# Zur Rolle der Mathematik in der Physik

Mathias Hüfner 2026

**Zusammenfassung**

Der Aufsatz untersucht die epistemologische Rolle mathematischer Begriffe in der Physik und argumentiert, dass zentrale theoretische Konstruktionen – insbesondere Raumzeit, Masse und Energie – historisch aus impliziten Definitionen hervorgegangen sind, die nicht ausreichend an die physikalische Realität rückgebunden wurden. Er zeigt, dass monokausale, lineare Modelle und hochdimensionale mathematische Räume die komplexen, multikausalen Wechselwirkungen natürlicher Systeme nur unzureichend erfassen. Stattdessen plädiert der Text für eine stärkere Orientierung an lokalen, kausalen Interaktionsregeln, wie sie in zellulären Automaten, der statistischen Versuchsplanung und den ursprünglichen Differentialformulierung der Maxwellschen Gleichungen sichtbar werden. Die moderne Physik müsse daher ihre mathematischen Werkzeuge kritisch prüfen, die Abhängigkeit von abstrakten Modellen reduzieren und die strukturelle sowie dynamische Realität materieller Prozesse wieder ins Zentrum ihrer Theorieentwicklung stellen.

## Einführung

Die Physik entwickelte sich von den philosophischen Überlegungen über die Natur in der Antike zur Naturwissenschaft in der Zeit der Aufklärung, geprägt durch experimentelle Methoden und klassische Theorien, die zur Grundlage der industrielle Revolution wurden, in der wir die Natur mit technischen Mitteln mehr schlecht als recht nachempfunden und damit den Planeten umgestaltet haben. Dabei wurden die Ressourcen der Natur nach dem Bibelspruch **„**Macht euch die Erde untertan**“** über Gebühr ausgebeutet. Die Folgen spüren wir heute im Klimawandel. Kreislaufwirtschaft, wie sie die Natur vormacht, wurde dabei nicht berücksichtigt. Alle Modelle wurden stets linear gedacht. Lineare Zusammenhänge wurden als Naturkonstante identifiziert. Lineare Bewegungen werden als kraftfrei bezeichnet, obwohl es sich bei kraftfreien Bewegungen um Rotationen im Schwerefeld handelt. Energie wird noch heutzutage nur mittels translatorischer Geschwindigkeit formuliert und die Rotation wird, wenn sie überhaupt berücksichtigt wird, als Nebenbedingung disqualifiziert.[1]

Der zentrale Begriff des philosophischen Materialismus war das Atom seit Leukipp und Demokrit. Die moderne Atomphysik an der Schwelle zum 20. Jahrhundert vollzog mit der modernen Quanten- und Relativitätstheorie einen Bruch mit den klassischen physikalischen Theorien, nicht jedoch um sich auf natürliche Kreisläufe zu besinnen, sondern indem sie Raum und Zeit neu erfand und die Kausalität abgelehnte. Letztere Theorien entstanden unter dem Einfluss der Alt-und Neutestamentarischen Religionen und fanden ihren Höhepunkt in dem Narrativ des Standard-modells der Physik mit einem absoluten Ursprung in einer Explosion, das den Beginn der Schöpfungsgeschichte mit dem Befehl Gottes ‚Es werde Licht!‘ ersetzte. Werner Heisenberg formulierte es so:

> *»Man kann sagen, dass die moderne Atomphysik die Naturwissenschaft von der materialistischen Richtung weggedrängt hat, die sie im 19. Jahrhundert angenommen hatte.«*[2]

1 K. Gebler – *Die übersehene Rotation;* Verlag BoD Hamburg 2026 ISBN 978-3-6963-9805-7

2 W. Heisenberg – Physik und Philosophie; Hirzel-Verlag Stuttgart 9.Auflage, ISBN 978-3-7776-2153-1; S.87

Dieses Modell ist zu einer Quantenfeldtheorie ausgebaut worden, die sowohl die Quantenmechanik als auch die spezielle Relativitätstheorie integriert, zwei sich widersprechende Betrachtungsweisen. Abgesehen von einigen ungeklärten Fragen, die ausgerechnet die Natur, also die Eigenschaften der Materie, betreffen, handelt es sich um ein mathematisches Modell, das angeblich getestet wurde.[3] Die Frage ist nur: Woran ist es getestet worden und wer konnte bezeugen, dass dieses epistemologische Modell die Realität der Natur im ausreichenden Maße widerspiegelt?

## Begriffe in Mathematik und Physik

Schon René Descartes teilte die Welt im 17. Jahrhundert in Geist und Materie. Dabei war ihm klar, dass er nur über den menschlichen Geist etwas sagen konnte, denn der göttliche Geist war ihm wie jedem gesunden Menschen verschlossen. Die Mathematik ist ein Produkt des menschlichen Geistes und die Physik soll die Natur beschreiben. Die Physik beschäftigt sich weder mit den strukturellen noch mit den stofflichen Eigenschaften der Natur, sondern mit den in ihr ablaufenden Bewegungen. Dazu werden Objekte zu abstrakten Massenpunkten. Obwohl Masse ein quantitativer Begriff ist, wird er durch diese Abstraktion zu einer Eigenschaft umgedeutet. Folglich sind die physikalischen Begriffe der Natur Relationen zwischen realen Objekten und ihrer geistigen Abstraktion.

Die Mathematik als eine Geisteswissenschaft beruht auf zweiwertiger Logik, soweit sie in Computern durch Ladungszustände realer Zellen implementiert ist, und sie zeichnet sich durch klar explizit definierte Begriffe in einer speziellen Sprache aus, der Algebra, die es ermöglicht, allgemeine Regeln, Muster und Zusammenhänge abstrakt darzustellen. Ihre Objekte sind gewöhnlich Zahlen oder Mengen abstrakter Elemente. Der Inhalt der mathematischen Aussagen selbst ist nicht Gegenstand der Mathematik. Mit anderen Worten, ein mathematischer Beweis, beweist nur, die richtige Anwendung der mathematischen Sprache, nicht die Richtigkeit ihrer Aussagen. Die kann nur an der Realität der Materie selbst verifiziert werden. Das führt zu der Erkenntnis: Was man nicht in der natürlichen Sprache ausdrücken oder anschaulich darstellen kann, wird durch eine abstrakte Algebra nicht verständlicher.

Die Begriffe der Physik beschreiben keine Objekte, sondern Relationen zwischen Objekten und Beobachter und Objekten untereinander. Albert Einstein war der erste Physiker, der auf diesen Umstand hinwies, indem er zeigte, dass ein bewegter Beobachter die Welt anders wahrnimmt als ein ruhender. Die daraus gezogenen Schlussfolgerungen waren allerdings seltsam und spektakulär, weil diese projektive Relativität des Geistes auf die Natur projiziert wurde. Das führte in der Folgezeit mit Unterstützung kirchlicher Kreise zur Abkehr der Physik von der Realität. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatte Papst Pius X mit seiner Enzyklika *Pascendi Dominici gregis*[4] zum Kampf gegen den Modernismus aufgerufen., der sich nicht nur gegen die innerkirchliche Erneuerung richtete, sondern auch gegen den Materialismus, der im Ergebnis der Aufklärung im 19. Jahrhundert entstanden war.

Moritz Schlick, ein Doktorand von Max Planck und Initiator des Wiener Kreises ab 1924, schuf wesentliche philosophische Grundlagen für die Abkehr der Physik von der Realität durch die Einführung impliziter Begriffsdefinitionen.

3 Michio Kaku: *Quantum field theory: a modern introduction*. Oxford University Press, New York, Oxford 1993, ISBN 0-19-509158-2

4 ***Das Studium der Scholastischen Philosophie*** §§46, 47 in Pascendi Dominici Gregis (September 8, 1907) Domus Ecclesiae http://www.domus-ecclesiae.de/magisterium/pascendi-dominici-gregis.teutonice.html

»*Ein mit Hilfe **impliziter Definitionen** geschaffenes Gefüge von Wahrheiten ruht nirgends auf dem Grunde der Wirklichkeit, sondern schwebt gleichsam frei, wie das Sonnensystem die Gewähr seiner Stabilität in sich selbst tragend*«[5]

Eine implizite Definition bezieht sich auf etwas, was nicht ausdrücklich gesagt worden ist, sondern nur im Zusammenhang erschließbar ist. Eine implizite Definition ist eine Art der Interpretation. Die moderne Physik zeichnet sich durch eine Vielzahl solcher impliziten Definitionen aus, verbunden mit der Mathematik erweckt das den Anschein von Exaktheit, doch wenn man die Formeln der modernen Physik liest, wie sie geschrieben wurden, stellt man fest, dass sie etwas ganz anderes sagen, als durch ihre Interpretation vermittelt werden soll. Das hat etwas damit zu tun, dass Begriffe der Mathematik explizit definiert werden.
Beispiel: Der mathematische *Raum* ist ein Tupel von unabhängigen Merkmalen. In der Physik bezieht sich das reale Volumen auf den mathematischen Raum und bildet damit eine Ordnungsrelation, ebenso wie die *Zeit* aus der zyklischen Bewegung der Erde um die Sonne als eine weitere Ordnungsrelation abgeleitet wurde.
Hermann Minkowski, der Mathematiklehrer von Einstein, missachtete den Umstand, dass die Zeit eine Relation zu einer Bewegung ist und hat sie in den Status eines unabhängigen Merkmals erhoben und damit die *Raumzeit* als einen vierdimensionalen Raum eingeführt, wobei man unter Dimension die Ausdehnung in ein Vorzugsrichtung versteht, und in einem metrischen Raum jede dieser Richtungen senkrecht auf den anderen steht, um das Kriterium ihrer Unabhängigkeit zu erfüllen. Damit ist der Begriff der *Dimension* eindeutig festgelegt.
Doch die Zeit ist kein unabhängiges Merkmal, da sie durch das Verhältnis von Weg durch Geschwindigkeit dargestellt wird. Die Raumzeit ist daher keine Verallgemeinerung des Euklidischen Raumes, sondern ist eher mit einem Prozesszustand zu umschreiben. Es wird auch nicht besser, wenn man eine Zeit einführt, die mit der Lichtgeschwindigkeit multipliziert eine Ausdehnung darstellt. Das Licht ist keine gerichtete Größe, da eine Lichtquelle aus vielen Richtungen sichtbar ist. Dann erhält man zwar eine zusätzliche Ausdehnung, die nicht senkrecht auf den drei anderen Vorzugsrichtungen steht, und dann ist Zeit nicht mehr eindeutig. Dieses Konstrukt ruht tatsächlich nirgends mehr auf dem Grunde der Wirklichkeit, um es mit Schlicks Worten auszudrücken. Aber eine Naturwissenschaft ist, anders als eine Geisteswissenschaft, der Wirklichkeit verpflichtet.

Ein anderes Beispiel ist der Begriff der *Materie*. Die Philosophie definiert *Materie* nach Descartes im Unterschied zum Bewusstsein, als alles, was außerhalb des Bewusstseins existiert. Was Bewusstsein ist, wird sehr schwammig formuliert. Es hat etwas mit dem individuellen geistigen Innenleben zu tun. Der Psychologe sagt: „Bewusstsein umfasst sowohl das Erleben der eigenen mentalen Zustände als auch das kontrollierte Handeln.“ Folglich umfasst die Materie den Bereich außerhalb der eigenen Handlungsmöglichkeit.

Der Begriff *Materie* wird oft mit dem Begriff der *Masse* gleichgesetzt.

Während Materie eine philosophische Kategorie ist, ist „Masse in Bewegung“ ein physikalisches Äquivalent zur Materie. Jedoch stellt Masse keine physikalische Eigenschaft dar, wie Vertreter der

5 M. Schlick – *Allgemeine Erkenntnislehre*; Springer-Verlag Berlin 1925 2. Aufl. *Das Wesen der Erkenntnis Die implizite Definition* S. 35

Standardtheorie der Teilchenphysik behaupten[6] [7], sondern eine quantitative Beziehung zwischen zwei verschiedenen Substanzen, von denen die eine als Vergleichsmaßstab dient. Dabei werden einige Bewegungsformen der Massen vernachlässigt und lediglich eine einzige Bewegungsform hervorgehoben: die Energie. Materie umfasst jedoch sämtliche Bewegungsformen – von Kraft über Impuls bis hin zur Energie sowohl in translatorischer und rotatorischer Ausbreitung. Materie ist die Bewegung von Substanzen in den vier Aggregatzuständen oder, genauer gesagt, die Bewegung von Ladungsträgern. Die Ursache dieser Bewegung ist der Ladungsausgleich. Ladungen sind diskret begrenzt und lassen sich daher zählen – ein Sachverhalt, der durch den Begriff „Quant" beschrieben wird. Impulse und Umläufe sind zählbar. Was in der modernen Physik jedoch tatsächlich gezählt wird, bleibt unklar, solange kein Bezug zu einer Maßeinheit besteht. Dies gilt insbesondere für dimensionslose Quantenzahlen, Wahrscheinlich-keitsdichten und Farbladungen hypothetischer Teilchen.

## Kausalität oder freier Wille

Der große Naturforscher Alexander von Humboldt stellte schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts fest, dass in der Natur alles mit allem zusammenhängt.

> *»In der grossen Verkettung von Ursachen und Wirkungen darf kein Stoff, keine Thätigkeit isolirt betrachtet werden." „Alles ist Wechselwirkung. Der Mensch beurteilt die Dinge lange nicht so sehr nach dem, was sie wirklich sind, als nach der Art, wie er sie sich denkt und sie in seinen Ideengang einpaßt.«* [8]

Doch in der Physik hat man sich bemüht, alle Erscheinungen isoliert zu betrachten, indem man monokausale Zusammenhänge als Naturgesetze heraus-präparierte und diese dann ohne Begrenzung für gültig erklärte. Damit konstruierte man einen strengen Determinismus. In der Gegenbewegung sehen wir eines der einflussreichsten Werke von Arthur Schopenhauer *„Die Welt als Wille und Vorstellung"* worin die Willensfreiheit vor den formalen Determinismus gestellt wird. Die Welt wird nicht als Widerspiegelung der Realität aufgefasst, sondern die Basis seiner Abhandlung bildet die Kritik an einer Vermengung von Ursache und Erkenntnisgrund. Schopenhauer vertritt die Auffassung, dass die Vorstellung dem Willen unterworfen ist, als auch die Individualität der Vorstellungen und Individualität an sich, Produkte eines imaginären Willens seien. Jedes Individuum besitzt demnach eine ihm eigene Vorstellung von Realität, an der die Außenwelt gemessen wird, welche Teil des Umstandes einer Subjekt-Objekt-Beziehung ist. Mit anderen Worten, in seiner Philosophie wird die Vorstellung in die Welt hineinprojiziert. Hier finden wir die Basis für Schlicks Auffassung und für die epistemologische Denkweise der Quantenmechaniker um Niels Bohr und Werner Heisenberg, die sich von der Realität zu lösen begann, indem sie mit der klassischen Physik brach. Selbst Einstein hatte seine Relativität aus Schopenhauers Symmetrie von Subjekt und Objekt abgeleitet, weshalb er die Asymmetrie von Maxwells Gleichungssystem in seinem Aufsatz von 1905 kritisierte.[9]

---

6 G. S. Guralnik, C. R. Hagen, T. W. B. Kibble: - *Global conservation laws and massless particles*. In: *Phys. Rev. Lett.* 13. Jahrgang, 1964, S. 585, :https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.13.585

7 F. Tanedo - *Helicity, Chirality, Mass, and the Higgs;* https://www.quantumdiaries.org/2011/06/19/helicity-chirality-mass-and-the-higgs/

8 https://beruhmte-zitate.de/autoren/alexander-von-humboldt/

9 A. Einstein – *Zur Elektrodynamik bewegter Körper;* Annalen der Physik 1905, Zur Elektrodynamik bewegter Körper - Einstein - 1905 - Annalen der Physik - Wiley Online Library

## Mathematik als Denkwerkzeug für die Physik

Mathematik basiert auf zweiwertiger Logik wie das Wechselspiel zwischen den elektrischen Ladungen. Deshalb ist sie als Denkwerkzeug geeignet. Galileo Galilei, fest verankert in der mittelalterlichen Tradition, war noch der Überzeugung, dass die Naturgesetze von Gottes Hand in der Sprache der Mathematik verfasst wurden und die Natur nur die Exekutive sei; er glaubte also an das, was man heute als „Intelligent Design“ bezeichnet. Daraus folgern Vertreter dieser Denkrichtung noch heute, Galilei sei davon ausgegangen, dass ein „geistiges Wesen“ der materiellen Welt vorausging und deren Gesetze schuf. Für Galilei wäre die Materie somit aus dem Bewusstsein des Mathematikers entstanden. Nur sind Hände materielle Strukturen und Sprache setzt ebenso eine materielle Struktur voraus, wie auch jedes Bild eine geordnete materielle Struktur darstellt. Mit anderen Worten, ein materielles Superwesen soll sich das alles ausgedacht haben, was die Menschheit durch Perioden der Irrtümer über viele Generationen sich mühsam erarbeitet hat. Nun, ob Galilei das wirklich so gedacht hat, oder ob Vertreter späterer Generationen das in sein Werk hinein interpretiert haben, lässt sich nicht mehr klären. Jedenfalls hält Galileis Ausspruch einer kritischen Betrachtung nicht stand, obwohl er damit gebetsmühlenartig über die Generationen von gläubigen Wissenschaftlern wiederholt zitiert wurde.

Jede Handhabung von Werkzeugen muss man lernen, denn jedes Werkzeug wurde zur Bearbeitung eines bestimmten Modells erfunden. Man betreibt eine Naturwissenschaft, um kausale Zusammenhänge einerseits global zu ergründen und sie mittels Funktionen in einem Raum darzustellen. Andererseits kann man von einem Raumpunkt aus ausgehen und dessen Umgebung erkunden, um sie durch kausale Regeln zu beschreiben.

In einer globalen Sichtweise teilen Funktionen Räume. Während der Raum durch voneinander unabhängige Merkmale dargestellt wird, hat eine Funktion mindestens ein oder mehrere voneinander abhängige Merkmale. Mit Funktionen werden also kausale Zusammenhänge abgebildet. In einem ontologischen Denkansatz können sich Ursachen mono- oder multikausal im Erkenntnisprozess widerspiegeln. Kausale Zusammenhänge sind asymmetrisch, da Ursache und Wirkung nicht vertauschbar sind. Die Verwendung des Gleichheitszeichens für Funktionen kann irreführend sein, wenn man keine Vereinbarung über die Abhängigkeiten trifft. Beispielsweise ist Energie die Folge von bewegter Masse, aber Masse als eine unbestimmte Menge entsteht nicht aus Energie. Funktionen werden für analoge Zusammenhänge benutzt.

Die Relativität der Betrachtungsweise erlaubt natürlich auch, sich ein Objekt an einem Ort zu suchen. Dann kann man von diesem lokalen Objekt ausgehen und Spielregeln finden, die eine diskrete Wechselwirkung zwischen Objekten untereinander beschreiben. Eine solche Strategie ist multikausal. Dazu muss man eine Umwelt in Form einer Matrix oder eines Tensors definieren. Jede dieser Zellen enthält einen bestimmten Zustand. Die Spielregeln werden der Reihe nach für jede Zelle über die gesamte Umwelt angewendet und die sich daraus ergebenden Strukturänderungen beobachtet.

Im analogen Fall ist ein beliebtes geistiges Werkzeug der mehrdimensionale Raum. Der mehrdimensionale Hilbertraum ist ein Raum, in dem sich Massenpunkte unabhängig voneinander geradlinig bewegen. Zur Beschreibung der Bewegung neutraler Punkte kann man einen solchen Raum benutzen. Für die Beschreibung von miteinander wechselwirkenden Ladungen ist er ungeeignet, wie alle mehrdimensionalen Räume für die Darstellung multikausaler Abhängigkeiten

ungeeignet sind. Hier entfalten partielle Differenzialgleichungssysteme ihre Vorzüge. Ein Beispiel sind die Maxwellschen Gleichungen. Trotzdem wird beharrlich an solchen ungeeigneten Konzepten zur Naturbeschreibung festgehalten, weil man sich nicht über die Eigenschaften dieser Werkzeuge im Klaren ist.

Wir müssen zur Kenntnis nehmen, dass Natur nur im euklidischen Raum erfahrbar ist und es keine versteckten Dimensionen gibt[10]. Menschen können nur monokausal denken, weil ihre Schlussweise sequentiell ist. So standen lineare Abhängigkeiten mit konstantem Anstieg für die Physik im besonderen Interesse. Daraus leitete sie ihre Naturkonstanten ab, ohne zu wissen, ob diese gefundenen Konstanten nicht doch noch von anderen Einflussgrößen abhängen. Um die Jahrhundertwende zum 20. Jahrhundert zeigte sich zum ersten Mal, dass das Konzept der monokausalen Abhängigkeit nicht mehr aufging. Beim Planckschen Strahlungsgesetz, der Interpolation zwischen einer Formel für langwellige und kurzwellige Strahlung wurde deutlich, dass das Konzept der monokausalen Abhängigkeit zur Darstellung physikalischer Zusammenhänge in der Mikrowelt versagt. Die Antwort war dann das Operieren mit Wahrscheinlichkeiten, was eine Kapitulation und einen Rückzug in Halbwissen darstellte. Ein anderer Ausweg wurde in der Mehrdimensionalität gesucht. Das erwies sich jedoch als eine Sackgasse, wie die Stringtheorie zeigte.[11]

Das Gegenteil wurde sichtbar. Schon bei Plancks Strahlungsformel war ersichtlich, dass die Strahlenintensität von wenigstens zwei Faktoren, der Wellenlänge und der Temperatur, kausal abhing. Dazu musste er noch eine dritte Größe einführen, deren Konstanz fraglich ist, weil sie implizit die Masse des schwingenden Resonators enthält. Nun muss man Planck zu Gute rechnen, dass multikausale Betrachtungsweisen bis zum Ende des 20. Jahrhunderts in der Physik unbekannt waren, obwohl die Versuchsplanung (Design of Experiments, DOE) fast seit einem Jahrhundert ein Eckpfeiler der wissenschaftlichen Forschung und der industriellen Entwicklung ist. Die sorgfältig geplanten und durchgeführten Experimente, die der effizienten Datengewinnung dienen, haben maßgeblich dazu beigetragen, unser Verständnis der Welt zu prägen und den technologischen Fortschritt voranzutreiben, nur eben nicht in der Physik, wo ein sehr konservatives Denken vorherrscht. Ausgehend von der Landwirtschaft, wo viele Einflussfaktoren das Wachstum der Pflanze beeinflussen, über die Industrie bis hin zum optimalen Design eines Versuches hat sich multikausales Denken entwickelt und sind dazu mathematische Werkzeuge geschaffen worden.[12]

## Von der Unwissenheit zur Gewissheit

Alle Erscheinungen, die sehr selten auftreten oder uns nur einmal begegnen, nennen wir zufällige Erscheinungen. Wir kennen ihre Ursachen nicht und wissen nicht, aufgrund welcher Wechselwirkung sie ausgelöst wurden. Wenn durch Zufall ein Unfall mit Personenschaden entsteht, beginnt eine Ursachenforschung. Anders in der Quantenmechanik. Dort wird der Zufall als objektiv anerkannt und unsere Unwissenheit (als Wahrscheinlichkeit bezeichnet) wird als naturgegeben angesehen. Zweifel sind dann ausgeschlossen. In diesem Sinne geht man von der Voraussetzung

10 S. Vidal - *Was ist eine verborgene Dimension? ;* https://tecnobits.com/de/was-ist-eine-versteckte-dimension/

11 L. Smolin – *Trouble with Physics:The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and what Comes Next;* Verlag Houghton Mifflin, 2006 ISBN 0618551050, 9780618551057

12 H. Bandemer u, A. Bellmann - *Statistische Versuchsplanung* Teubner-Verlag 4. Auflage 1994 ISBN 3-8154-2079-2

aus, dass es eine verborgene Ordnung oder einen letzten Grund gibt, der anerkannt werden muss. Dieser Grund erschließe sich aus den metaphysischen Überlegungen weniger Eingeweihter.

Dabei gibt es inzwischen mathematische Werkzeuge, die aus der wiederholten Reproduktion von Ereignissen unsere Unwissenheit in Gewissheit überführen können. Jeder Messwert lässt sich nur in einem bestimmten Intervall reproduzieren, weil man die Hauptursache seiner Erscheinung nicht von anderen Einflussgrößen völlig herauspräparieren kann. Der Messwert streut entsprechend einer Verteilungsfunktion. Die typischste Verteilungsfunktion ist die Normalverteilung, innerhalb derer der wahre Wert zu finden ist. Den findet man als den Mittelwert einer Gesamtheit von mindestens 100 Wiederholungsmessungen, wie Erfahrungen zeigen. Dann wird die Wahrscheinlichkeit langsam zur Gewissheit, insbesondere dann, wenn die Verteilungskurve einen schmalen Peak aufweist. Der Wert 100 bei den Wiederholungen bietet eine Gewissheit, auch in weiteren Experimenten diesen Messwert zu erhalten. Streuen die Messwerte jedoch sehr, hat das offensichtlich mehrere Gründe. Das Ereignis ist möglicherweise in seiner Komplexität multikausal bedingt.

## Multidimensionalität contra Multikausalität

Betrachtet man die Analysis, muss man feststellen, dass der Begriff Dimension mehrdeutig verwendet wird. Viele Lehrbücher unterscheiden zwischen Analysis in einer und Analysis in mehreren Dimensionen. Die „mehrdimensionale“ Analysis betrachtet Funktionen mit mehreren abhängigen kontinuierlichen Variablen. Dabei werden die Funktionen formal mit der Raumdimension verknüpft, indem eine Funktion als ein Unterraum betrachtet wird.

$$f: D \subseteq \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$$

Eine Funktion, die einen Unterraum erzeugt, ist eine Projektion, wozu ein Projektionszentrum benötigt wird. Hier ist m≠n. Eine gewöhnliche Funktion, die natürliche Prozesse beschreibt, teilt den Raum in zwei Teilräume von der gleichen Dimension, also m=n. Das ist eine Stolperstelle für die Physik. Der Raum ist eine mathematische Kategorie. Das physikalische Äquivalent der Natur ist das Volumen. Eine Relativitätstheorie stellt zwischen beiden eine Relation her. Entscheidend für das philosophische Verständnis ist dabei die Abbildungsrichtung, ob das Volumen im Geist (m=n) abgebildet wird, oder die Idee (m≠n) auf die Natur projiziert wird. Das meinte Heisenberg, als er von der Verdrängung des Materialismus in der Physik schrieb.

Der Begriff „multikausal“ beschreibt Situationen, in denen nicht eine einzelne Ursache, sondern eine Kombination verschiedener Faktoren für das Auftreten eines Ereignisses in einem Volumen verantwortlich ist  Das erste Beispiel in der Geschichte der Physik ist Plancks Strahlungsgesetz, wo dieser Umstand sichtbar wurde. Die Intensität der Strahlung wird durch Wellenlänge und Temperatur bestimmt.  Aber auch die Parameter Lichtgeschwindigkeit und Wirkungsquantum beeinflussen die Intensität in Plancks Formel. Während Planck noch annahm, eine Art Resonator sei für die Strahlung im Festkörper mit definierter atomistischer Gitterstruktur verantwortlich, wissen wir heute, dass in Abhängigkeit von der Temperatur je nach Aggregatzustand die unterschiedlichsten Atomstrukturen in Resonanz geraten können. Auch Einstein hatte darauf

bereits in einem seiner Aufsätze von 1905 hingewiesen.[13] Hierauf mit der Negierung der Kausalität zu reagieren und sich in Transzendenz und Metaphysik zu flüchten, war entweder hilflos angesichts fehlender mathematischer Werkzeuge oder die bewusste Entscheidung für ein Glaubenssystem.

Im atomaren Gefüge der verschiedenen Aggregatzustände behalten die einzelnen Variablen eine kausale Bedeutung, auch wenn sie uns auf den ersten Blick verschlossen bleibt. Um das zu verdeutlichen, betrachten wir eine relationale Datenbank. Eine solche Datenbank ist ein Tupel von vielen Merkmalen, wobei die Merkmale als diskrete Datensätze der Beobachtung abgelegt werden. Man kann die Datenbank als einen diskreten Datenraum bezeichnen. Eine Anfrage an diesen Datenraum ist eine kausale Relation zwischen den Merkmalen dieses Raumes. Diese Anfrage kann mono- oder multikausal sein und sie liefert als Ergebnis eine diskrete Anzahl von Datensätzen.

Eine solche Datenbank ist beispielsweise als Ergebnis des Sloan Digital Sky Survey-Projekts (SDSS) bei der Durchmusterung eines Drittels des Himmels entstanden.[14] Dabei wurden die Aufnahmen von 470 Millionen kosmischen Objekten in fünf Wellenlängen in zweidimensionalen Tabellen erfasst und nachfolgend die Spektren einzelner Objekte. Eine diskrete Anfrage in strukturierter Sprache (SQL) ist nicht mehrdimensional, sondern multikausal. Sie beruht auf der Idee der von Alfred Tarski[15] und Edgar F. Codd[16] 1970 entwickelten relationalen Algebra.

In der modernen Physik herrscht in ihren ganzheitlichen Modellen, wenn überhaupt, monokausales Denken vor, wobei eine Funktion in der Ebene beobachtet wird. Ist der Anstieg dieser Funktion im beobachteten Bereich konstant, wird er dann als eine Naturkonstante postuliert. Doch in der Natur sind die Einflüsse auf ein Messergebnis in der Regel vielfältig. Dem ist mit Wahrscheinlichkeitsaussagen nicht beizukommen. Das erfordert ein multikausales Denken bezogen auf eine Raumzelle und ihre Umgebung.

## Ein Ausflug in die Spieltheorie

Zu diesem Zweck hat der Mathematiker John Horton Conway 1970 ein Spiel erfunden. das auf einem zweidimensionalen zellulären Automaten basiert und eine einfache bis heute populäre Umsetzung der Automaten-Theorie bildet. Den Begriff des „Spiels“ versteht Conway dabei nicht als Gesellschafts- oder Kampfspiel, sondern als ein Geschehen, das nach festgelegten einfachen kausalen Wenn-Dann-Regeln abläuft.

Conway hat eine Spielfeld-Matrix beliebiger Größe benutzt. Jede Zelle dieser Matrix kann einen von zwei Zuständen einnehmen. Diese Zustände werden meist als *lebend* oder *tot* bezeichnet und können beliebig dargestellt werden, etwa durch Eins und Null oder unterschiedliche Farben oder durch Besetzung mit Spielsteinen auf einem realen Spielfeld.

---

13 A. Einstein – *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt;* Annalen der Physik 1905, vol. 322, Issue 6, pp.132-148 Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Über_einen_die_Erzeugung_und_Verwandlung_des_Lichtes_betreffenden_heuristischen_Gesichtspunkt.pdf

14 *The SDSS-Date Model* SDSS SkyServer DR16

15 A. Tarsk - *On the calculus of relations*. In: *The Journal of Symbolic Logic*. Band 6, Nr. 3. Association for Symbolic Logic, New York September 1941, S. 73–89,

16 Edgar F. Codd: *A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks*. In: *Communications of the ACM*. Band 13, Nr. 6. Association for Computing Machinery, New York 1970, S. 377–387

Das Spiel kann auf einem Computer simuliert werden, der die Weiterführung der Generationen sehr viel schneller vornehmen kann als ein menschlicher Spieler von Hand. Da ein reales Spielfeld immer einen Rand hat, muss das Verhalten am Rand festgelegt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, sich den Rand durch „dauertote“ Zellen belegt vorzustellen, was zu „Reflexionen“ dort anstoßender Strukturen führen kann. Eine vielleicht bessere Möglichkeit ist ein toroides Spielfeld, dessen Ränder an den jeweils gegenüberliegenden Rand angrenzen, sodass Zustandsänderungen, die beispielsweise hinter dem rechten Rand geschehen müssten, sich am linken Rand zeigen. Das Spiel läuft in Generationsschritten ab. Zunächst wird eine Anfangsgeneration von lebenden Zellen auf dem Spielfeld definiert. Aus der vorliegenden Generation (dem Gesamtbild des Spielfeldes) wird die Folgegeneration ermittelt. Der Zustand jeder einzelnen Zelle in der Folgegeneration ergibt sich dabei nach zwei einfachen kausalen Regeln aus ihrem aktuellen Zustand sowie den aktuellen Zuständen ihrer acht Nachbarzellen. Die Regel lauten:

1. Eine lebende Zelle lebt dann in der Folgegeneration, wenn sie entweder zwei oder drei lebende Nachbarn hat.

2. Eine tote Zelle lebt in der Folgegeneration dann auf, wenn sie genau drei lebende Nachbarn hat.

Daraus folgt, dass eine lebende Zelle „stirbt“ (ist in der Folgegeneration tot), wenn sie weniger als zwei (Vereinsamung) oder mehr als drei (Übervölkerung) lebende Nachbarn hat und tote Zellen können nicht zum Leben erwachen, wenn sie nicht genau drei lebende Nachbarn haben.

Wer sich einmal mit diesem Spiel beschäftigt hat, ist überrascht ob der Vielfalt der entstehenden Strukturen. Das Spiel ist in der Wahl der Anzahl und Art der Regeln offen und auch in der Definition der Nachbarschaften. Statt des ganzheitlichen Blicks auf die physikalische Szenerie hat schon Oliver Heaviside die Maxwellschen Gleichungen in eine zelluläre Betrachtungsweise mittels eines asymmetrischen Differenzialsystems überführt, was bei Einstein und einer Reihe von Zeitgenossen für Verwirrung gesorgt hat. So kann man diese Differentialgleichungen in Spielregeln übersetzen und sehen, wie sich eine elektromagnetische Welle fortpflanzt.[17] Man definiert eine Raumzelle und ihre Nachbarschaft und es gibt die Regel der *Divergenz*, die das Fortschreiten der Feldlinien von der Quelle beschreibt. Die zweite Regel ist die *Rotation*. Sie ist eine Regel, die durch Summieren der Feldvektoren in der Nachbarschaft der betrachteten Raumzelle entgegen dem Uhrzeigersinn senkrecht zu den aufsummierten Feldvektoren einen neuen Feldvektor erzeugt. Während für das elektrische Feld beide Regeln zur Anwendung kommen, gilt für das magnetische Feld die Divergenz-Regel nicht. Nun kann man diese Regeln in alle Richtungen der definierten Nachbarschaft anwenden und erhält eine Ausbreitung rotierender Strahlen, die sich kugelförmig ausbreiten.

Bereits 1999 erschien unter der Leitung von Jens Eisert ein Artikel über *Quantum Games and Quantum Strategies* in Phys. Rev. Letters.[18] Ein bemerkenswerter Befund der quantisierten Spieltheorie besteht darin, dass sich die Struktur eines Spiels fundamental verändert, sobald die zugelassenen Operationen erweitert werden. Das klassische „Gefangenendilemma“ verliert seinen

17 M. Hüfner – *Astrophysik trifft auf Ingenieurwissenschaften;* Verlag BoD Hamburg, 2020, ISBN-13: 9783752628067

18 J. Eisert, M. Wilkens u. M. Lewenstein - *Quantum Games and Quantum Strategies* https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.83. Nr 15, S.3077-3080

paradoxen Charakter, wenn die Spieler nicht mehr auf diskrete Entscheidungen beschränkt sind, sondern unitäre Operatoren auf verschränkte Zustände anwenden dürfen. Die Dynamik des Systems entsteht dann nicht aus globalen Strategieräumen, sondern aus lokalen, kausal wirksamen Operationen, deren Reihenfolge und Wechselwirkung den Ausgang des Spiels determinieren. Damit zeigt die quantisierte Spieltheorie exemplarisch, dass die Eigenschaften eines Modells nicht aus der Natur selbst folgen, sondern aus den mathematischen Werkzeugen, mit denen man sie beschreibt.

Dieser Befund ist unmittelbar auf die Physik übertragbar. Viele Paradoxa der modernen Theorie – Nichtlokalität, Wahrscheinlichkeitsdynamik, Raumzeitkrümmung – sind keine Eigenschaften der Natur, sondern Artefakte der gewählten Modellstruktur. Wird die Natur mit ungeeigneten Werkzeugen beschrieben, etwa mit hochdimensionalen Hilberträumen für ladungsbasierte Wechselwirkungen oder mit monokausalen Funktionen für multikausale Prozesse, entstehen zwangsläufig Widersprüche. Die quantisierte Spieltheorie zeigt, dass die Erweiterung des Operationsraums ein System konsistent machen kann; die Quantendynamik zeigt, dass die Rückführung auf die realen kausalen Grundoperationen – Divergenz, Rotation, Ladungsausgleich – die Physik konsistent macht.

Die Struktur eines Systems ist nicht unabhängig von den Regeln, die seine Dynamik erzeugen. In der quantisierten Spieltheorie Eiserts sind es unitäre Operatoren; in Hüfners Quantendynamik[19] sind es die lokalen Wechselwirkungen diskreter Ladungsträger. Komplexität entsteht nicht aus abstrakten Dimensionen, sondern aus einfachen, kausal wirksamen Regeln, die in einer realen Umgebung miteinander interagieren. Die quantisierte Spieltheorie liefert damit ein anschauliches Beispiel dafür, wie die Wahl des mathematischen Werkzeugs die beobachtete Realität bestimmt – und bestätigt die zentrale These der Quantendynamik, dass nur ein multikausaler, ladungsbasierter Ansatz die Natur widerspruchsfrei beschreiben kann und auch zur klassischen Elektrodynamik Maxwells anschlussfähig ist.

Das Entstehen, Erhalten und Vergehen von Strukturen basieren auf dem Zusammenwirken einfacher kausaler Regeln in einer Umwelt, die auf Nachbarschaftsbeziehungen aufgebaut ist und die stigmergisch zusammenwirkt. Hüfner verwendet hier nicht den Begriff der Selbstorganisation, denn eine Organisation wird mit einem klaren Ziel gegründet. Auf dieser Stufe des Zusammenwirkens ist noch kein Ziel zu erkennen. Aber elektrische und magnetische Kräfte und ihre Superposition als Urheber für einfache Regeln, dürften in der Lage sein, alle komplizierten Strukturen von Atomen und Molekülen bis hin zu den kosmischen Strukturen aufzubauen.

Das Zusammenwirken dieser beiden Kräfte ist der entscheidende Punkt, der in der Unabhängigkeit der Merkmale nicht gegeben ist. Monokausale Voraussagen sind dann nicht mehr möglich, weshalb man sich in der Quantenmechanik mit Wahrscheinlichkeitsaussagen beholfen hat. Das ist der Unterschied zwischen multikausal und multidimensional.

## Schlussfolgerung

Die Physik ist kein Experimentierfeld für ausgefallene neue mathematische Ideen. In der Physik kommt es auf die Wahl des richtigen mathematischen Werkzeugs zur Beschreibung der Realität an, und diese Wahl liegt allein in der Verantwortung des Physikers und nicht des Mathematikers, auch

19 M. Hüfner – *Quantendynamik, Eine Studie für Ingenieure;* Verlag BoD Hamburg,; 2026, ISBN-13: 9783695717989

wenn David Hilbert gesagt haben soll, dass Mathematik für den Physiker viel zu schwer sei. Doch ob sich dieser seiner Verantwortung in der heutigen Zeit bewusst ist, muss sich jeder selbst beantworten. Dazu gehört ein kritischer Blick auf die eigenen Ideen und ihr Abgleich mit den Grundlagen. Forschung heißt aber auch über die eigenen Bereichsgrenzen hinauszugehen und die eingefahrenen Denkschemata zu verlassen.

Wenn Mathematiker mit intelligentem Design der Welt argumentieren, handelt es sich nicht um außerweltliches Bewusstsein, sondern um Selbstreflexion von sich überschätzenden Persönlichkeiten, deren Religion sie zu Demut vor der Schöpfung auffordert, die ihren Anfang nicht in einem Urknall nahm und sicher viel länger als nur sieben Tage gedauert hat. Charles Darwin hat davon bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine Vorstellung für lebende Materie geliefert.