

ABENTEUER PHYSIK: DIE FUNDAMENTALE NEUORIENTIERUNG ZU BEGINN DES 20. JAHRHUNDERTS

Vortrag von **Matthias Brack**, Regensburg, 19. Mai 2006

(ESG-Bundestreffen: *Fundamente – Auf Sand gebaut?* Regensburg, 19. - 21. Mai 2006)

Liebe Mitchristinnen und Mitchristen!

Vor etwa hundert Jahren nahmen einige Entwicklungen der Physik ihren Anfang, die ohne Übertreibung als revolutionär bezeichnet werden können. Die Entdeckungen, die von Planck, Einstein, Bohr und Heisenberg gemacht wurden – um nur vier von vielen Namen zu nennen – erschütterten die Fundamente der damaligen Physik und veränderten in tiefgreifender Weise nicht nur das Weltverständnis, sondern auch das Selbstverständnis der Physiker.

In diesem Vortrag möchte ich Ihnen einige Aspekte jener revolutionären Ideen vorstellen. Dabei möchte ich durchaus auf einige Details der physikalischen Sachverhalte eingehen und Ihnen einige ganz einfache – und hoffentlich allen verständliche – Formeln zumuten, damit Sie auch wirklich verstehen können, worin das Revolutionäre bestand.

Ich beschränke mich auf Beispiele aus zwei Teilbereichen: 1. der speziellen Relativitätstheorie und 2. der Quantenphysik. Deren physikalische Erkenntnisse gehören heute zum Allgemeinwissen eines jeden Physikers und stehen in hunderten von Lehrbüchern. Die Physikerinnen und Physiker unter Ihnen muss ich daher um Nachsicht bitten, wenn ich Ihnen nichts oder wenig Neues erzähle. Die neuen Erkenntnisse haben aber auch die Weltanschauung und das Denken vieler anderer Menschen beeinflusst. Auf die Implikationen für Philosophie und Ethik kann ich hier nur andeutungsweise eingehen. Aber weil dies hier ein christliches Treffen ist, möchte ich in einem letzten Teil meines Vortrags auf die eher persönliche Fragestellung eingehen, wie einige dieser physikalischen Einsichten mit meinem christlichen Glauben in Beziehung stehen.

Bevor ich aber auf die physikalischen Inhalte zu sprechen komme, muss ich in einem ersten Teil kurz auf die Arbeitsweise der Physiker eingehen und darauf, was die Physik will und kann – und was sie nicht kann.

1. Was will und kann die Physik?

Physiker versuchen, gewisse Aspekte der Natur zu beschreiben. Sie beobachten die Natur und finden bestimmte Regelmäßigkeiten. Diese werden “Naturgesetze” genannt und durch mathematische Formeln ausgedrückt. Der Experimentalphysiker entwirft und verwendet Instrumente, um die Natur auszumessen und die Gültigkeit der Naturgesetze zu überprüfen. Der Theoretiker macht mathematische Berechnungen – ausgehend von Theorien oder Modellen, die im Idealfall auf unwiderlegbaren “Axiomen” beruhen – um die Konsistenz und Widerspruchsfreiheit der bekannten Naturgesetze sicherzustellen. Wenn seine Berechnungen die Experimente richtig beschreiben, versucht er, neue Gesetze herzuleiten und Phänomene vorauszusagen, die vom Experimentalphysiker wiederum überprüft werden müssen. Wenn sich zwischen Theorie und Experiment keine Widersprüche ergeben, dürfen die Naturgesetze für richtig befunden und als Fundamente für die weitere Forschung verwendet werden. Aber auch nur solange, bis sie durch neue Messresultate oder Erkenntnisse in Frage gestellt werden müssen – so, wie es zu Beginn des 20. Jahrhunderts geschah.

(Eine kurze Bemerkung am Rande: Experimentelle und theoretische Tätigkeiten können – und sollten idealerweise auch! – durchaus vom selben Physiker durchgeführt werden. Früher war dies auch öfters der Fall. Heute allerdigs sind die Theorien und die dabei verwendeten mathematischen Methoden einerseits und die experimentellen Apparate und Messverfahren

andererseits so kompliziert geworden, dass sich eine zunehmende Spezialisierung in der einen oder anderen Richtung nicht mehr vermeiden lässt.)

Eine wichtige Eigenschaft dieser Art von Wissenschaft ist, dass ihre Resultate – sowohl theoretischer wie experimenteller Art – allen zugänglich sind und von jedermann verifiziert oder widerlegt werden können. Tatsächlich wird eine Theorie oder ein Experiment erst dann als “richtig” anerkannt, wenn es von unabhängigen Forschern reproduziert worden ist – vorzugsweise an einem anderen Ort und mit anderen Methoden. Seriöse Wissenschaft sollte immer falsifizierbar sein.

Ein eher ästhetisches Prinzip der Physiker ist, dass die Form der Naturgesetze möglichst einfach und elegant aussehen sollten. Dieser Wunsch nach Vereinfachung der Formeln – ein Ökonomieprinzip – in Verbindung mit einer erhofften möglichst allgemeinen Gültigkeit der Formeln, hat wiederholt neue Entwicklungen ausgelöst. Ich werde dafür zwei Beispiele erwähnen.

Welche Aspekte der Natur kann nun die Physik beschreiben? Lassen Sie mich erst sagen, was sie **nicht** beschreiben oder erklären kann:

- Gott (seine Existenz kann weder bewiesen noch widerlegt werden!)
- Leben in irgend einer Form (damit beschäftigen sich Biologen und Mediziner)
- menschliche Gedanken und Gefühle (Sache der Psychologen und Psychiater)
- Kunst: also Musik, Malerei, Dichtung usw.

Was die Physik erfolgreich beschreiben kann – jedenfalls teilweise – sind viele Aspekte der **leblosen, materiellen Welt**:

- die Bewegung der Sterne und Planeten (so hat unsere Wissenschaft bei den Babyloniern ihren Anfang genommen)
- die Struktur von Atomen, Molekülen, kondensierter Materie (Gase, Flüssigkeiten, Festkörper – hier überschneiden sich teilweise Physik und Chemie)
- die Struktur von Atomkernen und deren Bestandteile, der sogenannten Elementarteilchen, und deren Eigenschaften
- die Struktur des Kosmos (Galaxien, schwarze Löcher, interstellare Materie)

Und was wir (fast) vollständig beschreiben können, sind unsere eigenen Erzeugnisse: Maschinen, Computer usw., kurz: unsere Technik. Allerdings: je komplexer die Technologien werden, desto größer wird die Gefahr, dass sie sich anders verhalten, als wozu sie erfunden wurden. Nicht etwa, weil sie **im Prinzip** nicht berechen- und steuerbar sind, sondern weil in sehr komplexen Systemen schon die kleinsten Fehler zu **praktisch** unkontrollierbaren Folgen führen können – was im Rahmen der Chaostheorie gezeigt werden kann. Ein tragisches Beispiel dafür ist die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl. Aus demselben Grund werden wir nie das Wetter genau voraussagen können, auch wenn es präzisen und deterministischen Gesetzen unterliegt.

Für einen Christen kann das Wort Gottes (Gen. 1:28) “Macht euch die Erde untertan” als ein Auftrag verstanden werden, die Welt zu erforschen, ihre Gesetzmäßigkeiten zu finden und diese zur Entwicklung von Technologien zu benutzen. Aber wir sollten dies mit Vorsicht tun, um ja die Schöpfung zu bewahren. Wir müssen den Missbrauch unserer Technik zum Schaden der Menschheit und der Schöpfung mit allen Mitteln verhindern. Und wir sollten uns der Tatsache bewusst sein, dass unser wissenschaftliches Verständnis immer beschränkt bleiben wird. Wir müssen die Grenzen der Gültigkeit unserer Naturgesetze ständig hinterfragen und dazu bereit sein, unser Wissen zu revidieren – so, wie es die folgenden Beispiele zeigen werden.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts herrschte in der Physik eine gewisse Euphorie: man dachte, dass man die materielle Welt so mehr oder weniger verstanden hatte. Alle bekannten Phänomene konnten auf die Newtonsche Mechanik, die Grundgesetze der Wärmelehre, sowie die Elektrizitätslehre von Maxwell zurückgeführt werden. Diese Disziplinen der sogenannten “klassischen Physik” schienen ein abgeschlossenes, widerspruchsfreies System von Naturgesetzen zu bilden, mit denen alle physikalischen Beobachtungen erklärt werden konnten. Alle Materie bestand aus unteilbaren Atomen, und in Verbindung mit dem periodischen System der Elemente konnten auch die chemischen Prozesse mit diesem physikalischen Weltbild vereint werden. Die Beschreibung komplexer Systeme konnte dabei zwar zunehmend komplizierte Rechnungen benötigen, aber man erwartete keine fundamentalen Schwierigkeiten oder grundlegend neue Einsichten. Als Max Planck seine Lehrer befragte, über welches Thema der Physik er promovieren solle, wurde ihm davon abgeraten: es gäbe in der Physik nichts Neues mehr zu entdecken. Er sei zu intelligent, um bloß noch die siebte oder achte Stelle hinter dem Komma irgend einer physikalischen Größe auszurechnen und solle sich lieber einer anderen Disziplin zuwenden!

Doch um die gleiche Zeit wurden diverse Entdeckungen gemacht, die an den Fundamenten der klassischen Physik rüttelten. Ich nenne nur kurz ein paar Beispiele; auf zwei davon will ich dann näher eingehen.

Man entdeckte das Elektron, ein winziges, elektrisch geladenes Teilchen, das im Periodensystem keinen Platz hatte. Heute wissen wir, dass der elektrische Strom aus bewegten Elektronen besteht, also aus Teilchen. Der Strom ist also nicht ein kontinuierliches “Fluidum”, wie man sich ihn in der klassischen Elektrizitätslehre vorstellte.

Man entdeckte die Radioaktivität: Atome können verschiedene Arten von Strahlen aussenden und dabei auch in andere Atome übergehen. Eine Art dieser Strahlen besteht aus Elektronen. Die Atome sind also nicht unteilbar und können sogar zerfallen!

Eine andere Entdeckung betraf das Spektrallicht der Sonne. Sie wissen, dass man das Licht der Sonne mit einem Prisma in seine einzelnen Farben zerlegen kann. Jede Farbe entspricht genau einer Wellenlänge respektive einer Frequenz des Lichts. In dem Farbspektrum, das man so erhält und das ganz ähnlich aussieht wie die Farbverteilung in einem Regenbogen, entdeckte Fraunhofer kleine Lücken, also enge schwarze Linien bei ganz bestimmten Farben, die keiner verstehen konnte. Auf diese “Spektrallinien” werde ich noch zurückkommen.

In jener Zeit wurde auch von Michelson und Morley experimentell nachgewiesen, dass das Licht eine universelle Geschwindigkeit besitzt, welche nicht von der Bewegung der Lichtquelle – etwa der Sonne – oder von der Geschwindigkeit des Beobachters auf der Erde abhängt. Wie und warum das zu Problemen führte, und wie diese durch die spezielle Relativitätstheorie von Einstein gelöst wurden, will ich nun im folgenden Abschnitt darzulegen versuchen.

2. Was ist “relativ” in der speziellen Relativitätstheorie?

Den Anlass zu der Revolution, die Einstein im Jahr 1905 auslöste, war das eingangs erwähnte Ökonomieprinzip: Einstein wollte postulieren, dass alle Naturgesetze in allen Inertialsystemen dieselbe Form haben. Jetzt muss ich Ihnen erklären, was ein **Inertialsystem** ist. Dies ist ein Raum oder ein Labor, in welchem ein Körper eine konstante gradlinige Geschwindigkeit besitzt, solange keine Kraft auf ihn wirkt. Eine Kraft kann z. B. durch einen anderen Körper, aber auch durch eine Eigendrehung des Systems verursacht werden. Das Wort “inertia” bedeutet “Trägheit”, und diese umschreibt das Bestreben eines Körpers, sich mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus zu bewegen, solange keine Kraft auf ihn ausgeübt wird.

Etwas abstrakter ausgedrückt, sprechen wir auch von einem “Bezugssystem”, oder mathematisch von einem Koordinatensystem. Aber eben von einem, das sich nicht drehen und nicht beschleunigt werden darf; sonst wirken zusätzliche Kräfte auf einen Körper, die seine Bewegung beeinflussen. Sie kennen ja die Zentrifugalkraft, die Sie zur Seite drückt, wenn Sie im Auto um

eine Kurve fahren. Oder Sie werden nach vorne gedrückt, wenn gebremst wird. - Verschiedene Inertialsysteme dürfen sich deshalb nur durch konstante, gradlinige Geschwindigkeiten voneinander unterscheiden.

Inertialsysteme stellen eine typische Idealisierung der Physiker dar und sind in der Praxis nur näherungsweise realisierbar. Aber stellen wir uns eine große horizontale Tischplatte vor, auf der wir kleine Kugeln hin und her rollen lassen können. Solange keine Reibung auftritt und der Einfluss der Erdrotation klein bleibt, stellt dieses System näherungsweise ein Inertialsystem dar, das wir unser "Labor" nennen wollen. Wenn wir einer Kugel eine Anfangsgeschwindigkeit geben, wird sie mit dieser konstanten Geschwindigkeit geradeaus weiterrollen. Wir können zwei Kugeln zusammenstoßen lassen und die mechanischen Stoßgesetze erforschen. (Diese kommen im Billiardspiel zur Anwendung - auch wenn der Spieler keine Physik gelernt hat!)

Ein anderes Inertialsystem könnte ein Zug sein, der mit konstanter gradliniger Geschwindigkeit an uns vorbeifährt und in dem ein anderer Beobachter ähnliche Experimente auf einem großen Tisch durchführt. Solange der Zug nicht bremst oder beschleunigt wird und keine Kurve durchfährt, merkt jener Beobachter nichts von seiner Geschwindigkeit und findet dasselbe Verhalten seiner Kugeln. Er wird auch dieselben Stoßgesetze zwischen mehreren Kugeln finden wie wir in unserem ruhenden Labor.

Wie sieht nun aber die Bewegung einer gradlinig rollenden Kugel im fahrenden Zug aus, wenn sie vom ruhenden Labor aus beobachtet wird? Sie ist wieder gradlinig, aber mit einer anderen Geschwindigkeit: zur Geschwindigkeit der rollenden Kugel auf dem fahrenden Tisch müssen wir diejenige des Zuges hinzuzählen.

Ich möchte dies noch an einem anderen Beispiel erklären. Nehmen wir an, dass Sie morgen Nachmittag in Regensburg über die Donau schwimmen wollen. Sie versuchen, mit konstanter Geschwindigkeit quer zum Ufer zu schwimmen. Sie können aber nicht verhindern, dass die Strömung Sie flussabwärts treiben wird. Wenn Sie die Augen schließen und die Strömung der Donau schön regelmäßig verläuft, merken Sie nichts davon. (Ich rate Ihnen ab, dieses Experiment unter der Steinernen Brücke durchzuführen: dort ist die Strömung alles andere als gleichförmig und Sie können in die berühmten Strudel geraten!) Wir können also sagen, dass Sie sich in einem bewegten Bezugssystem befinden, in welchem Sie eine konstante Bewegung quer zum Ufer durchführen.

Ein Beobachter am Ufer aber sieht von seinem ruhenden Bezugssystem aus, dass Ihre Geschwindigkeit nicht quer zum Ufer, sondern schräg dazu verläuft. Von ihm aus gesehen ist Ihre Geschwindigkeit die Summe von der konstanten Schwimmggeschwindigkeit quer zum Ufer und von der Strömungsgeschwindigkeit der Donau. Wir haben in der Schule gelernt, wie man Geschwindigkeiten addiert, indem man sie als Pfeile aneinanderreicht:

$$\vec{w} = \vec{u} + \vec{v}$$

In unserem Beispiel ist $\vec{u}$ Ihre Schwimmggeschwindigkeit, $\vec{v}$ die Strömungsgeschwindigkeit (also die Geschwindigkeit Ihres bewegten Inertialsystems), und $\vec{w}$ die Geschwindigkeit, die der Beobachter am Ufer feststellt. (Wenn die Geschwindigkeiten parallel sind, können wir die Pfeile weglassen und einfach schreiben: $w = u + v$.)

Der Übergang zwischen zwei Inertialsystemen wird mathematisch durch die sogenannte **Galilei-Transformation** beschrieben:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t$$

Hier ist $\vec{v}$ die konstante Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Systemen, d. h. die Geschwindigkeit des bewegten Inertialsystems relativ zum ruhenden System. $\vec{r}$ ist der Koordinatenvektor, also der Ort, eines Punktes, der vom ruhenden System aus gemessen wird; $\vec{r}'$ ist der Ort, der im bewegten System gemessen wird, und t ist die Zeit. (Wir haben dabei angenommen,

dass die beiden Systeme zur Zeit $t = 0$ zusammenfallen.) Diese Formel ist gar nicht schwer herzuleiten: um vom Ursprung des ruhenden Systems zum Ort der Punktes im bewegten System zu gelangen, muss man zu dessen Ortsvektor $\vec{r}$ noch die Strecke $\vec{v}t$ addieren, die das bewegte System in der Zeit t zurückgelegt hat.

Aus dieser Transformation kann das Additionsgesetz der Geschwindigkeiten leicht hergeleitet werden. Wenn Sie dies nun nicht nachvollziehen können, macht das nichts. Ein wichtiger Punkt dabei ist bloß der: die Zeit t , die in dieser Gleichung vorkommt, gilt für beide Systeme. Wenn die Uhr des Beobachters am Ufer mit Ihrer Uhr synchronisiert wird, bevor Sie losschwimmen, zeigen beide Uhren auch während Ihrer Exkursion ins Wasser dieselbe Zeit (ich hoffe, Ihre Uhr ist wasserdicht!). So erscheint es jedenfalls: wenn Sie dem Beobachter am Ufer Ihre Uhrzeit zurufen, kann er mit dem besten Willen keinen Unterschied zu seiner Uhrzeit feststellen.

Es war nun schon im 19. Jahrhundert bekannt, dass die Gesetze der Newtonschen Mechanik unter der Galilei-Transformation “forminvariant” sind. Das heißt, Newtons Gleichung: “Kraft gleich Masse mal Beschleunigung” sieht für die Ortsvektoren $\vec{r}$ und $\vec{r}'$ genau gleich aus: die Gleichung gilt in allen Inertialsystemen in exakt derselben Form, wobei die Zeit t in allen Systemen dieselbe ist. Aufgrund der Erfolge von Newtons Theorie mit der Himmelsmechanik – z. B. der Erklärung der Keplerschen Gesetze – herrschte kein Zweifel an deren Richtigkeit und an der Gültigkeit der Galilei-Transformation.

Andererseits war man sich am Ende des 19. Jahrhunderts auch schon bewusst, dass die Wellengleichung für das Licht, das aus der Maxwell-Theorie folgt, **nicht** invariant unter der Galilei-Transformation ist. Einer der großen Erfolge Maxwells war, zu zeigen, dass Licht aus elektromagnetischen Wellen besteht. Aber die Wellengleichung kann nicht in allen Inertialsystemen gleich aussehen, wenn man sie durch die Galilei-Transformation miteinander verknüpft. Dies äußert sich z. B. darin, dass das obige Gesetz der Geschwindigkeitsaddition für Lichtwellen nicht gültig ist. Wie schon erwähnt, ist die Lichtgeschwindigkeit konstant und universell. Ein Lichtblitz, der von einem bewegten Himmelskörper – oder von einem sehr schnellen Raumschiff – ausgesandt wird, bewegt sich unabhängig von dessen Geschwindigkeit mit derselben universellen Lichtgeschwindigkeit durch den Raum. Egal, ob das Raumschiff einen Lichtblitz nach vorne oder nach hinten aussendet: dessen Geschwindigkeit bleibt dieselbe. Das ist also anders als für den Schwimmer in der Donau.

Für Einstein war dies nicht befriedigend. Er suchte nach einer Transformation zwischen Inertialsystemen, unter der **alle** Naturgesetze forminvariant bleiben. Dies führte ihn auf die **Lorentz-Transformation**. Deren Gleichungen sind komplizierter als die der Galilei-Transformation; ich will sie deshalb nicht hinschreiben. Aber das Eigentümliche – und Revolutionäre – daran ist, dass im bewegten System eine andere Zeit t' gilt als die im ruhenden System, die wir bisher t genannt haben! Wir brauchen zwei verschiedene Zeiten t und t' – außer wenn die beiden Systeme gerade zusammenfallen. Dies hat tiefgreifende Konsequenzen und macht den Begriff der Gleichzeitigkeit in verschiedenen Inertialsystemen zunächst einmal hinfällig. Dass die Zeit nichts Absoluten ist, das war wirklich revolutionär!

Das “relativistische” Additionsgesetz für Geschwindigkeiten, das aus der Lorentz-Transformation folgt, sieht für den Spezialfall paralleler Geschwindigkeiten so aus:

$$w = \frac{u + v}{1 + (uv/c^2)}$$

Hier ist c die universelle Lichtgeschwindigkeit. Sie können aus dieser Formel leicht Folgendes ablesen: Wenn eine der beiden Geschwindigkeiten u oder v gleich null ist, dann gibt w die andere Geschwindigkeit – was natürlich so sein muss. Ist aber u oder v – oder sind beide – gleich c , dann wird w wieder gleich c . Dies entspricht aber genau der Erfahrung mit Lichtwellen! Andererseits, wenn u und v beide sehr viel kleiner sind als c , dann gibt uv/c^2 eine sehr kleine Zahl. Sie dürfen dann den zweiten Term im Nenner paktisch weglassen – und es kommt näherungsweise das alte Additionsgesetz $w = u + v$ für parallele Geschwindigkeiten heraus.

Die Lorentztransformation hat andere Folgen, die für unsere auf alltäglicher Erfahrung beruhende Intuition zunächst überraschend sind. Eine davon ist die sogenannte “Lorentz-Kontraktion”: ein bewegter Maßstab scheint in seiner Bewegungsrichtung für den ruhenden Beobachter kürzer zu sein als für einen Beobachter, der im bewegten System des Maßstabs mitfährt und dort dessen Länge misst. Eine andere Folge ist die “Zeit-Dilatation”: eine bewegte Uhr scheint für den ruhenden Beobachter langsamer zu ticken als für den Beobachter, der im bewegten System der Uhr mitfährt. Beide Effekte beruhen aber letztlich nur auf der endlichen Laufzeit der Lichtwellen und können damit gut erklärt werden. Wegen der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit c des Lichtes kommen diejenigen Lichtsignale aus dem bewegten System, die von weiter her stammen, eben später beim ruhenden Beobachter an als diejenigen, die von näherliegenden Orten des bewegten Systems ausgegangen sind.

Das Interessante ist, dass beide Effekte für den bewegten und den ruhenden Beobachter reziprok sind: die bewegte Uhr läuft nicht etwa langsamer als die ruhende! Für den mit der bewegten Uhr mitfahrenden Beobachter ist es nämlich meine ruhende Uhr, die langsamer zu ticken scheint, da sie ja von ihm aus gesehen die bewegte Uhr ist, während seine Uhr, die für ihn ja ruht, schneller tickt. Genau gleich verhält es sich mit der Lorentz-Kontraktion.

Wenn diese beiden Effekte unserer täglichen Erfahrung zu widersprechen scheinen, dann liegt das daran, dass die Lichtgeschwindigkeit c enorm groß ist und die Geschwindigkeiten von Zügen oder Flugzeugen im Vergleich dazu winzig, so dass wir die Lorentz-Kontraktion und die Zeit-Dilatation normalerweise nicht wahrnehmen. In der Teilchenphysik hingegen, wo große, mit c vergleichbare Geschwindigkeiten vorkommen, spielen diese “relativistischen” Effekte eine sehr wichtige Rolle. Auch aus der Astronomie und der Kosmologie ist die spezielle Relativitätstheorie heute nicht mehr wegzudenken. (Auch nicht die allgemeine Relativitätstheorie, die Einstein später entwickelte, auf die ich aber hier nicht eingehen kann.)

Der Theoretiker spricht gerne vom “Grenzfall” kleiner Geschwindigkeiten der beobachteten Objekte, oder – was mathematisch dasselbe ist – vom Grenzfall einer unendlich großen Lichtgeschwindigkeit c . Wenn man in allen Formeln den Wert von c nach unendlich gehen lässt, kommen wieder die alten Newtonschen Gesetze für die Mechanik heraus und die Lorentz-Transformation geht in die Galilei-Transformation über; t' und t ist dann wieder dieselbe absolute Zeit. Aber dieser Grenzfall ist natürlich nur in Gedanken durchführbar: wir können uns ja der Tatsache nicht verwehren, dass c nicht unendlich ist. Aber wenn c unendlich groß **wäre**, dann wären die alten klassischen Gesetze exakt gültig.

Wir sehen damit, dass die alten Fundamente durch die Theorie Einsteins nicht vollständig widerlegt wurden. Im Grenzfall, wo alle Geschwindigkeiten, mit denen wir es zu tun haben, sehr viel kleiner als c sind, bleibt alles praktisch beim Alten. Da c sehr groß ist, merkte man bis zum Ende des 19. Jahrhunderts im Rahmen der Mechanik nichts von den relativistischen Effekten. Und die Theorie Maxwells über das Licht als elektromagnetische Welle wurde von der Theorie Newtons einfach völlig getrennt betrachtet; die beiden hatten nichts miteinander zu tun.

Was ist nun also “relativ” in der Relativitätstheorie? Es ist die Wahrnehmung von Bewegungsabläufen, wenn diese von verschiedenen bewegten Inertialsystemen aus beobachtet werden. Dabei sind alle Inertialsysteme gleichwertig. Es gibt kein ausgezeichnetes Inertialsystem, das wichtiger oder absoluter ist als alle anderen relativ dazu bewegten Inertialsysteme. Andererseits war es ja gerade das Ziel, aber auch der Erfolg von Einstein, zu zeigen, dass die fundamentalen Gesetze der Physik in allen Inertialsystemen gleich lauten, also eine in diesem Sinne absolute Form besitzen. Auch die Naturkonstanten sind in allen Systemen dieselben. Relativ sind nur die Erscheinungsformen der Vorgänge, je nach Ort und Geschwindigkeit des Beobachters, nicht aber die Formen der Naturgesetze selber.

In Philosophie und Ethik gibt es verschiedene Versionen des sogenannten “Relativismus”. In seiner extremsten Spielart kann er zur Auffassung führen, dass alles relativ sei und dass

es keine absoluten Normen oder Gesetze gäbe. Mit den Erkenntnissen der Relativitätstheorie hat dies aber sehr wenig zu tun, und es wäre völlig verfehlt, etwa Einstein für diese Art von Relativismus verantwortlich zu machen. Es ist ja gerade die gleich lautende Gültigkeit der Naturgesetze in allen Inertialsystemen, die den Triumph Einsteins ausmachte und die einen formalen Absolutheitsanspruch erhebt.

Ich fasse diesen Abschnitt zusammen:

Bisher unangetastete Fundamente der klassischen Mechanik mussten in Zweifel gezogen und revidiert werden: die Galilei-Transformation war nur begrenzt gültig, und der Begriff der Gleichzeitigkeit in verschiedenen bewegten Systemen verlor seinen Sinn. Es war also das Resultat einer Bewusstseinsweiterung, die Einstein zu seinem Durchbruch verhalf. Sie verlangte die Aufgabe der Zeit als einer absoluten, überall gleichwertigen Größe, und die Aufgabe eines ausgezeichneten, absoluten Ruhsystems (etwa unserer Erde oder unserer Galaxie). Der Gewinn war die überall gleich lautende Form sämtlicher damals bekannten Naturgesetze – und die relativistische Mechanik, ohne die die heutige Physik nicht auskommt.

Dass alle physikalischen Vorgänge einem strengen Determinismus unterliegen, und dass physikalische Größen im Prinzip immer exakt messbar sind – diese Fundamente wurden von der Relativitätstheorie nicht in Frage gestellt. Sie kamen mit der anderen Revolution ins Wanken: jener der Quantentheorie.

3. Die Revolution der Quantenphysik: Teilchen oder Wellen?

Im Jahre 1900 befasste sich Planck – welcher zum Glück doch bei der Physik geblieben war – mit elektromagnetischen Wellen (also Licht oder auch Wärme), die zum Beispiel von der Sonne oder von Sternen ausgestrahlt werden. Er versuchte, eine einheitliche “Strahlungsformel” zu finden. Diese gibt an, wie die Intensität (oder die Energiedichte) der Strahlung von der Temperatur T des strahlenden Körpers und von der Frequenz ν der Wellen abhängt. Aus der klassischen Physik hatte man zwei verschiedene Formeln hergeleitet, welche in den beiden Grenzfällen hoher und tiefer Temperaturen – beziehungsweise kleiner und großer Frequenzen – gültig waren und die beobachteten Abhängigkeiten richtig wiedergaben. Die beiden Formeln sahen aber ganz verschieden aus, und für gewisse Kombinationen von T und ν waren sie nicht zu gebrauchen. Max Planck fand nun heraus, dass er beide Grenzfälle aus einer einzigen geschlossenen Formel herleiten konnte, wenn er folgende gewagte **Quantenhypothese** machte: Die Energie der Strahlung kann nur durch ganzzahlige Vielfache einer kleinsten Portion, eines “Quantums” ΔE übertragen werden, welches proportional zur Frequenz ν der Strahlung ist:

$$\Delta E = h\nu \qquad h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Die Proportionalitätskonstante h , die sich als eine neue Naturkonstante erwies, ist winzig: in den Standard-Einheiten von Joule (J) für die Energie und Sekunden (s) für die Zeit gemessen, ist h etwa 6.6 geteilt durch eine Eins mit 34 Nullen!

Planck war sich der Sprengkraft dieser Annahme wohl bewusst. Sie widersprach aller Erfahrung in der klassischen Physik. Dort ist nämlich die Energie immer eine kontinuierliche Größe, das heißt, Änderungen der Energie können beliebig klein sein. Plancks Hypothese aber besagt, dass Energieänderungen der Strahlung nicht kleiner als h mal ν sein dürfen. Wir sagen heute: die Energieübertragung ist **quantisiert** oder “gequantelt”. Planck mochte zunächst seine Quantenhypothese überhaupt nicht. Sie war eine rein theoretische Annahme, die er durch nichts rechtfertigen konnte – außer durch das Resultat einer einzigen, für alle Temperaturen und Frequenzen gültigen Strahlungsformel. Also wieder ein Erfolg des Ökonomieprinzips.

Fünf Jahre später – in einer weiteren berühmten Arbeit aus dem Jahre 1905 – gab Einstein der Beziehung $\Delta E = h\nu$ eine physikalische Bedeutung. Er konnte damit den photoelektrischen

Effekt erklären, der zwar schon seit etlichen Jahren bekannt, aber nicht richtig verstanden war. Bei diesem Effekt wird durch Licht ein Elektron aus einem Material herausgeschlagen. (Darauf beruhen die Photozellen, mit denen man heute aus dem Sonnenlicht Strom gewinnt!) Man hatte gemessen, dass die Energie der herausfliegenden Elektronen nicht etwa proportional zur Stärke des Lichts war, wie es die klassische Theorie verlangte, sondern proportional zur Frequenz ν des Lichts. In der klassischen Lehre ist die Energie einer Welle gegeben durch ihre Intensität: je stärker, also heller das Licht, desto mehr Energie hat es. Aber die Energie der herausfliegenden Elektronen hing nicht von der Stärke des Lichts ab, sondern von dessen Frequenz. Dies schien also dem fundamentalen Satz der Energie-Erhaltung zu widersprechen. Einstein konnte den Widerspruch lösen: der Photoeffekt besteht darin, dass ein “Lichtquant” – heute nennen wir es ein **Photon** – seine Energie $h\nu$ an das Elektron abgibt. Dies entspricht genau der Planckschen Gleichung $\Delta E = h\nu$, wenn man nun mit ΔE die Energie des Photons identifiziert. (Es mag übrigens interessieren, dass Einstein für **diese** Entdeckung den Nobelpreis erhielt, und nicht für die Relativitätstheorie.)

Im Jahre 1913 beschäftigte sich Niels Bohr mit dem Aufbau von Atomen. Rutherford hatte zwei Jahre zuvor experimentell gezeigt, dass ein Atom aus einem winzigen Kern besteht, der fast die ganze Masse des Atoms beinhaltet und positiv geladen ist. Die Ausdehnung des Kerns ist dabei zehn- bis hunderttausend mal kleiner als die des ganzen Atoms. Aus der Ladungsneutralität der Atome konnte man schließen, dass die Kerne in großem Abstand von negativ geladenen Elektronen umgeben sind, gleich groß an der Zahl wie die Gesamtladung der Kerne. Bohr sah sich nun mit folgendem Problem konfrontiert: man verstand zwar, dass die Elektronen aufgrund ihrer negativen Ladungen vom Kern angezogen werden und deshalb um ihn herumkreisen konnten. Dies ist ganz analog zur Bewegung der Planeten um die Sonne: das Anziehungsgesetz für Massen ist dasselbe wie das für ungleichnamige Ladungen (abgesehen von einer anderen Stärke). Das Problem war, dass Ladungen auf gekrümmten – und damit beschleunigten – Bahnen nach den klassischen Gesetzen einen Teil ihrer Bewegungsenergie abstrahlen müssen. Die Elektronen konnten also nicht ewig um die Kerne kreisen: sie würden mit der Zeit ihre gesamte Energie verlieren und in den Kern hineinstürzen. **So** konnten die Atome also nicht fortbestehen; irgendetwas an dem Modell war falsch.

Bohr löste das Problem wiederum mit einem waghalsigen Quantenpostulat. Er nahm an, dass die Elektronen sich auf Kreisbahnen um den Atomkern bewegten und postulierte, dass ihre Drehimpulse durch ganzzahlige Vielfache der Planckschen Konstanten h bestimmt wurden. Der Drehimpuls bestimmt bei einer Kreisbewegung mit gegebener Energie den Radius der Kreisbewegung. Bohr postulierte also, dass nicht alle Kreisbahnen erlaubt waren, wie das in der klassischen Mechanik der Fall wäre, sondern nur solche mit ganz bestimmten Drehimpulsen, also ganz bestimmten Radien. Und dieses Quantenpostulat musste das klassische Abstrahlungsgesetz für beschleunigte Ladungen außer Kraft setzen. Wenn das nicht revolutionär war!

Weil nun aber die Energie eines Elektrons auf seiner Kreisbahn mit seinem Drehimpuls fest verknüpft ist, folgte aus Bohrs Postulat, dass auch die Energie des Elektrons nur ganz bestimmte, quantisierte Werte E_n annehmen durfte:

$$E_n = -E_0 \frac{1}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Dabei ist E_0 ein Energiewert, der nur durch bekannte Naturkonstanten (inklusive der Planckschen Konstanten h) festgelegt ist. Mit dieser Energieformel für das Wasserstoff-Atom erzielte Bohr gleich einen durchschlagenden Erfolg: er konnte damit nämlich die Lage der schwarzen Linien im Spektrallicht der Sonne erklären.

Bereits 1885 hatte Johannes Balmer, ein Mathematiklehrer in Basel, durch reine Zahlenspielerlei herausgefunden, dass er die Wellenlängen von vier der damals bekannten Spektrallinien mit einer Formel wiedergeben konnte, die eine einzige Konstante enthielt und außerdem eine

ganze Zahl m , für die er bloß die Werte $m = 3, 4, 5$ und 6 einsetzen musste. Seine Formel war 1890 vom schwedischen Physiker Rydberg verallgemeinert worden:

$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad R = 3.29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \quad m > n = 1, 2, 3, \dots$$

Unter Verwendung von zwei ganzen Zahlen m und n und der geeignet gewählten Konstanten R konnte Rydberg die Frequenzen ν von weiteren Spektrallinien richtig berechnen, die (zum Teil auch erst später) beobachtet wurden. Keiner aber hatte eine Ahnung, woher diese Formel kam und was die Bedeutung der Konstanten R und der ganzen Zahlen m und n war. Die Rydberg-Formel schien reiner Zahlenmystik zu entspringen!

Anhand seines Modells für das Wasserstoff-Atom konnte Bohr die Rydberg-Formel vollständig erklären und entmystifizieren. Er nahm an, dass die schwarzen Linien dadurch zustande kommen, dass Licht mit ganz spezifischen Frequenzen ν vom Atom absorbiert werden kann. Die Sonne besteht ja zu einem großen Teil aus Wasserstoff, und auf seinem Weg aus der Sonne heraus trifft das Licht auf viele Wasserstoff-Atome. Dabei kann ein Elektron in einem der Atome von einem der quantisierten Energiezustände (z. B. mit der Nummer n) in ein anderes, höheres Energieniveau (mit der Nummer m) angehoben werden. Dazu braucht es aber Energie, und zwar genau die Differenz $\Delta E = E_m - E_n$. Diese Energie kann ihm vom Licht zur Verfügung gestellt werden, wenn es genau die Frequenz ν besitzt, welche der Planckschen Beziehung $\Delta E = h\nu$ entspricht. Das Licht wird also absorbiert, und darum kommt weniger vom Lichte dieser Frequenz auf der Erde an und wir finden die entsprechende Lücke im Spektrum des Sonnenlichts. Die Energiebilanz $\Delta E = E_m - E_n = h\nu$ ergibt aber genau die Rydberg-Formel für die Frequenz des absorbierten Lichts. Aus seiner Energiekonstanten E_0 konnte Bohr auch den gemessenen Wert der Rydbergkonstanten R erklären.

Dies waren zwei Beispiele von den Ideen, die vor ungefähr 100 Jahren den Beginn der neuen “Quantenphysik” ausmachten und dabei viele Konzepte der klassischen Physik über den Haufen warfen. Die Bohrsche Quantisierungsregel musste allerdings verallgemeinert werden – und erwies sich dann doch als ungenügend. Weitere überraschende Phänomene wurden entdeckt, und erst in den 20er Jahren einigte man sich auf die Theorie, die wir heute die “Quantenmechanik” nennen und unseren Studenten beibringen. (Ich tue das gerade in diesem Semester zum zehnten mal – und jedesmal haben nicht nur die Studenten, sondern auch ich selber wieder über die Kühnheit dieser Errungenschaften gestaunt!)

Ich will Sie jetzt nicht mit weiteren Formeln und Konstanten belästigen, aber ich muss noch auf zwei grundlegende Phänomene eingehen, die wiederum einen tiefgreifenden Einfluss auf unser Denken genommen haben: den Dualismus von Wellen und Teilchen, und die eingeschränkte Messbarkeit von physikalischen Größen.

Über die Natur des Lichts – nämlich ob Licht aus Wellen oder aus Teilchen besteht – hatten nicht nur Physiker schon seit langer Zeit spekuliert und gestritten; auch Goethe war mit Newton in einen Disput involviert. Aber als Maxwell zeigen konnte, dass Licht aus elektromagnetischen Wellen besteht, schien die Frage dann doch ein für alle Male entschieden zu schien. Viele Aspekte der Optik, insbesondere alle Interferenz-Phänomene, konnten ja auch nur durch die Wellennatur des Lichts verstanden werden. - Nun haben wir aber gesehen, wie Einstein den Photoeffekt dadurch erfolgreich erklärte, dass Licht in Form von “Quanten” von der Materie absorbiert werden kann. Diese Quanten – die Photonen – konnten nun wie Teilchen aufgefasst werden, die ihre Energie an die Elektronen abgaben. In der Tat: im Jahre 1923 zeigte Compton in raffinierten Experimenten eindeutig, dass Lichtquanten, wenn sie mit Elektronen zusammenstoßen, sich wirklich wie punktförmige Teilchen aufführen können und dabei genau den Stoßgesetzen der klassischen – allerdings relativistischen – Mechanik unterliegen!

Es war also, als ob das Licht zwei verschiedene Naturen in sich trüge: eine Wellen- und eine Teilchennatur. Je nachdem, welche Art von Experiment man durchführte, kam die eine oder andere Natur zum Vorschein.

1925 formulierte Louis de Broglie die umgekehrte Hypothese: dass nämlich auch Teilchen eine Doppelnatur besitzen und sich wie Wellen verhalten können. Und tatsächlich: zwei Jahre danach wurde in Experimenten von Davisson und Germer demonstriert, dass Elektronen, wenn man sie durch einen Kristall schickte, Interferenzmuster erzeugten, wie man sie sonst nur von Wellen kannte!

Dieser **Teilchen-Welle-Dualismus** hat die Physiker sehr beschäftigt. Es dauerte einige Zeit, bis die sogenannte “Wellen-” oder “Quantenmechanik” formuliert wurde. In der Form der **Schrödinger-Gleichung** wird sie heute am häufigsten verwendet. Damit kann man die beiden gegensätzlichen Aspekte von Teilchen und Wellen miteinander vereinen und die oben geschilderten Experimente auch quantitativ beschreiben.

Aber es kam noch schlimmer. Werner Heisenberg, der an der Entwicklung der Quantenmechanik ganz maßgeblich beteiligt war, machte eine tiefgreifende Entdeckung, welche die Messung von bestimmten Größen betraf. Er fand heraus, dass man den **Ort** und den **Impuls** (das ist Masse mal Geschwindigkeit) eines Teilchens in derselben räumlichen Richtung **nicht gleichzeitig exakt** messen kann! Je genauer man den Ort eines Teilchens bestimmt, desto ungenauer wird sein Impuls – und umgekehrt. Heisenbergs **Unbestimmtheitsrelation** (oder “Unschärferelation”) ist nicht ohne Grund berühmt geworden: sie stellt ja ganz grundsätzlich die präzise Bedeutung der physikalischen Gesetze in Frage, wenn man deren Voraussagen nicht genau nachmessen kann.

Die Physiker haben gelernt, mit diesen Widersprüchen zu leben und die Unsicherheiten von Messgrößen in Kauf zu nehmen. In der Quantenmechanik sind der Teilchen-Welle-Dualismus und die Unbestimmtheitsrelation von Anfang an mit eingebaut. Der Preis ist, dass oft nicht exakte, sondern nur statistische Voraussagen gemacht werden können. Man kann im Prinzip immer die **Wahrscheinlichkeit** berechnen, mit der eine Messung ein bestimmtes Resultat ergibt. Wenn die Messung genügend oft wiederholt wird und man die gemessenen Werte mittelt, erhält man sehr genau den vorausgesagten **Mittelwert** (oder “Erwartungswert”). Aber bei einer einzigen Messung kann das Resultat im Allgemeinen nicht exakt vorausgesagt werden. Mehr noch: eine Messung kann das untersuchte System **verändern**: es ist vor und nach einer Messung nicht immer im gleichen Zustand. Der Beobachter verändert mit seiner Messung das untersuchte System. Philosophisch ausgedrückt: Subjekt und Objekt lassen sich nicht mehr sauber trennen.

Wiederum stellt sich die Frage, was den nun von der klassischen Physik noch übrigbleibt, wenn man alle diese Quantenphänomene ernst zu nehmen hat. Auch hier wieder kommt eine beruhigende Antwort: die alte, klassische Physik ist nicht prinzipiell falsch, sondern sie lässt sich als ein Grenzfall der Quantenphysik auffassen. So wie die klassische Mechanik sich als Grenzfall für unendlich große Lichtgeschwindigkeit c verstehen lässt, kann man die klassische Physik – inklusive Relativitätstheorie – als den hypothetischen Grenzfall darstellen, in welchem die Plancksche Konstante h unendlich klein, also null ist. Die Mess-Unsicherheiten, die ich eben geschildert habe, sind nämlich durch die Größe von h bestimmt. h ist zwar nicht null, aber es ist sehr sehr klein – Sie erinnern sich an die 34 Nullen im Nenner! Darum hat die Unbestimmtheitsrelation im praktischen Leben keine Bedeutung. Die Orts-Impuls-Unschärfe einer Kugel in unserer “makroskopischen” Welt ist so klein, dass sie auch mit sehr feinen Instrumenten nicht nachgewiesen werden kann. Nur wenn wir in die mikroskopischen Dimensionen der Atome oder der Atomkerne eindringen, wird die Unschärferelation relevant – aber dort muss sie auch ernst genommen werden.

Die klassische Physik ist also ein “Grenzfall” der Quantenmechanik, der im praktischen Leben fast immer und überall gültig ist. Was nicht heißt, dass wir in der “makroskopischen” Welt

nicht doch gewisse Spuren der Quantenmechanik auffinden können – wie z. B. die Absorptionslinien im Spektrum des Sonnenlichts.

Ich komme zu den Schlussbemerkungen zu diesem Abschnitt:

Die Erkenntnisse der Quantenphysik haben mehrere Fundamente der klassischen Physik nicht nur in Frage gestellt, sondern für immer verändert. Dazu gehören, dass Größen wie Energie oder Drehimpuls quantisiert, also nicht kontinuierlich verteilt sein können; dazu gehört die Doppelnatur von Wellen und Teilchen; und dazu gehört die Heisenbergsche Unschärferelation. Trotzdem steht die Quantenmechanik nicht im Widerspruch zur klassischen Mechanik: diese kann als Grenzfall verstanden werden, der in vielen Fällen für das praktische Verständnis genügt.

Der Teilchen-Welle-Dualismus und die Unschärferelation von Heisenberg wurden 1928 von Bohr durch den Begriff der **Komplementarität** zusammengefasst und vertieft. Nach dem Komplementaritätsprinzip können physikalische Experimente immer nur gewisse Teilaspekte der Natur enthüllen, andere bleiben dabei unbekannt. Wenn ich die Rolle des Lichtes beim Photoeffekt untersuche, erweist es sich als ein Strom von Teilchen und ich merke nichts von seiner Wellennatur; in anderen Experimenten ist es umgekehrt. Wenn ich den Ort eines Teilchens sehr genau bestimme, ist sein Impuls nur wenig genau bekannt. Je mehr ich von einer Eigenschaft kenne, desto weniger weiß ich von der dazu komplementären Eigenschaft. Komplementäre Messgrößen oder Eigenschaften scheinen sich zu widersprechen oder teilweise auszuschließen; sie sind aber Teilaspekte eines Ganzen. **Sie schließen sich teilweise aus – und ergänzen sich gleichzeitig!**

Es ist offensichtlich, dass solche Überlegungen sich nicht nur auf die Physik beschränken können. Die unmöglich gewordene Trennung zwischen Subjekt und Objekt und der Gedanke der Komplementarität haben natürlich weitgehende wissenschaftstheoretische und allgemeinphilosophische Konsequenzen. Bohr selber hat in seinem späteren Leben sehr viel über mögliche Verallgemeinerungen des Komplementaritätsbegriffs über die Physik hinaus nachgedacht; besonders im Rahmen der Biologie, aber auch in der Philosophie, der Sprache – oder für das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Religion. Auf dieses möchte ich nun im letzten Teil noch kurz eingehen.

Über das Thema “Wissenschaft und Glaube” könnte man ganze Bücher schreiben. Ich will mich auf einige Betrachtungen vorwiegend persönlicher Art beschränken und hoffe, dass diese dann den Anstoß zu einer interessanten Diskussion geben werden.

4. Widerspruch oder hilft die Physik meinem Glauben?

Es gibt prominente Wissenschaftler – darunter auch Nobelpreisträger (und -innen) – welche die Auffassung vertreten, dass ein ernst zu nehmender Naturwissenschaftler ja doch heute nicht mehr an Gott glauben könne. Dem kann ich nur vehement widersprechen. Ich will dahingestellt sein lassen, wie weit ich selber als Physiker ernst zu nehmen bin, aber ich kenne viele Kollegen, und weiß von vielen Physikern und anderen Forschern, die durchaus seriöse Wissenschaftler sind und die trotzdem – so wie ich selber – an Gott glauben.

Ich denke, dass gerade ein Physiker – mit den geschilderten Einsichten des letzten Jahrhunderts – in seinem Weltbild Platz für Gott haben kann. Und zwar nicht bloß für einen Gott als Lückenbüßer dafür, was wir noch nicht verstanden haben (und dann vielleicht in 20 oder 100 Jahren doch noch verstehen werden), sondern in gewissem Sinne ähnlich wie beim Bohrschen Komplementaritätsprinzip. Die Natur hat viele Aspekte und Eigenschaften, die wir physikalisch messen und mathematisch beschreiben können, aber andere Aspekte bleiben uns dabei völlig verborgen. Umgekehrt, wenn ich mich mit Fragen des Glaubens und mit Gott auseinandersetze, treten physikalische Aspekte in den Hintergrund oder werden uninteressant. Göttliche und physikalische Erscheinungen können sich widersprechen – sich aber auch gegenseitig ergänzen.

Natürlich hinkt der Vergleich: die Dualität zwischen Gott und der materiellen Welt, oder zwischen Leben und Tod, ist nicht symmetrisch. Gott steht über allem und hat die Natur als Ganzes geschaffen; Gott will das Leben und nicht den Tod. Aber der Gedanke der Komplementarität, der innerhalb der Physik sehr erfolgreich ist, kann helfen, mit scheinbaren Widersprüchen zwischen Glaubens- und wissenschaftlichen Fragen besser zurechtzukommen.

Unsere Wissenschaft kann also immer nur Teilaspekte der Natur erklären. Wir können die Entwicklung des Kosmos heute zwar sehr genau beschreiben und viele Zusammenhänge mathematisch verstehen und korrekt voraussagen – aber die Schöpfung selber, ihren Sinn und ihr Ziel können wir mit naturwissenschaftlichen Methoden allein niemals erklären oder begreifen!

Die Einsicht, dass unsere Theorien nie gesichert sind, sondern plötzlich neu überdacht und revidiert werden müssen – so wie ich Ihnen das in den letzten 40 Minuten geschildert habe – diese Einsicht sollte uns zu einer gewissen Demut führen. Und ein daraus resultierendes Bewusstsein, dass die Wissenschaft nicht allmächtig ist, kann es leichter machen, an einen Gott zu glauben.

Zum Glauben gehören Wunder – gerade in der Bibel ist von vielen Wundern zu lesen, die unserem heutigen naturwissenschaftlichen Verständnis zu widersprechen scheinen. Der Skeptiker wird solche Wunder immer wegzu erklären versuchen – so wie er die Existenz Gottes schlechthin ablehnen kann. Dagegen kann ich rein logisch nichts einwenden; ich kann höchstens sagen: schade! Gott ist ja, wie gesagt, nicht beweisbar – er ist nur persönlich erfahrbar. Aber **wenn** ich ihn erfahre und ihn als Schöpfer der Natur akzeptiere, dann ist es doch eine Sache der reinen Vernunft und Logik, auch seine Wunder zu akzeptieren. Oder ist es vielleicht nicht etwa eine Anmaßung, an einen Schöpfergott zu glauben, der die Natur und damit auch alle Naturgesetze gemacht hat, ihm dann aber nicht auch die Vollmacht zuzugestehen, sich über diese Gesetze hinwegzusetzen, wenn es ihm beliebt, sich in Form eines Wunders zu offenbaren?

Ich will es noch provokativer formulieren: Wenn Gott schon das größte aller Wunder vollzogen hat, seinen eigenen Sohn in den Tod zu schicken und ihn dann wieder auferstehen zu lassen – und wenn wir an dieses Wunder glauben – dann sind doch alle anderen Wunder in der Bibel vergleichsweise bloß 'peanuts' – Kinderspiele!

Für mich selber kann ich sagen, dass ich auch als Physiker keine Probleme mit Wundern habe. Das fängt schon damit an, dass ich doch im Rahmen der Quantenmechanik auch an Wunder glaube. Wer kann denn schon die Wellennatur von Teilchen mit seinem Verstand wirklich begreifen? Natürlich können wir diesen Dualismus mit unserem quantenmechanischen Formelapparat mathematisch perfekt beschreiben – genau dazu wurde er ja konstruiert. Aber haben wir den Dualismus damit wirklich verstanden? Für mich jedenfalls ist die Aussage, dass ein Elektron eine Welle sein soll, nicht weniger verwunderlich, als wenn ich lese oder höre, dass Jesus Wasser zu Wein gemacht haben soll!

Vielleicht habe ich jetzt genug gesagt, um eine lebhafte Diskussion anzuregen. Lassen Sie mich mit einem Zitat des Physikers und Nobelpreisträgers William Phillips schließen. In seiner Rede in Stockholm im Dezember 1997 anlässlich der Preisverleihung sagte er:

“Ich sehe Gottes Hand im Universum. Andere sehen das nicht so, obwohl wir dieselbe Welt betrachten.” Weiterhin meinte Phillips, die Menschen sollten deutlicher erkennen, wie viele Wissenschaftler den Glauben und die Bibel sehr ernst nehmen. Das möchte ich auch Ihnen ans Herz legen.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und Geduld!