

PHYSIK konkret

Vom Beobachten zum Erklären: Wie Naturwissenschaften funktionieren

- In der Physik werden aus Messdaten und deren Verknüpfungen Hypothesen zur Beschreibung physikalischer Phänomene entwickelt.
- Die Qualität der Daten ist durch das Messverfahren und die Messgenauigkeiten charakterisiert.
- Durch immer genauere und weiterführende Tests werden Hypothesen verfeinert, zu Modellen weiterentwickelt und zu Theorien ausgebaut.
- Theorien oder Modelle ermöglichen belastbare Vorhersagen.
- Wissenschaft braucht Zeit und ist nie abgeschlossen.

Bei komplexen Problemen wie beispielsweise der Corona-Pandemie gab es immer wieder widersprüchliche Einschätzungen von Expertinnen und Experten. Obwohl die Naturwissenschaften objektiv und faktenbasiert sind, ist dieser Eindruck durch ihre Vorgehensweise selbst bedingt, denn sie stützen sich auf Daten und Modelle: Nur Daten in ausreichender Menge und Qualität, die unter kontrollierten Bedingungen gewonnen wurden, erlauben zusammen mit fundierten, getesteten Modellen verlässliche Vorhersagen. Ein Beispiel ist die Quantenelektrodynamik, deren enorm präzise Vorhersagen durch Experimente bestätigt wurden.

Wie kommt nun die Wissenschaft zu solch genauen Vorhersagen? Der Erkenntnisprozess der Naturwissenschaft beginnt zumeist mit Beobachtungen und Experimenten. Phänomene¹, für die die Fallbewegung im Gravitationsfeld oder Ströme in Schaltkreisen einfache Beispiele sind, werden vermessen, wobei verschiedene Bedingungen (z. B. Masse oder elektrischer Widerstand) systematisch variiert werden. Erst wenn die Messergebnisse reproduzierbar sind, können sie als gesicherte Fakten angesehen werden. Auf der Grundlage gesicherter Fakten beginnt ein Kreislauf: Hypothesen² werden entwickelt, daraus Vorhersagen abgeleitet, die wiederum experimentell überprüft werden. Mit neu gewonnenen Daten werden die Hypothesen bestätigt

oder angepasst, bis sie zu Modellen³ reifen. Wenn diese Modelle im Einklang mit grundlegenden Prinzipien wie Kausalität, Konsistenz und Vollständigkeit stehen, entstehen Theorien. Dieser vielfach durchlaufene Zyklus erfordert oft Jahrzehnte, wie beispielsweise bei der Relativitätstheorie oder der Quantenmechanik.

Während der Corona-Pandemie war es schwierig, ihren weiteren Verlauf vorherzusagen, weil die Daten zunächst unzureichend und die Ansteckungswege noch nicht vollständig bekannt waren. Diese unvollständige Datenlage erlaubte nur eine unsichere Modellierung, sodass verschiedene Modelle auf der Basis derselben Daten teilweise zu unterschiedlichen Vorhersagen kamen. Dies zeigt, wie wichtig es ist, die Qualität und den Umfang der verwendeten Daten sowie die Annahmen der Modelle klar zu benennen.

Der in diesem Zusammenhang oft verwendete Begriff „Fehlerrechnung“ ist missverständlich, denn er weist nicht auf vermeidbare Fehler hin, sondern benennt eine Methode, die unvermeidlichen Unsicherheiten in Daten und Modellen zu quantifizieren. Ein Messwert ohne Angabe seiner Unsicherheit ist unvollständig. Wissenschaft stützt sich auf die besten jeweils verfügbaren Daten. Nur solche Modelle, die mit diesen Daten im Rahmen ihrer Unsicherheit übereinstimmen, bleiben bestehen. Es ist entscheidend, auch die Messmethoden anzugeben, damit Ergebnisse korrekt interpretiert und verglichen werden können.

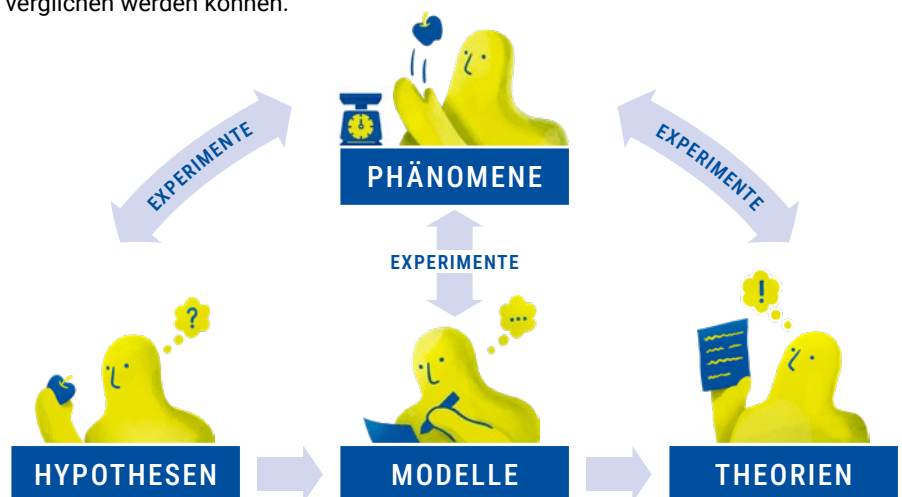
„Physik ist nie widersprüchlich. Aber unzureichende Daten oder vorläufige Modellierungen können zu scheinbar unterschiedlichen Aussagen führen. Es ist daher notwendig, die Qualität der Datenbasis und Modellierung anzugeben.“



Klaus Richter
Vizepräsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.

Natürlich können die Medien nicht immer alle Details der wissenschaftlichen Methode kommunizieren. Dennoch sollten sie klarstellen, dass wissenschaftliche Ergebnisse immer von der Menge und Qualität der Daten abhängen und daher vorläufig sein können. Nicht die Naturwissenschaft selbst ist widersprüchlich, aber vorläufig widersprüchliche Ergebnisse und Modellanpassungen sind Teil des wissenschaftlichen Fortschritts.

Wissenschaft ist ein kontinuierlicher Prozess, der nie abgeschlossen ist. Sie strebt nach immer genaueren Messungen und sucht nach tiefer liegenden Erklärungen. In der Physik wird beispielsweise um die Grundlagen und das Verständnis der Quantenphysik gerungen und es wird intensiv erforscht, woraus Dunkle Materie und Dunkle Energie bestehen könnten. Auch die Vereinheitlichung von Gravitation und Quantenmechanik bleibt ein ungelöstes Problem, das die zukünftige Forschung vorantreiben wird.



➤ Hypothesen werden zu Modellen weiterentwickelt und münden schließlich in abgeschlossene und in sich konsistente Theorien. Auf jeder Stufe der Beschreibung der Natur werden alle Aussagen experimentell getestet.

Fußnoten

- ¹ Mit Phänomenen sind hier abgrenzbare Naturerscheinungen gemeint, die durch Messungen quantifizierbar sind.
- ² Wenn z. B. mit einer Gravitationswaage die von einer Masse auf eine andere Masse ausgeübte Gravitationskraft gemessen wird, erkennt man leicht, dass diese umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes abnimmt. Man stellt dann die Hypothese auf, dass dies generell gilt und testet diese Hypothese dann z. B. am Erde-Mond-System oder an den Planeten, die die Sonne in unterschiedlichen Abständen umkreisen. Bei immer genaueren Beobachtungen erkannte man, dass die Bahn des Merkurs nicht im Rahmen dieser Hypothese erklärt werden kann. Dazu musste man auf eine modifizierte Vorstellung von Raum und Zeit zurückgreifen, die durch die Allgemeine Relativitätstheorie bereitgestellt wird.
- ³ Modelle sind vereinfachte Realisierungen von Theorien oder elaborierten Regeln, die aber noch keine Theorien sind. Ein Beispiel ist das Bohrsche Atommodell, das als rudimentärer Vorläufer der Quantenmechanik auf Ad-hoc-Annahmen beruht. Ein Modell kann auch eine gewisse Anzahl von bestätigten Hypothesen umfassen, die einen bestimmten Anwendungsbereich abdecken, aber zusammen noch keine abgeschlossene und konsistente Theorie bilden.

Die DPG dankt ihren Autoren:

- **Claus Lämmerzahl**
DPG Vorstandsmitglied Öffentlichkeitsarbeit, Universität Bremen
- **Matthias Bartelmann**
Universität Heidelberg

Über uns



Die **Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG)**, deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste und, gemessen an der Zahl ihrer Mitglieder, auch die größte nationale physikalische Fachgesellschaft der Welt. Sie versteht sich als offenes Forum für Physiker:innen und möchte der Physik eine Stimme geben. Als gemeinnütziger Verein verfolgt sie keine wirtschaftlichen Interessen. Abiturient:innen, Studierende und Lehrkräfte sind in der DPG ebenso vertreten wie Lehrende und Forschende aus der Universität und Fachkräfte aus der Industrie.

Weltberühmte Wissenschaftler waren Präsidenten der DPG – so Max Planck und Albert Einstein. Mit Tagungen und wissenschaftlichen Publikationen fördert die DPG den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Physikalische Spitzenleistungen würdigt sie mit Preisen von internationaler Reputation. Die DPG motiviert mit Physikwettbewerben den naturwissenschaftlichen Nachwuchs und zeichnet – für herausragende Physikleistungen im Abitur – bundesweit

Schülerinnen und Schüler aus. Sie engagiert sich auch in politischen Diskussionen: Themen wie Bildung, Forschung und Klimaschutz stehen dabei im Mittelpunkt.

Sitz der DPG ist das Physikzentrum Bad Honnef, welches auch Tagungsstätte der DPG und Treffpunkt für Wissenschaftler:innen aus aller Welt ist. In Berlin unterhält die DPG ihre Hauptstadtrepräsentanz zur Vernetzung mit Akteur:innen aus Politik und Gesellschaft. Für alle Interessierten finden dort regelmäßig wissenschaftliche Gesprächsrunden und Vorträge statt.

Die DPG macht Physik öffentlich: Mit populärwissenschaftlichen Publikationen und öffentlichen Veranstaltungen beteiligt sie sich aktiv am Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit, anlassbezogen auch gemeinsam mit anderen Wissenschaftsorganisationen. Zentrales Anliegen ist es, allen Neugierigen einen Zugang zur Physik zu schaffen.

