



URSACHE UND WIRKUNG

Eine Neuformulierung des Kausalitätsgesetzes

EXPOSEE

Das Kausalitätsgesetz in seiner alten Formulierung verbindet Ursache und Wirkung zu einer Kausalitätskette. Das neue Kausalitätsgesetz kennt nur Wirkungen, die über eine gemeinsame Ursache miteinander verknüpft sind. Damit kann auch die Aussagenlogik sinnvoll in die Physik einbezogen werden.

Manfred Hiebl

Neuburg a.d. Donau, 7. Dezember 2016

Vordenker

Skeptizistische und agnostische Positionen, wie sie von den Sophisten und Sokrates vertreten wurden, fanden bereits in der Antike Verbreitung. Anklagen wegen Gottlosigkeit gegen „Physiker“ werden im alten Athen gängige Praxis. Sokrates mußte den sogenannten Schierlingsbecher trinken, weil er angeblich die Jugend verdarb. Von Protagoras,¹ der als einer der ersten sein Nichtwissen über die Existenz von Göttern betonte, stammt auch der berühmte Ausspruch, der Mensch sei das Maß aller Dinge. Arkesilaos soll gesagt haben: „Nichts ist sicher, und nicht einmal das ist sicher.“ Giordano Brunos Thesen von einem räumlich und zeitlich unendlich ausgedehnten Universum, das keinen Raum für ein Jenseits, eine Schöpfung und ein Jüngstes Gericht ließen, sind heute zwar überholt, dennoch war er es wohl, der Gott als erster aus der Natur komplett verbannte. Für seine „Ketzerie“ wurde er von der katholischen Kirche aufs grausamste gefoltert und unter entsetzlichen Qualen auf dem Scheiterhaufen verbrannt.² Baruch de Spinoza war denn auch der erste, welcher die Theorie von einem unpersönlichen Gott, der sich nicht um die Welt kümmert, und einer sich selbst verursachenden Natur, die jede Willensfreiheit ausschließt, weiter ausbaute.³ Wegen seines Gedankenguts wurde Spinoza von der Amsterdamer jüdischen Gemeinde mit dem Bann belegt und mußte die Stadt verlassen. Besonders fasziniert von seinem Werk zeigte sich Friedrich Nietzsche, vor allem von Spinozas Verneinung höherer Absichten, seinem Immoralismus und dem Conatus-Begriff, der einer Vorwegnahme von Nietzsches „Willen zur Macht“⁴ gleicht. Schließlich war auch Albert Einstein gemäß einer einem New Yorker Rabbiner gegenüber gemachten Äußerung überzeugter Anhänger Spinozas: „Ich glaube an Spinozas Gott, der sich in der gesetzlichen Harmonie des Seienden offenbart, nicht an einen Gott, der sich mit Schicksalen und Handlungen der Menschen abgibt.“ Schließlich erkannte bereits Gottfried Wilhelm Leibniz, daß Gott keinen Einfluß auf den Zustand und die Geschehnisse innerhalb der Welt hat. Er sah allerdings auch keinen Widerspruch zwischen Determinismus und Freiheit. Auch geht Leibniz in Unkenntnis des Energieerhaltungssatzes noch davon aus, daß Gott die Welt aus dem Nichts erschaffen habe, wobei ihm ferner zugute gehalten werden muß, daß er noch keine Kenntnisse der Evolutionstheorie gehabt hat und die Welt daher als die beste aller möglichen ansah.

Empirie und Masse-Energie-Äquivalenz

Aus unserer Erfahrung gewinnen wir den Eindruck eines Vorher und Nachher, eines Zuvor und Hinterher. Wir denken, daß das Vorher das Nachher irgendwie verursacht haben muß. Wer aber käme je auf die Idee, daß ein durch die Luft fliegender Ball zu einem späteren Zeitpunkt den Zustand zu einem früheren als Ursache haben müsse? Nach unserem bisherigen Verständnis ist die Ursache des freien Falls eines in die Höhe geworfenen Gegenstands allein die Schwerkraft bzw. die Tatsache, daß die kinetische Energie jedes fallenden Körpers in einem Schwerfeld zunimmt. Kraftwirkungen können Bewegungen „verursachen“, weil sie permanent da sind, selbst aber haben sie keine Ursache, sondern sie sind eine Eigenschaft der anziehenden Masse. Massen erzeugen sozusagen das Gravitationsfeld, sind aber ihrerseits erst durch den Urknall entstanden. Masse kann daher nur sein, was kinetische Energie besitzt, d.h. was sich langsamer

¹ „Über die Götter allerdings habe ich keine Möglichkeit zu wissen, weder, daß sie sind, noch, daß sie nicht sind, noch, wie sie etwa an Gestalt sind; denn vieles gibt es, was das Wissen hindert: die Nichtwahrnehmbarkeit und daß das Leben des Menschen kurz ist.“

² De l'infinito, universo e mondi, 1584.

³ Ethica, ordine geometrico demonstrata. 1677 posthum erschienen.

⁴ *Der Wille zur Macht. Versuch einer Umwertung aller Werte (Studien und Fragmente)*, 1901 herausgegeben von Ernst Horneffer, August Horneffer und „Peter Gast“, mit einem Vorwort von Elisabeth Förster-Nietzsche.

als Licht bewegt. Photonen haben z.B. keine Ruhemasse, aber sie haben Impuls und damit potentielle Energie. Licht ist Teil eines elektromagnetischen Feldes, obwohl das Photon selbst keine Ladung besitzt. Photonen selbst können nicht beschleunigt werden, wohl aber geladene wie ungeladene Masseteilchen. Materie kann daher bei Beschleunigung Strahlung abgeben. Umgekehrt kann Strahlung in Materie umgewandelt werden, wenn sie über entsprechende Energien verfügt.⁵ Die in der Singularität komprimierte Strahlungsenergie wird bei Überschreitung des Schwellwertes für die Massenerzeugung komplett in Materie-Antimaterie-Teilchen umgewandelt. Diese Paarbildung muß genau auf dem Schwarzschildradius erfolgen, da die Teilchenpaare sich sonst sofort wieder annihilieren. Da es nicht möglich ist, daß die Masse mit zunehmender Geschwindigkeit unendlich wird, muß sie vollständig in Strahlung konvertiert werden, sobald die Lichtgeschwindigkeit erreicht ist.

Ursache und Wirkung

Häufig wird bei einem Vorgang Ursache genannt, was zeitlich früher einzuordnen ist. Das ist aber noch nicht hinreichend, denn es fehlt noch die entsprechende Implikation, d.h. ein räumliches oder zeitliches Zusammenfallen zweier Ereignisse, von denen das eine zeitlich infinitesimal früher eingestuft und Ursache genannt wird, das andere, zeitlich infinitesimal spätere, Wirkung heißt. Die Wirkung hat also ihren Grund in der Ursache, die bewirkt, daß etwas geschieht und die Begründung dafür liefert, warum es geschieht. Gründe können scheinbar zufällige oder naturgesetzlich veranlaßte Auslöser sein, die dann als Ursache angenommen werden. Bei Wirkungen hingegen geht es um Änderungen eines früheren Zustands oder Vorgangs, die ihrerseits aus Wirkungen hervorgegangen sind.

Definitionen: Ursachen wollen wir unveränderliche physikalische Größen nennen, Wirkungen dagegen veränderliche. Ursachen können Wirkungen entfalten, Wirkungen aber niemals Ursachen sein. Die sogenannte Kausalitätskette bestehend aus einer Abfolge von Ursache und Wirkung – wobei die letzte Wirkung zur nächsten Ursache wird – beruht auf einem klassischen Mißverständnis, da Ursache und Wirkung stets gleichzeitig erfolgen, und nicht nacheinander. Den Beweis liefert das dritte Newtonsche Gesetz $actio = reactio$, und zeitlich „gleich“ bedeutet eben nicht nacheinander. Präzise gesprochen bewirkt eine infinitesimal frühere Wirkung eine spätere, denn beiden liegt dieselbe Ursache, d.h. das gleiche Naturgesetz, zugrunde, z.B. die Impulserhaltung beim elastischen Stoß. Ob die stoßende Kugel in Bewegung ist, während die gestoßene ruht, ist das gleiche, wie wenn beide nach dem Stoß in unterschiedliche Richtungen davonrollen. An der Ursache, nämlich der Impulserhaltung, hat sich deswegen nichts geändert, auch wenn der Moment der Impulsübertragung für beide gleichzeitig erfolgt und eine gewisse Zäsur in unserer Vorstellungswelt hervorruft. Wirkungen können daher keine Ursachen sein, weil sie veränderlich sind, auch wenn sie innerhalb der Kausalitätskette als solche bezeichnet werden.

Satz 1: Eine Wirkung kann nicht unterbrochen werden.

Beweis: Da das Wesen der Wirkung die Veränderlichkeit ist, würde sie zu einer Ursache, wenn sie beendet würde. Das ergäbe einen Widerspruch zu ihrer Definition, w.z.b.w.

Satz 2: Es gibt nur eine Wirkung.

⁵ G. Breit, John A. Wheeler: *Collision of Two Light Quanta*. In: *Physical Review*. Band 46, Nr. 12, 15. Dezember 1934, S. 1087–1091

Beweis: Reihen wir zwei Wirkungen aneinander, etwa nach Art einer Kausalitätskette, so ist das Gesamtergebnis ebenfalls veränderlich und damit eine Wirkung. Insbesondere kann die erste Wirkung nach Satz 1 nicht durch die zweite abgebrochen oder beendet werden, da beiden die gleiche Ursache zugrunde liegt, w.z.b.w.

Satz 3: Es gibt nur eine Ursache.

Beweis: Eine Ursache kann keine weitere Ursache hervorrufen, weil sie gemäß ihrer Definition unveränderlich ist, w.z.b.w.

Anmerkung: Es ergibt also keinen Sinn, nach der Ursache einer Ursache zu fragen, vor allem, weil man, wenn man diese Fragestellung immer weiter fortsetzen würde, auch an keinen Anfang käme. Den Anfang nennen wir Ursache. Weil sich aber die Zeit nicht über den Anfang hinaus in die Vergangenheit extrapolieren läßt, muß der Anfang im Einklang mit unserer Definition unveränderlich sein.

Folgerung 1: Es gibt nur eine unveränderliche Ursache und eine veränderliche Wirkung. Die Auftrennung in eine Kausalitätskette ist rein willkürlich.

Folgerung 2: Das Maß für die Wirkung ist die räumlich und zeitlich veränderliche Entropie, das Maß für die Ursache sind konstante Energie bzw. Masse und konstanter Impuls und Drehimpuls.

Satz 4: Energie kann nicht erzeugt und nicht vernichtet werden.

Beweis: Wäre die Energie in einer Art Schöpfungsakt erzeugt worden, wäre sie eine Wirkung, weil Erschaffen eine Veränderung bewirkt. Mithin gäbe es gar keine Ursache, wenn auch die Energie keine ist, und damit auch keine Kausalität, die die Wirkung aus der Ursache folgen läßt, im Widerspruch zur Erfahrung, daß die Zeit und damit die Entropie sich ändern, w.z.b.w.

Folgerung 3: Die zur Entropie proportionale dissipative Energie ist ebenso wie die geleistete Arbeit einer der beiden veränderlichen Anteile der Energie, die Energie selbst ist unveränderlich und kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Ein Perpetuum mobile gibt es nicht.

Satz 5: Die letzte Wirkung muß in die erste münden.

Beweis: Würde die letzte Wirkung nicht in die erste münden, wäre die Wirkungskette niemals abgeschlossen und die Wirkung unendlich oft veränderlich. Es gäbe dann zwar einen Anfang, der in der Ursache liegt, aber kein Ende, und damit eine Halbunendlichkeit wie bei einer vollständigen Induktion. Wenn das Weltall aber einen Anfang hat, also halbunendlich ist, dann muß es auch ein Ende haben, denn es kann nicht zugleich die Negation von endlich und unendlich sein. Es kann also entweder nur endlich oder unendlich sein. Ist es unendlich, kann es auch keinen Anfang haben, also nicht erschaffen worden sein. Ist es endlich, muß es auch ein Ende haben. Da das Unendliche aber nichts anderes ist als die unendliche Abfolge des Endlichen, kann das All sowohl endlich als auch unendlich sein, was keinen Widerspruch darstellt, wenn sein Anfang und Ende jeweils zusammenfallen, weil dann die Zeit am Ende wieder auf null gesetzt wird, mag sie uns dazwischen auch noch so lang erscheinen. Physikalisch würde das Sinn ergeben, weil auch die Gesamtenergie des Universums gleich null sein muß, sonst könnte kinetische Energie nicht vollständig in potentielle umgewandelt werden und umgekehrt. Wir wissen, daß für ein auf einer Kreisbahn umlaufendes Teilchen die Summe aus kinetischer und potentieller Energie gleich null ist. Die Zeit ist also wie die Energie, der Raum und der Impuls

eine Singularität, mit je zwei veränderlichen Anteilen, die in der Summe konstant sind. Per Definition mündet damit die letzte Wirkung in die erste, w.z.b.w.

Satz 6: Ursachen können nur Wirkungen entfalten, solange die Ursache vorliegt, aber nicht selbst zu Wirkungen werden, d.h. Ursachen haben keine Ursache.

Beweis: Ursachen können per Definition nicht zu einer Wirkung werden, weil Ursachen unveränderlich sind, Wirkungen hingegen nicht. Zum Beispiel kann eine Masse ihrerseits eine Kraftwirkung entfalten, aber es kann keine Ursache geben, welche die Masse bewirkt, weil Masse in Form von Energie per Definition unveränderlich ist, w.z.b.w.

Folgerung: Jemand kann einwenden, Masse und damit auch Energie gingen mit der Lichtgeschwindigkeit gegen Unendlich und seien damit veränderlich. Das gilt allerdings nicht für die Ruhemasse und die Ruheenergie, denn diese sind absolut konstant. Daß Masse und Energie mit der Relativgeschwindigkeit des bewegten Systems zunehmen, ist ein relativistischer Effekt, der im System des Beobachters gemessen wird, nicht aber im Ruhesystem des bewegten Objekts.

Satz 7: Wirkungen sind Eigenschaften der Ursache, ohne diese zu verändern.

Beweis: Die Kraftwirkung ändert nichts an der Masse. Die Masse selbst ist eine Ursache und per Definition invariant, w.z.b.w.

Folgerung: Wirkungen haben keinen Anfang und kein Ende, solange die Ursache fortbesteht; ihre Zerlegung in Zeitabschnitte ist rein willkürlich. Ursachen wiederum sind Erhaltungsgrößen, insbesondere gehören dazu Raum und Zeit sowie Energie, Impuls und Drehimpuls.

Satz 8: Wirkungen führen stets in ein Potentialminimum hinein, niemals aus diesem heraus.

Beweis: Jede Erhaltungsgröße hat zwei veränderliche Anteile, deren Summe konstant ist. Der kinetische Anteil erreicht sein Maximum, wenn der potentielle im Minimum ist und umgekehrt, w.z.b.w.

Folgerung: Wirkungen wiederholen sich periodisch. Der reibungsfreie harmonische Oszillator ist eine Illusion, da die Schwingung mit der Dämpfung abklingt. Die kosmologische Energie ist ein solcher gedämpfter harmonischer Oszillator, dessen Energie indes nicht verschwindet, sondern in seiner dissipativen Energieform gespeichert wird. Da mit Wärme intuitiv hohe Temperaturen verbunden werden, ist Wärme auch nicht der korrekte Ausdruck für dissipative Energie, die vielmehr das Produkt aus Temperatur und Entropie ist. Reden wir über Wärme in Zusammenhang mit Temperatur, so trüge auch ein Körper, der das absolute Temperaturminimum angenommen hat, immer noch Wärme in sich, wenn nur seine Entropie entsprechend hoch ist. Es ist daher anschaulicher, von dissipativer Energie zu reden, anstatt von Wärme, weil dissipative Energie nicht mehr in andere Energieformen zurückverwandelt werden kann, Wärme jedoch sehr wohl. Der sogenannte Wärmetod entspricht daher dem Maximum an dissipativer Energie. Dissipative Energie wird mit jedem weiteren Urknall in Freie Energie⁶ zurückverwandelt, die dann erneut bis auf null abnimmt usw. Wie das genau geschieht, ist wissenschaftlich noch nicht geklärt, unser Verständnis reicht lediglich vom Urknall bis zum allseitigen Wärmetod. Was danach kommt und was davor war, wird bis heute von den meisten Wissenschaftlern, die sich ihre Urknalltheorie vom Papst genehmigen ließen, dem Einfluß Gottes zugeschrieben.

⁶ d.h. unverbrauchte

In nahezu allen Religionen ist allerdings der Glaube an eine Wiedergeburt ebenso fester Bestandteil. In diesem Sinne wollen wir auch die Periodizität der Wirkung verstehen.

Um im Einklang mit unseren Definitionen zu bleiben, formulieren wir das Kausalitätsgesetz wie folgt:

„Jede Wirkung folgt auf eine zeitlich frühere Wirkung, welche durch die gleiche Ursache mit der nachfolgenden gekoppelt ist. Eine erste Wirkung, um die Kausalitätskette anzustoßen, gibt es nicht, weil Wirkungen sich periodisch wiederholen, solange die Ursachen gleichbleiben.“

Folgerung: Die Frage, woher etwas gemäß seiner Kausalität kommt, stellt sich daher nicht, weil die Zeit im reziproken Raum, der unserer Anschauung verborgen ist, rückwärts läuft und beide sich überlagernden Zeitwellen sich gegenseitig auslöschen. Mithin gibt es so etwas wie Zeit eigentlich gar nicht, weil die Zeit ebenso wie der Raum eine Singularität, d.h. eine in sich geschlossene invariante Größe ist.

Anmerkung: Die Zerlegung der Wirkung in Teilwirkungen ist ebenfalls rein willkürlich, da die Natur nur stetige Übergänge kennt, auch wenn diese in unseren Augen rapide erscheinen mögen.

Logik und Kausalität

Gemäß Aussagenlogik lassen sich auch Aussagen miteinander verknüpfen, die absolut nichts miteinander zu tun haben, während beim Kausalitätsgesetz Ursache und Wirkung direkt auseinander hervorgehen. Da wir nun festgestellt haben, daß wir Wirkungen, denen dieselbe Ursache zugrunde liegt, kausal miteinander verknüpfen können, läßt sich auch das Kausalitätsprinzip sehr gut mit der Aussagenlogik in Einklang bringen. Dadurch erhält die mathematische Logik, welche ohne kausalen Zusammenhang nicht plausibel erschiene, physikalische Beweiskraft.

Zufall und Relativität

Definition: Wir unterscheiden deterministischen und willkürlichen Zufall.⁷

Auch wenn es in einem nicht-relativistischen System keine absolute Gleichzeitigkeit geben mag, so existiert sie in unserer Vorstellungswelt dennoch, einfach weil wir unsere Eigenzeit nicht als Zeitunterschied zu anderen sich mit konstanter Geschwindigkeit auf uns zubewegenden oder sich von uns wegbewegenden Koordinatensystemen wahrnehmen. Trotzdem haben wir einen klaren kausalen Begriff von vorher und nachher. Ein auslösendes Ereignis mag „Ursache“⁸ für viele andere sein, das ausgelöste jedoch kann nur genau ein Ereignis als Ursache haben, sofern verschiedene Ursachen nicht wirklich gleichzeitig eintreten.⁹ Ursache einer jeden Kraftwirkung kann nur eine energetische Wechselwirkung sein, womit aufgrund des Fehlens von Gleichzeitigkeit kein willkürlicher Zufall nachgewiesen werden kann. Beim deterministischen Zufall hingegen existieren mehrere physikalisch realisierbare Möglichkeiten, von denen sich aber nur eine auswirkt, während die anderen unberücksichtigt bleiben. Dies ist kein Widerspruch zur Kausalität, weil durch die Vorsehung eine der Möglichkeiten ausgewählt wird,

⁷ Der willkürliche Zufall ist der mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintretende Zufall, welcher die Möglichkeit, sich frei zu entscheiden, ausschließt, während der deterministische Zufall auf Vorsehung beruht und eigentlich keiner ist.

⁸ Hier im Sinne einer Wirkung zu verstehen

⁹ Welche Möglichkeit wir bereits ausgeschlossen haben

allerdings keine beliebige. Es gibt also im Grunde genommen gar keinen Zufall, denn auch wenn von den sechs Zahlen eines Würfels alle gleich wahrscheinlich sind, so gibt es immer eine, deren Randbedingungen energetisch am günstigsten sind, damit sie fällt. Weil es uns aber nicht immer gelingt, den Würfel in dieselbe Ausgangsposition zu bringen und unter denselben Bedingungen fallen zu lassen, haben alle diese Möglichkeiten gleiche Wahrscheinlichkeit.

Wirkungen und Unschärfe

Die Wirkung beginnt, wenn durch die energetische Wechselwirkung mindestens ein Wirkungsquantum ausgetauscht wird. Nichts anderes besagt die Heisenbergsche Unschärferelation. Natürlich lassen sich Kräfte nur in ganzzahligen Vielfachen solcher Quanten ausdrücken, so daß selbst bei einer Überlagerung mehrerer Kräfte jenes Quant, welches zuerst in Wechselwirkung tritt, das auslösende ist. In einem Mehrkörperproblem wechselwirken die Teilchen paarweise. Da die Energie ebenso wie der Impuls bei vorhandener Wechselwirkung quantisiert ist, läßt sich die Quantisierung je nach Darstellung durch deren Kehrwerte auch auf Raum und Zeit übertragen. Allerdings findet dieser sogenannte Quantensprung in Einheiten des Plankschen Wirkungsquantums im Raum-Zeit-Kontinuum immer nur dann statt, wenn der gegenseitige Abstand zweier wechselwirkender Teilchen die Energiebedingung für einen Übergang von einem niedrigeren in einen höheren Zustand erfüllt oder umgekehrt. Da die erlaubten Übergangsenergien bekannt sind und die Wechselwirkungskräfte sich reziprok zum Quadrat des Abstands verhalten, ist eine beliebig feine Unterteilung von Raum und Zeit und somit eine direkte kausale Vorhersage von Ereignissen möglich, selbst wenn die Impulse und Orte der miteinander wechselwirkenden Teilchen nach der Heisenbergschen Unschärferelation nicht zugleich exakt bestimmbar sind. Diese Form der Wechselwirkung gilt für die meisten dynamischen Fälle, in denen Anziehungs- oder Abstoßungskräfte wirken und die Bewegung in der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit liegt.

Daneben gibt es aber auch noch die statischen Fälle, in denen Atome oder Moleküle an einem festen Ort verharren und sich scheinbar nicht bewegen, wie etwa im Kristall. Solche festen Bindungen können durch eine energetische Anregung geeigneter Frequenz allerdings aufgebrochen werden, was die Atome dann unter dem Einfluß einer Kraftwirkung in Marsch setzt und dem Kontinuum als dem Grenzwert der Quantisierung ausliefert. Auch wenn hier auf den ersten Blick wieder nicht vorhergesagt werden kann, mit welchem seiner Nachbaratome ein Teilchen als erstes in Wechselwirkung tritt, so ist durch die Rotation von Elektron und Proton um einen gemeinsamen Schwerpunkt zum Zeitpunkt der Energieabsorption ein geometrisches Maximum der Kraftwirkung zu irgendeinem nächsten Nachbarn vorhanden, was den Vorgang dann wieder zu einem kausalen macht. Darüber hinaus gibt es bei jedem Potential die Neigung, den energetisch günstigsten Zustand einzunehmen, was Teilchen, die nur potentielle, aber keine kinetische Energie besitzen, den Potentialberg von selbst hinunterrollen läßt. Sie kommen dadurch ganz automatisch in Bewegung, was erst die Voraussetzung dafür schafft, daß ein kausales Ereignis eintreten kann. Zu den davon betroffenen Größen zählt auch die Entropie, die so lange zunimmt, solange noch ein Teilchen existiert, das in einen energetisch günstigeren Zustand wechseln kann. Es bedarf zur Erklärung der Kausalität nur einer dynamischen Kraftwirkung und eines Raum-Zeit-Kontinuums, dann beschränkt sich die Unschärfe nämlich auf jenen räumlichen oder zeitlichen Bereich, in dem der Übergang auch stattfinden kann. Das kann uns aber nicht von der Vorstellung abbringen, daß dazwischen nichts passiert, auch wenn in diesem Raum- oder Zeitintervall physikalisch nichts gemessen werden kann. Die Zeit oder der Abstand bis zum

nächsten Quantensprung kann infinitesimal klein werden, je schneller die Bewegung erfolgt. Im Grenzfall definiert sie sich über die Lichtgeschwindigkeit. Hieraus ergibt sich allerdings immer noch kein Spielraum für Freiheit, denn die Bewegung eines Körpers setzt sich ungehindert fort, und er kann nicht plötzlich dort auftauchen, wo er gar nicht erwartet wird. Die Momentaufnahme einer diskreten Bewegung in kleinen Zeiträumen liefert noch keinen Beweis für sprunghaftes,¹⁰ nicht vorhersagbares Verhalten.

Beim radioaktiven Zerfall wiederum gibt es immer ein Atom, das bildlich gesprochen auf der obersten Stufe der Potentialtreppe steht und die Lawine auslöst und unter den nachdrängenden als erstes fällt. In der Orts-Impuls- und Energie-Zeit-Unschärferelation sind zwei Größen, nämlich Ort und Zeit, jeweils nicht quantisiert,¹¹ während Energie und Impuls in Einheiten der Masse gequantelt sind. Massen sind ja nun nichts anderes als Vielfache von Elementarmassen, Raum und Zeit indes gelten auch bei der gebundenen Bewegung als Kontinua. Der Kontinuumsfall gilt aber für Energie und Impuls genauso und ist noch kein Gegenbeweis dafür, daß Raum und Zeit im gebundenen System nicht gequantelt sind. Daß dadurch der Eindruck entsteht, Ort und Zeit seien generell keine diskreten Größen, hängt damit zusammen, daß Energie und Impuls Vielfache des Planckschen Wirkungsquantums sind, Ort und Zeit indes nicht. Da die Heisenbergschen Unschärferelationen aber bezüglich Energie und Zeit sowie Ort und Impuls vollkommen symmetrisch sind, müssen auch die komplementären Größen gequantelt sein. Diesem Umstand wird durch das Größergleichzeichen Rechnung getragen. Für ein einzelnes quantenmechanisches Teilchen sind daher Orts- und Zeitunschärfe am größten. Je mehr Teilchen eines Ensembles jedoch an einem Vorgang beteiligt sind, desto schärfer werden die beiden Meßgrößen faßbar. Das heißt nun nicht, daß ein einzelnes Atom, das im Festkörperverbund mitfliegt, nicht genau so präzise auf seiner Bahn fliegen würde, wenn der Stein geworfen wird, wie der ganze Stein. Es heißt nur, daß wir den Schwerpunkt des fliegenden Steins erheblich genauer bestimmen können als den Ort eines beliebig herausgegriffenen einzelnen Atoms des Festkörpers. An der Kausalität ändert sich dadurch freilich nichts. Die Freiheit des herausgegriffenen Teilchens wird dadurch auch keinen Deut größer. Auch der elastische Stoß eines freien Teilchens ändert an der Kausalität des Zusammenstoßens nichts. Wir wissen nur nicht genau, wann er erfolgt, weil wir diese Zeit wegen der Quantennatur des Effekts, genauer gesagt wegen der Energieübertragung von einem Teilchen auf das andere in diskreten Portionen, nicht beliebig genau bestimmen können. Der Teil der Energie, der sozusagen nicht vollständig übertragen werden kann und übrigbleibt, verursacht gerade diese Unschärfe in der Bestimmbarkeit.

Wirkungen können immer nur in ganzzahligen Vielfachen der Elementarwirkung $\hbar$ erfolgen. Formt man nämlich die beiden Unschärferelationen entsprechend um und drückt die Ortsunschärfe bzw. Zeitunschärfe durch die reziproke Impuls- bzw. Energieunschärfe aus und beläßt das Gleichheitszeichen, hätten wir einen Widerspruch, denn links stünde in beiden Fällen eine variable Kontinuumsgröße, rechts hingegen eine quantisierte. Der Unterschied wird durch das Größerzeichen ausgeglichen, was eigentlich schon besagt, daß es eine Orts- und Zeitunschärfe nur zwischen zwei benachbarten diskreten Energieniveaus geben kann, weil hier zwei physikalische Größen miteinander verglichen werden, von denen die eine eine kontinuierliche Variable, die andere eine konstante diskrete Größe ist. Die Heisenbergsche Unschärferelation wirft daher eher ein mathematisches Problem auf als ein physikalisches und ist als reiner Interpolationsfehler zwischen zwei erlaubten Zuständen anzusehen, wobei die Interpolation von Raum und Zeit

¹⁰ Im Sinne von willkürlich

¹¹ Nach traditioneller Vorstellung

durch die diskreten Energiestützstellen erzwungen wird. Mithin kann in der gesamten Physik (wie bisher) weiterhin von Kontinuumsgrößen ausgegangen werden, solange diese Größen keinen Niveaubezug haben. Nur durch die Abzählbarkeit der Teilchen einerseits und der erlaubten Elektronenbahnen andererseits kommt es zu diesen Quanteneffekten. Ganz ähnlich umkreisen auch die Planeten ein Zentralgestirn, unter der Einschränkung, die ihnen der Flächensatz auferlegt. Hier bewegt sich der Planet ebenfalls um so schneller, je näher er dem Zentralgestirn kommt. Sein radialer Abstand ist dort am schärfsten, wo die Geschwindigkeit sich am stärksten ändert, bildlich gesprochen am unschärfsten ist, und umgekehrt. In der Heisenbergschen Unschärferelation offenbart sich also nichts anderes als der Drehimpulserhaltungssatz der klassischen Mechanik, wobei die unterschiedlichen Energieniveaus unbesetzten Planetenbahnen entsprechen. Daher hat die physikalische Größe „Wirkung“ auch die Dimension eines Drehimpulses. Anders als die Ellipsen bei der Keplerbewegung verlaufen die „Kreisbahnen“ der Quantenmechanik in einem festen Abstand zum Kern. Solange sich der Drehimpuls nicht ändert, was ohne äußere Einflüsse auch nicht denkbar ist, sind Abstand und Geschwindigkeit auf der Kreisbahn absolut konstant, d.h. im Heisenbergschen Sinne scharf. Erst wenn ein Elektron auf einer solchen Kreisbahn von einem Photon getroffen wird, findet durch dessen Energieübertragung eine Anhebung auf ein höheres Energieniveau statt, und damit auch eine Drehimpulsänderung des Atoms. Nun sind entweder Ort und Energie des Teilchens unscharf, wobei das Elektron im Unterschied zur klassischen Mechanik unter Abgabe eines Photons jederzeit die Möglichkeit hat, in den früheren Zustand zurückzukehren, oder Zeit und Impuls. Man sagt deshalb, angeregte Zustände seien nicht stabil. Klarerweise versucht der Kern aufgrund seiner Coulomb-Wechselwirkung, die es in vergleichbarer Weise in einem realen Planetensystem nicht gibt, das angeregte Elektron auf sein ursprüngliches Niveau zurückzuziehen. Das ist aber nur möglich, wenn das Elektron genau soviel überschüssige Energie besitzt, wie nötig war, um auf das höhere Energieniveau angehoben zu werden. Da das Elektron auch einen Eigendrehimpuls (Spin) besitzt, und dementsprechend Rotationsenergie, ist seine Kreisfrequenz nicht immer für einen Rückfall auf das niedrigere Niveau geeignet. Die Zeit, die nötig ist, bis diese Frequenz sich eingestellt hat, nennt man Lebensdauer oder Linienbreite, und diese physikalische Größe ist offenbar keine Konstante, sondern unterliegt periodischen Schwankungen.

Bei der Erklärung des radioaktiven Zerfalls darf man daher die Entstehung höherenergetischer Zustände nicht außer acht lassen. Angeregte Zustände entstehen deterministisch, wenn ein Elektron oder ein anderes quantenmechanisches Teilchen von einem Photon getroffen wird, und es zerfällt, wenn seine Lebensdauer abgelaufen ist, was aus dem Energieerhaltungssatz folgt. Es kann also nicht sein, daß das Photon sozusagen verschluckt wird, das Atom im angeregten Zustand unendlich lange verweilt und auf der Welt inzwischen die Lichter ausgeht. Auch wenn die meisten Photonen einfach nur reflektiert werden, weil sie zuviel oder zuwenig Energie für einen Übergang haben, so können diejenigen, die absorbiert wurden und auf ihr Ausgangsniveau zurückfallen, nur genau wieder jene Wellenlänge emittieren, die ihrer Absorption entspricht. Der Zusammenprall eines Photons mit einem Elektron passiert deterministisch, und nachdem die mittlere Lebensdauer eines angeregten Zustands offenbar eine Systemkonstante ist, erfolgt der Zerfall ebenfalls deterministisch. Der Beweis ist relativ einfach zu führen, denn würde ein einzelnes Elektron nacheinander von unendlich vielen Photonen getroffen (Dauerbelichtung), dann würde jenes wegen besagter Konstante unendlich lange leben und könnte kein Licht aussenden, zu welchem Zweck es ja zerfallen muß. Ein Stein, der in eine bestimmte Höhe geworfen wird und damit eine bestimmte potentielle Energie erreicht hat, kehrt auch jedesmal nach berechenbarer Zeit wieder auf den Boden zurück. So könnte man es sich

beim radioaktiven Zerfall auch erklären. Ein nach der Halbwertszeit zerfallendes Isotop sendet ein Alpha-oder Beta-Teilchen aus, welches auf ein anderes Isotop trifft, das die übertragene Energie aufnimmt und dann seinerseits nach einer weiteren Halbwertszeit ein zweites Alpha-oder Beta-Teilchen freisetzt. Wenn man nun annimmt, daß die Zerfallszeit diskret ist, kann jedes Teilchen frühestens nach Ablauf einer weiteren Halbwertszeit durch einen elastischen Stoß erneut Energie übertragen, wobei sich die Zahl der bereits zerfallenen Isotope dabei jedesmal verdoppelt. Die Diskretisierung sollte dabei nur von der Art des betrachteten Isotops abhängen. Anders als durch eine Diskretisierung der Zeit kann der radioaktive Zerfall wohlge-merkt nicht erklärt werden. Da aber sowohl Wirkung als auch Energie quantisierbar sind, muß wegen der Energie-Zeit-Unschärfe auch die Zeit in einem gebundenen System diskretisierbar sein. Das ist auch gar nicht anders denkbar, sonst gäbe es nämlich keine mittlere Verweildauer eines Teilchens in einem angeregten Zustand.

Potentialbarrieren wiederum sind Wände, die makroskopisch zwar undurchlässig sind, mikroskopisch jedoch gewisse Tunnels aufweisen. Es gibt nichts Undurchdringliches. Wirft man einen Ball in einem engen Raum gegen eine Wand, so wird er dort reflektiert, d.h. er prallt ab und fliegt zurück zur gegenüberliegenden Wand. Würde man diesen Versuch im Weltall durchführen und könnte den Einfallswinkel genau unter 90° wählen, so würde der Ball bei einem elastischen Stoß ohne Energieverlust unendlich oft hin und her fliegen. Das gleiche Experiment gelänge auch mit einer Eisenkugel, aber sobald sich die stoßenden Teilchen in ihrer Härte zunehmend unterscheiden, wird der Stoß immer unelastischer, und desto tiefer dringt die Kugel in die Wand ein. Ihre Geschwindigkeit würde sich durch den Energieverlust nach jedem Stoß immer weiter verlangsamen, bis sie schließlich auf null abgenommen hat. Unabhängig davon verschiebt sich auch der Ort, an dem die Potentialhürde beginnt, er verlagert sich immer weiter ins Innere der Wand, bis das reflektierte Geschöß die Potentialbarriere irgendwann ganz durchbricht. Man sagt anschaulich, das Geschöß durchtunnelt die Potentialbarriere bzw. man spricht von einem sogenannten Tunneleffekt. Dieses sukzessive Sich-Hindurcharbeiten ist in der Quantenmechanik nicht enthalten, sie kennt keine dissipativen Effekte.

Bei keiner Wirkung erfolgt die Reaktion aus einem unbegründeten oder undefinierten Zustand heraus. Was es nicht gibt, läßt sich auch nicht beweisen, und aus dem Nichts heraus können keine Wirkungen entstehen, ebenso wie eine geschlechtliche Zeugung nicht ohne zwei befruchtungsfähige Keimzellen zustande kommt. Leider gibt es unter uns Menschen immer noch viele, die dem Aberglauben verfallen sind, daß ein „Schöpfungsakt“ quasi aus dem Nichts heraus erfolgen kann, was naturwissenschaftlicher Humbug ist und jeglicher physikalischen Grundlage entbehrt. Nicht einmal Kreise anerkannter Elementarteilchen- und Astrophysiker sind gegen solche Ansichten gefeit, dadurch daß sie mit einem willkürlich konstruierten Urknall aus dem Nichts heraus liebäugeln, den sie sich vom Papst erst genehmigen lassen mußten. Es ist zwar theoretisch möglich, daß Materie durch Energieumwandlung erzeugt werden kann, aber jedenfalls nicht ohne ein vorher vorhandenes Strahlungsäquivalent. Da Masse gleich Energie ist, ist dies sowieso nur eine akademische Fragestellung, da eine wechselseitige Umwandlung von Strahlung in Materie jederzeit möglich ist. Daraus ergibt sich ebenfalls die Schlußfolgerung, daß ein Sein nicht im Werden beginnen und im Vergehen enden kann. Werden und Vergehen sind lediglich zwei verschiedene Phasen des Seins, und das Vergehen des einen ist bereits das Werden des anderen. Insofern ist Kausalität kein jemals beginnender oder endender Akt, sondern eine unausgesetzt anhaltende Wandlung des Seins, bei der es zu spektakulären Verwerfungen kommen kann. Daß es den sogenannten Augenblick eigentlich nicht gibt, weil er für

mit Lichtgeschwindigkeit bewegte Objekte auch unendlich lange dauern kann, ist eine bekannte Tatsache der Einsteinschen Relativitätstheorie. Werden und Vergehen werden nur im extrem nichtrelativistischen Bereich sichtbar, also nur quantitativ. Man kann in jeder Bewegung einen beliebigen Zeitpunkt herausgreifen und Ort und Zeit dieser Bewegung als neue Anfangsbedingungen festlegen, und man wird feststellen, daß der Unterschied zu den letzten infinitesimal davorliegenden Werten der Vergangenheit marginal ist. Bei jedem Schritt sind die vorausgehenden Anfangsbedingungen „Ursache“ der folgenden, auch wenn sie von Mal zu Mal weniger sinnfällig sind, weil sich dazwischen scheinbar nichts ereignet. Bei infinitesimaler Ortsänderung, z.B. in einem terrestrischen System während des ballistischen Fluges einer Rakete, werden stets neue Luftmoleküle angestoßen. Es ändert sich also kontinuierlich die Reibungskraft und damit die Wirkung, obwohl die Summe aller Kräfte gleich null bleibt. Somit ist bereits eine unendlich kleine Orts- oder Zeitdifferenz eine Ereigniskausalität, weil nichts in absoluter Ruhe verharret und ständig potentielle Energie verlorenggeht. Eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit, d.h. einen kräftefreien Zustand, gibt es im All nicht, weil sich das All ausdehnt und damit unsere Geschwindigkeit relativ zu anderen Galaxien ständig zunimmt, auch wenn wir äußerlich nichts davon merken. Ein Gravitationseinfluß ist überall im All zu spüren, nur ist das All eben nicht unendlich. Es kann nicht größer sein als der Weg, den das Licht seit seiner Entstehung zurückgelegt hat. Daher kann auch der Nullpunkt der potentiellen Energie nicht im Unendlichen liegen, sondern er liegt auf dem Schwarzschildradius der Singularität, dem einzigen ausgezeichneten Punkt im All. Auf diesem sogenannten Schwarzschildradius ist zugleich das Maximum der kinetischen Energie erreicht, die Geschwindigkeit ist dort gleich der Lichtgeschwindigkeit. Daher gibt es nichts, was außerhalb des Schwarzschildradius des Universums liegen kann, auch keine Kraftwirkung, denn Kraft ist die negative Ableitung der potentiellen Energie, und wo keine Energie, da gibt es auch keine Kraft und damit keine Wirkung.

Nun existieren aber auch innerhalb des Universums mehr oder minder massereiche Schwarze Löcher. Auch wenn kein Licht aus einem solchen Schwarzen Loch je zu entweichen vermag, wird es dennoch vom Gravitationszentrum des Universums angezogen. Es zeigt sogar seinerseits Anziehungskraft auf externe Massen, und zwar isotrop in alle Raumrichtungen, weil wegen der Isotropie der vierdimensionalen Raumzeit das Zentrum des Universums in jeder beliebigen Richtung liegt. Damit besitzt ein solches Schwarzes Loch nach dem Zweiten Newtonschen Gesetz nicht nur Anziehungskraft, sondern auch Trägheit, weil seine träge Masse gleich seiner schweren ist. Die Gravitation kann also den Schwarzschildradius trotz bestehender Raumkrümmung jederzeit überwinden, auch weil die träge Masse eines Schwarzen Lochs nach dem Zweiten Newtonschen Gesetz eine Beschleunigung erfahren muß und das Produkt aus Masse mal Beschleunigung eine Kraft darstellt, die man wegen der Äquivalenz von träger und schwerer Masse mit der Gravitation gleichsetzen kann. Die Trägheit der Masse kann auch durch die Raumkrümmung nicht aufgehoben werden. Ein die Singularität umgebendes Gravitationsfeld kann also niemals Quelle und Senke zugleich sein, weil die Schwerkraft keine Monopole kennt und nichts sich selbst anziehen kann. Nur das Universum selbst kann auch von der Gravitation niemals verlassen werden, weil die Wechselwirkung niemals schneller als Licht sein kann. Innerhalb des Universums ist allerdings die Lichtgeschwindigkeit noch nicht erreicht. Daher besitzt ein Schwarzes Loch innerhalb des Alls immer noch Masse, solange es sich nicht mit Lichtgeschwindigkeit bewegt. Ein Schwarzes Loch im Raum ist daher noch kein Universum für sich, solange sich sein Schwerpunkt nicht mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, ganz im Gegenteil, es besitzt definierte Randbedingungen zu diesem, welche das All nicht hat, da bei letzterem alle seine inneren Singularitäten nicht über seinen Rand hinauskommen, sondern

irgendwann wie auf der Oberfläche einer Kugel hängenbleiben und dann wegen der radialen Längenkontraktion unendlich dünn erscheinen. In diesem Fall sind alle Randbedingungen aufgehoben, weil das infinitesimal Kleine keinen Rand hat.

Auch wenn Massen sich in einem Kraftfeld gegenseitig anziehen, kann die Masse selbst und damit die Massenanziehung als Materieeigenschaft keine Ursache haben, weil unveränderliche Dinge wie die Energie keiner Kausalität unterliegen und damit auch nicht Wirkung sein können. Denn es ist niemals beobachtet worden, daß Energie erzeugt oder vernichtet worden wäre oder daß Massen sich nicht angezogen hätten. Der Satz „Die Erdanziehung ist die Ursache des freien Falls“ ist also nur umgangssprachlich richtig. Die Erdanziehung kann nämlich nicht zu einer Ursache werden, da sie eine Wirkung ist. Auch der freie Fall ist nicht die Ursache des darauffolgenden inelastischen Stoßes, da er nur eine Wirkung der Massenanziehung ist. Der deformierenden Wirkung der Massenträgheit beim inelastischen Stoß entspricht als Ursache die Impuls- und Energieerhaltung. Unabhängig davon ist die Wirkung der Schwere immer vorhanden, denn auch nach dem elastischen Stoß fällt eine der beiden aufeinanderprallenden Massen im Kraftfeld der anderen so lange weiter, bis beide ihre gesamte kinetische Energie verbraucht haben. Da die Masse erhalten bleibt, bleibt auch die Trägheit erhalten. Die Ursachen für beide Bewegungsänderungen sind nach wie vor die gleichen, auch wenn beide Massen zwischenzeitlich abwechselnde Bewegungs- oder Formveränderungen hervorgerufen haben. Die Kraft als Wirkung mag sich wegen des sich ändernden Abstands geändert haben, nicht aber die Ursache, die in der Masse selbst begründet liegt. In ihrer Gesamtheit bleiben die Ursachen erhalten, und es gibt bedeutend weniger Ursachen als man gemeinhin annimmt: nur einige wenige physikalische Erhaltungsgrößen wie Energie bzw. Masse, Impuls und Drehimpuls. Schließlich bleibt auch die Wirkung selbst erhalten, da sie von der Dimension eines Drehimpulses ist, ebenso wie Raum und Zeit erhalten bleiben, weil sie als Kehrwerte von Energie und Impuls ebenfalls Erhaltungsgrößen sein müssen. Alles andere sind Wirkungen.

Neben der Masse als der einen Materieform hat auch die Strahlung als die andere gewisse Eigenschaften: Sie ist masselos und kann bei Übergängen zwischen zwei unterschiedlichen Energieniveaus nur in Einheiten des Planckschen Wirkungsquantums übertragen werden. Licht kann zwar absorbiert werden, aber es wird beim Zerfallen vom angeregten Zustand in einen niedrigeren in diskreten Frequenzen emittiert.¹² Bei Übergängen dieser Art gilt der übliche Energie- und Drehimpulserhaltungssatz. Ein Analogon zur Schwerkraft besitzt Strahlung aufgrund der fehlenden Masse nicht.

Ferner gibt es noch die elektrostatischen Kräfte, die nur von Ladungen ausgehen und im Unterschied zur Massenanziehung auch abstoßend wirken können. Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß im Bereich der Kerne die Starke und Schwache Wechselwirkung spürbar werden.

Im Bereich der Strömungsmechanik wirken hydrostatischer und hydrodynamischer Druck als Kräfte. Hier ist es aber wieder der übertragene Impuls aufgrund der Teilchenbewegung, welcher die Druckwirkung erzeugt.

Wir sehen also, daß Wirkungen nichts anderes sind als Kraft- und Impulsentfaltungen in Richtung des Potentialminimums. Diese Kräfte sind aber nur aufgrund der ursächlichen Massen und Ladungen Wirkungen. Im Potentialminimum endet die Bewegung und es kehrt Stabilität und

¹² Abgesehen von der sogenannten Linienbreite, die nichts anderes als eine Unschärfe ist

damit Wirkungslosigkeit ein, Kräfte heben sich gegenseitig auf. Letztere resultieren aus potentieller Energie, die in Entropie umgewandelt wird. Die Energieumwandlung durch Ableisten von Arbeit und dissipative Verluste bezeichnet man als Wirkung, so daß am Ende nur Entropie übrigbleibt, wobei Entropie zu keiner Wirkung mehr fähig ist, außer daß sie in entartete Materie umgewandelt werden kann. Die Wirkungen werden damit langsam abgebaut, die Kräfte verschwinden in der Wirkungslosigkeit. Energie, die wir nicht mehr wahrnehmen, ist dunkle Energie, von der wir nur wissen, daß sie existieren muß. Die Kausalität hat also augenscheinlich einen Anfang und ein Ende, aber diese müssen zusammenfallen, sonst geraten wir in Erklärungsnot. Das reibungsfreie Pendel mit seiner unendlich periodischen Umwandlung von potentieller in kinetische Energie liefert ein bekanntes Beispiel dafür, wie auch das All funktionieren kann. Die dissipativen Verluste bringen das Pendel irgendwann zum Stillstand. Hierdurch entsteht Entropie, d.h. das Pendel kommt nicht wieder von allein in Gang, wenn aus der Entropie keine neue Energie gewonnen werden kann.

Äquivalenz von Sein und Nichts

Das Nichts hat zwei Ursachen: Materie und Antimaterie. Zusammen ergeben sie das Nichts. Sie sind entgegengesetzt gleich und heben sich gegenseitig auf, d.h. die Summe aus Energie und dunkler Energie ergibt null. Wir sehen jeweils nur den Teil, der auf dem Schwarzschildradius der Singularität in unser Universum zurückfällt, während der andere Teil im Paralleluniversum landet. Zwischen beiden Universen muß es eine Polarisierung geben, sonst käme ein Energieaustausch nicht zustande. Nur zweimal pro Universum gibt es eine solche Umwandlung: kurz nach dem Urknall, wenn die Materie entsteht, und kurz davor, wenn sie in Strahlung zerfällt. Beides geschieht wohl annähernd „gleichzeitig“. Der Effekt gleicht der wechselweisen Paarbildung, die in der Summe immer null ergibt. Daher sind Sein und Nichtsein¹³ äquivalent. Nur im System der arabischen Ziffern ist die Null tatsächlich null, in der Welt der Physik hingegen gilt: $1 + (-1) = 0$, wobei die Eins beliebig groß sein kann und auch eine Dimension annehmen kann.

¹³ Das sogenannte Vakuum gibt es eigentlich gar nicht, denn entweder es befindet sich etwas im Universum oder es ist im Paralleluniversum.