

Das Prinzip der kleinsten Wirkung und der liebe Gott

Der sogenannte 'Kreationismus' ist zwar primär unter christlichen Fundamentalisten bzw. Evangelikalen verbreitet. Eine bestimmte Spielart dieser intellektuellen Falle hat aber in den letzten Jahren auch so manchen Physiker zum Meta-Physiker gemacht. Als solcher fasst er die gesamte Evolution der Materie in den Blick und gelangt dabei zu der Überzeugung, diese Entwicklung habe an so vielen kritischen Weggabelungen immer genau den für die Entstehung intelligenten Lebens erforderlichen Pfad eingeschlagen, dass er nicht an eine bloße Aneinanderreihung von Zufällen glauben will. Das Ergebnis des Vergleichs jener ganz besonderen Gestalt des faktischen Pfades der Evolution mit denkbaren anderen Entwicklungspfaden verweist für ihn vielmehr ganz unübersehbar auf das Walten einer 'höheren' Macht.

In einem Aufsatz mit dem Titel "Das Kreuz der Physiker mit dem lieben Gott"¹ habe ich den dieser Überzeugung zugrunde liegenden Denkfehler aufgezeigt und möchte nun hier auf einen weiteren, sehr ähnlich gelagerten Trugschluss hinweisen, dem missverständliche Aussagen einiger großer Physiker Vorschub leisten. Es handelt sich dabei um das sogenannte 'Prinzip der stationären Wirkung', bei welcher es sich in vielen Fällen um eine minimale Wirkung handelt, weshalb auch oft vom 'Prinzip der kleinsten Wirkung' gesprochen wird. Richard Feynman etwa gab einer seiner berühmten Vorlesungen diesen Titel². Er erläuterte das erwähnte Prinzip darin am Beispiel eines Teilchens, das sich in einem Gravitationsfeld befindet und zum Zeitpunkt t_1 am Punkt X_1 aus beliebigen Gründen - etwa deshalb, weil es einen Stoß erhielt - eine bestimmte Geschwindigkeit aufweist. Im Gefolge jenes Stoßes bewegt es sich auf einer den newtonschen Gesetzen entsprechenden Bahn und erreicht zum Zeitpunkt t_2 einen auf dieser Bahn gelegenen Punkt X_2 . Die physikalische **Wirkung**, der das Teilchen in einem bestimmten Augenblick seines Fluges unterliegt, ist definiert als die im betreffenden Zeitpunkt gegebene Differenz zwischen seiner kinetischen und potentiellen Energie. Wenn man diese Differenz für sämtliche zwischen t_1 und t_2 gelegenen Zeitpunkte berechnet und die dabei erzielten Ergebnisse aufsummiert, dann erhält man die Gesamtwirkung, welcher das Teilchen in der zwischen t_1 und t_2 gelegenen Zeitspanne ausgesetzt ist. Der mathematische Ausdruck dieser Gesamtwirkung ist das zeitliche Integral der jeden Moment der betreffenden Zeitspanne auf das Teilchen übertragenen Energie.

Das Prinzip der kleinsten Wirkung besagt nun, dass jene Gesamtwirkung auf jeder von den newtonschen Gesetzen abweichenden Bahn größer wäre als auf dem durch diese Gesetze bestimmten Weg. Das sieht auf den ersten Blick so aus, als ob es die Natur (bzw. ein hinter ihr stehender Geist) darauf anlegen würde, das Teilchen mit der kleinstmöglichen Wirkung vom Ausgangspunkt X_1 zum Zielpunkt X_2 zu befördern. Feynman erkennt darin ein richtiges **Wunder**, wobei dieses für ihn darin besteht, "*dass der echte Weg derjenige ist, für den das Integral am kleinsten ist*"³. Und auch Max Planck deutete das genannte Prinzip als Hinweis darauf, dass sämtliche Naturprozesse **zielgerichtet** ablaufen. Es sei Zeichen einer Zweck-

1 Siehe http://www.erkennnistheorie.at/?page_id=6
2 Feynmann, R., Leighton, R., B., Sands, M. (1963)
3 A.a.O., Seite 350

bestimmung der Welt jenseits des menschlichen Sinnes- und Erkenntnisapparats⁴. Diese Ansicht ist insofern besonders bemerkenswert, als sich Planck im Allgemeinen sehr bemühte, die Wissenschaft vom Glauben zu trennen und in diesem Sinne etwa scharfe Kritik an jener Pseudo-Metaphysik übte, die aus der Quantentheorie Gottesbeweise abzuleiten versucht.⁵

Ich möchte in der Folge zeigen, dass sich in dem von Feynman präsentierten Beispiel weder Hinweise auf ein Wunder noch auf eine der Natur innewohnende Zielgerichtetheit finden. Zu diesem Zweck gilt es, den physikalischen Begriff der Wirkung etwas genauer unter die Lupe zu nehmen. Seine eigentliche Bedeutung erschließt sich nämlich erst durch einen kleinen Ausflug in die Geschichte der Physik.⁶ Er führt bis ins sechzehnte Jahrhundert zurück und erinnert zunächst an das scharfe Konkurrenzverhältnis zwischen der nach kausalen Ursachenketten suchenden neuzeitlichen Naturwissenschaft und der an Aristoteles orientierten theologischen Weltansicht, für welche alle Ordnung der Natur das Resultat eines göttlichen Plans war. Da sich die damaligen Physiker auch als gläubige Christen verstanden, waren sie sehr an einer Zusammenführung dieser beiden so unterschiedlichen Zugänge zum Naturgeschehen interessiert. Eine der wichtigsten der in diesem Kontext immer wieder bemühten Denkfiguren bestand in der Auffassung, dass sich in den von der Physik entdeckten Naturgesetzen Gottes Weisheit zeigt, da diese Gesetze offenbar so gestaltet sind, dass alles natürliche Geschehen auf eine höchst **effiziente** Weise abläuft.

Ansätze dieser Argumentation finden sich bereits bei den auf Galilei folgenden ersten Generationen der Naturforscher. Zur vollen Entfaltung gelangte jene neue Form einer naturwissenschaftlich geläuterten Teleologie aber erst ab dem späten siebzehnten Jahrhundert. Newtons großer Gegenspieler Leibniz gab dem eben erwähnten Effizienzgedanken dann als erster die Gestalt eines das gesamte Naturgeschehen beherrschenden obersten Prinzips, indem er behauptete, dass *"die Natur unter allen möglichen Bedingungen diejenige auswählt, die ihr Ziel mit dem kleinsten Aufwand von Aktion erreicht"*. Um diese Behauptung mit der in der Praxis glänzend bestätigten newtonschen Physik verbinden zu können, galt es nur den in jenem Prinzip bemühten Begriff der 'Aktion' (sprich: Wirkung) so zu bestimmen, dass man aus dem leibnizschen Prinzip der kleinsten Wirkung die newtonschen Bewegungsgesetze ableiten konnte. Der bedeutende Mathematiker Euler, der wie Leibniz an der preußischen Akademie der Wissenschaft lehrte, fand dann eine jener Bedingung genügende infinitesimale Definition der Wirkung, wobei er letztere als eine Größe mit der Dimension Energie mal Zeit bestimmte⁷. Und Euler war es auch, der anknüpfend an Vorarbeiten der Leibniz-Schüler Jacob und Johann Bernoulli mit dem heute als **'Variationsrechnung'** bezeichneten Verfahren eine neue mathematische Methode entwickelte, welche es gestattete, die gesamte Himmelsmechanik aus dem Prinzip der kleinsten Wirkung abzuleiten.

Damit die Pointe dieser Geschichte nicht untergeht, sei nochmals explizit auf sie hingewiesen: Um aus dem leibnizschen Prinzip der kleinsten Wirkung die Gesetze der newtonschen Mechanik deduzieren zu können, wurde der in jenem Prinzip verwendete **Begriff der 'Wirkung' so definiert, dass diese Ableitung gelingen musste**.⁸ Mit anderen Worten: Besagte

4 Vgl. Wikipedia zum Stichwort "Hamiltonsches Prinzip"

5 Vgl. Wikipedia zum Stichwort "Max Planck"

6 Die folgenden Ausführungen zur Geschichte der Physik stützen sich auf Thiele, R. (2005) und Treder, HJ. (1996)

7 Euler verwendete zwar noch nicht die erst zu Beginn des neunzehnten Jahrhunderts aufkommende Bezeichnung 'Energie', die von ihm definierte Größe enthält jedoch das, was wir heute als kinetische Energie bezeichnen.

8 Vgl. Treder, HJ. (1996), Seite 68

Ableitung ist eine inhaltsleere, empirisch prinzipiell nicht widerlegbare **Tautologie**. Oder nochmals anders gesagt: Wenn unser Universum ein anderes wäre und der Newton jenes Universums entsprechend andere Bewegungsgesetze herausgefunden hätte, könnte man bei einer auf diese Gesetze abgestimmten Definition des Wirkungsbegriffs ebenfalls wieder 'beweisen', dass besagte Gesetze dem Prinzip der kleinsten Wirkung genügen - um damit die Weisheit des Schöpfers jenes Universums zu belegen.

Der **mystische Schein** des Prinzips der minimalen Wirkung hat aber noch einen zweiten Aspekt. Das genannte Prinzip vergleicht nämlich die durch unsere Naturgesetze bestimmten Teilchenwege nicht nur mit den durch die Gesetze einer möglichen anderen Natur determinierten Bahnen. Vielmehr impliziert es auch die Behauptung, dass in unserer Welt jede **naturgesetzlich** festgelegte Bahn kleinere Wirkungen repräsentiere als sämtliche **künstlich** (sprich: durch Menschenhand) herbeigeführten Alternativbahnen. Ich möchte nun noch zeigen, dass auch diese Aussage bei genauerer Betrachtung inhaltsleer ist. Zu diesem Zweck betrachte ich wieder die von Feynman präsentierte Situation, bei der sich aus der Perspektive der newtonschen Bewegungsgesetze folgender Ablauf der Ereignisse zeigt:

- Der von mir beispielhaft angenommene Stoß erteilt dem Teilchen zum Zeitpunkt t_1 eine bestimmte kinetische Energie. Wäre es ab diesem Augenblick keinen zusätzlichen Kraftwirkungen ausgesetzt, müsste es sich in der Folge in alle Ewigkeit auf einer geraden Bahn mit gleichförmiger Geschwindigkeit weiterbewegen.
- Da aber der Stoß im Gravitationsfeld einer Masse stattfindet, besitzt das Teilchen zum Zeitpunkt t_1 neben seiner durch den Stoß erteilten kinetischen Energie auch die am jeweiligen Punkt des Gravitationsfeldes bestehende potentielle Energie.
- Diese wandelt sich nun in jedem weiteren Augenblick des Geschehens sukzessive in kinetische Energie um, wodurch die Richtung der Flugbahn des Teilchens Stück für Stück näher an das Zentrum des Gravitationsfeldes herangedreht wird, sodass sich letztlich die bekannte parabelförmige Bahn ergibt.
- Die Form der Bahn ist also rein kausal bestimmt, wobei (im hier angenommenen Idealfall) mit dem durch Richtung und Stärke definierten Ausgangstoß und der durch ihre Feldstruktur beschreibbaren Gravitation nur zwei Kausalfaktoren im Spiel sind.

Dass diese Bahn eine schöne Parabelform aufweist, ist natürlich **kein** Hinweis auf ein im Geheimen wirkendes Effizienzprinzip. Bei entsprechender Größe und Verteilung der im Spiel befindlichen Massen können nämlich durchaus Gravitationsfelder resultieren, die eine entlang seltsam gewundener Schlangenlinien führende Bewegung des Teilchens bewirken. Wie immer jedoch die Struktur der jeweiligen Gravitationsfelder aussieht, und wie daher die natürliche Teilchenbahn geformt ist: in jedem Fall ist auf ihr die physikalische Wirkung, die während der Zeitspanne t_1 bis t_n zwischen dem Ausgangspunkt (X_1) und dem zum Zeitpunkt t_n erreichten Punkt X_n entsteht⁹, kleiner als die während derselben Zeitspanne auf sämtlichen alternativen Wegen zwischen diesen beiden Punkten anfallende physikalische Wirkung.

Ich will nun erläutern, warum das bei der gegebenen Definition von physikalischer Wirkung immer so sein **muss** – und zwar nicht nur unabhängig von der jeweiligen Struktur der Gravitationsfelder, sondern sogar auch völlig unabhängig von der konkreten Gestalt des Gravitationsgesetzes. Damit wird die folgende Überlegung zeigen, dass auch in Universen mit anders gearteten Gravitationsgesetzen jeder künstliche Eingriff in die von den jeweiligen Naturgesetzen vorgegebenen Bahnen mit Notwendigkeit zur Erhöhung der physikalischen Wirkung

9 Also die kinetische minus der potentiellen Energie, integriert über die Zeitspanne zwischen t_1 und t_n

führen müsste. Ließe sich dies nämlich nicht nachweisen, könnte man ja wieder vermuten, dass unsere Welt mit ihren ganz speziellen Naturgesetzen einen Sonderstatus besitzt, in dem sich die unendliche Weisheit eines Schöpfers offenbart.

Vergessen wir also für einen Augenblick die konkrete Gestalt unseres Gravitationsgesetzes und vergessen wir auch das durch dieses Gesetz mitbestimmte komplexe Wechselspiel von kinetischer und potentieller Energie, um nur jene Aspekte unserer Beispielsituation eines durch ein Gravitationsfeld fliegenden Teilchens im Auge zu behalten, welche es erlauben, das anstehende Problem auf der geforderten höheren Allgemeinheitsstufe zu behandeln. Aus dieser Perspektive kann man die vorliegende Situation durch die folgenden sechs Feststellungen beschreiben:

1. Die während einer bestimmten Zeitspanne auf einen Körper ausgeübte physikalische Wirkung ist definitionsgemäß gegeben durch das zeitliche Integral der jeden Moment der betreffenden Zeitspanne auf ihn übertragenen Energie.
2. Die Größe der in jedem einzelnen Moment übertragenen Energie entspricht der in jedem Moment auf den Körper wirkenden Kraft.
3. Im vorliegenden Beispiel unterliegt das Teilchen nach der anfänglichen Erteilung eines Stoßes nur mehr der Wirkung der Schwerkraft.
4. Die mit der natürlichen Bahn des Teilchens verbundene physikalische Wirkung (in der Definition von 1.) ist daher gemäß 2. und 3. nur von jener durch das jeweilige Gravitationsgesetz bestimmten Wirkung der Schwerkraft abhängig.
5. Bei Abwesenheit weiterer natürlicher Kausalfaktoren sind alle Abweichungen von dieser Bahn Folgen des zusätzlichen Wirkens von mindestens einer künstlich ins Spiel gebrachten weiteren Kraft.
6. Jede durch eine solche zusätzliche Kraftwirkung entstehende künstliche Bahn repräsentiert daher gemäß 2. ein im Vergleich zur natürlichen Bahn höheres Ausmaß an physikalischer Wirkung (in der Definition von 1.) -

- womit bewiesen ist, dass auch in allen 'anderen Universen' mit beliebigen anderen Gravitationsgesetzen jeder Eingriff in eine von jenen Gesetzen vorgegebene Bahn notwendig zu einer Erhöhung der physikalischen Wirkung führen muss. Die gewählte Definition von physikalischer Wirkung stellt also tatsächlich sicher, dass ein ergänzend zum natürlichen Wirken des Kraftfelds stattfindendes **zusätzliches menschliches Wirken** in jedem Fall auch die messbare **physikalische Wirkung erhöht**.

Aus dem eben erläuterten Umstand, dass der aus jeder Abweichung von der natürlichen Teilchenbahn resultierende Anstieg der physikalischen Wirkung nur der Ausdruck eines ergänzend hinzutretenden menschlichen Wirkens ist, ergibt sich noch eine weitere Kritik am mystischen Schein des Prinzips der minimalen Wirkung. Es gilt nämlich zu beachten, dass das zusätzliche menschliche Wirken durch zwei **subjektive** Zielsetzungen bestimmt ist: Zunächst soll (aus welchen Gründen auch immer) eine Abweichung von der natürlichen Bahn bewirkt werden, dann aber soll das Teilchen (abermals aus gewissen subjektiven Gründen) doch wieder an einem bestimmten Punkt dieser Bahn (dem jeweils gewählten Punkt X_n) ankommen. Dass X_n ein Ziel des Teilchenfluges ist, kommt somit erst durch die subjektive menschliche Betrachtung der Teilchenbahn und die mit dieser Betrachtung verbundenen Zielsetzungen ins Spiel, hat also mit dem berühmten 'objektiven' Ablauf der Dinge überhaupt nichts zu tun. Allein schon unter diesem Gesichtspunkt, ist die Aussage, dass die Natur das Teilchen mit minimalem Aufwand zum Ziel X_n befördert, eine zurückzuweisende Mystifikation.

on. Denn jede Minimierung eines Aufwands setzt bestimmte Ziele voraus - und solche sind eben erst Bestandteile der menschlichen Betrachtung des Geschehens.

Beseitigt man all diese dem Prinzip der minimalen Wirkung anhaftenden Mystifikationen, dann bleibt von jenem Prinzip auch unter dem Aspekt des Vergleichs von natürlichen mit künstlich veränderten Abläufen nichts übrig als eine **bloße Tautologie**. Wenn man nämlich alles Geschehen als Resultat eines Wirkens begreift, wobei man zwischen den natürlichen stattfindenden und den durch menschliche Handlungen ausgelösten physikalischen Wirkungen unterscheidet, dann sagt das Prinzip der kleinsten Wirkung nur Folgendes: Hat ein beliebiger natürlicher Prozess ein bestimmtes Ergebnis A, das aus einer bestimmten Menge an physikalischen Wirkungen resultiert, dann sind alle handelnden Eingriffe in diesen Prozess, bei denen das Ergebnis A gewahrt bleibt, mit einer Erhöhung der Gesamtsumme der in diesem Prozess enthaltenen physikalischen Wirkungen verbunden.

Um Missverständnisse zu vermeiden, ist abschließend zu betonen, dass sich alle vorangehenden Argumente **nicht** gegen das Prinzip der kleinsten Wirkung selbst richten, sondern nur gegen eine bestimmte **Deutung** (um nicht zu sagen 'Instrumentalisierung') dieses Prinzips. So wenig nämlich Letzteres wegen seines tautologischen Charakters als Gottesbeweis taugt, so wenig ist der Ansatz, natürliche Prozesse von ihren **Resultaten** her aufzurollen, grundsätzlich zu verwerfen. Dieser von Leibniz gegenüber Newtons Ursache-Wirkungs-Denken ins Spiel gebrachte Blick auf das Naturgeschehen ist nämlich nur **inhaltlich** eine Tautologie, hat sich aber in **formaler** Hinsicht als äußerst fruchtbar erwiesen. Die auf ihm fußenden Innovationen reichen von der bereits erwähnten Entwicklung der Variationsrechnung bis hin zur feynmanschen Formulierung der Quantenmechanik, welche beim Beschreiben der Bewegung eines Teilchens von Punkt A zu Punkt B **alle möglichen** Pfade von A nach B berücksichtigt und nicht, wie in der klassischen Mechanik, nur den Pfad mit der kleinsten Wirkung¹⁰.

Vergleicht man Newton Methode, den jeweils analysierten Naturvorgang als Ergebnis von vorangehenden Ursachen aufzufassen, mit dem leibnizschen Ansatz, der alles aktuelle Geschehen als ein Bewirken von angestrebten künftigen Zuständen ansieht, so sind **zwei wesentliche Gemeinsamkeiten** dieser beiden Sichtweisen zu beachten:

1. Beide repräsentieren unterschiedlich akzentuierte Versuche, die **Abläufe der Natur nach dem Muster des menschlichen Handelns zu modellieren**.¹¹ Letzteres erschließt sich dem Verstehen über seine jeweiligen **Motive**, wobei man zwischen Umzu- und Weil-Motiven zu unterscheiden hat¹². Durch die Weil-Motive begründet der Akteur sein Tun von den jeweiligen Ausgangsbedingungen seines Handelns her (*"Ich nehme einen Schirm zur Hand, WEIL es regnet."*), während er über die Umzu-Motive sein Tun an den jeweils angestrebten Zielen orientiert (*"Ich spanne den Schirm auf, UM trocken nach Hause ZU kommen."*). Es liegt auf der Hand, dass Ursachen das naturwissenschaftliche Pendant zu den Weil-Motiven darstellen, während das zur Formulierung des Prinzips der kleinsten Wirkung führende Aufwand-Nutzen-Denken die Struktur der Umzu-Motive auf die die Natur projiziert.

10 Weitere Hinweise zur Fruchtbarkeit der Reflexion auf das Prinzip der kleinsten Wirkung in: Treder, H.J. (1996)

11 Eine ausführliche erkenntnistheoretische Analyse der anthropomorphen Modellierung der Natur findet sich in: Czasny, K. (2010): S.18-32

12 Vgl. Schütz, A. (1932)

2. Beide Modelle sind (so wie alle naturwissenschaftlichen Modellvorstellungen) nur im Sinn von "**Als-Ob-Annahmen**" anwendbar (*"Es sieht für uns so aus, als ALS OB eine Kraft hinter der beobachteten Änderung der Bewegung eines bestimmten Körpers stünde. Es sieht für uns so aus, ALS OB diese Kraft den Körper mit minimalem Aufwand zu bestimmten Orten beförderte."*). Sie dürfen also keinesfalls als ein Wissen darüber, was in der Natur **an sich** geschieht, aufgefasst werden. Die Natur an sich ist so wenig durch Ursachen gelenkt, wie sie bestimmten Zielen zustrebt. Beide Arten von Ordnungsmustern dienen nur der Strukturierung der Wahrnehmung des handelnden Menschen, wobei die Legitimation jedes dieser beiden Ordnungsprinzipien ausschließlich auf dem Erfolg jener Handlungen beruht, die sich an den auf seiner Basis organisierten Wahrnehmungen orientieren.

Zitierte Fachliteratur

- CZASNY, K. (2010), Quantenphysik als Herausforderung der Erkenntnistheorie, Verlag Karl Alber Freiburg/ München
- FEYNMANN, R., LEIGHTON, R., B., SANDS, M. (1963): Feynman Vorlesungen über Physik, Bd. II, München (1991), R. Oldenbourg Verlag
- SCHÜTZ, A. (1932): Der sinnhafte Aufbau der sozialen Welt, Konstanz (2004), UVK Verl.-Ges.
- THIELE, R. (2005): Die Bedeutung der Variationsrechnung für das teleologische Denken im 18. Jahrhundert; in: Mathesis, Naturphilosophie und Arkanwissenschaft im Umkreis Friedrich Christoph Oetingers; Hrsg.: Holtz, S., Betsch, G., Zwink, E.; Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2005
- TREDER, HJ. (1996): Die beste aller Welten - Leibniz' Physik der Prinzipie; in: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 13 (1996) 5, Seite 67 bis 71