: A complete guide to the laws of the universe.*

Klaus Lichtenegger (2015): *Schlüsselkonzepte zur Physik: Von den Newton-Axiomen bis zur Hawking-Strahlung.*