

Zwei Sünden Newtons: Fernwirkung und absoluter Raum – oder doch keine Sünden?

Friedrich Herrmann
Karlsruher Institut für Technologie

Es geht um Newton (1642-1727), und was jeder von ihm kennt sind die drei Gesetze. Sie stehen in seinem Hauptwerk Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie, kurz die Principia, das 1687 erschien.

Hier sind sie, und hier noch einmal besser lesbar:

1. Gesetz.

Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.

2. Gesetz.

Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.

3. Gesetz.

Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper auf einander sind stets gleich und von entgegengesetzter Richtung.

Außer diesen Gesetzen steht noch viel mehr in dem Buch. Heute ist es allerdings recht schwer lesbar. Eigentlich sind auch die drei Gesetze nicht ganz leicht verständlich, aber wir haben uns an sie gewöhnt, sie scheinen uns sogar plausibel, und sie werden jedem Studenten, und jedem Schüler zugemutet. Aber sie haben es aber in sich.

Man kann sich wundern, dass es Newton überhaupt gelungen ist, sie zu formulieren. Denn eigentlich fehlte Newton eine wesentliche Voraussetzung dafür: der Feldbegriff. Felder wurden erst 150 Jahre später mit der Elektrodynamik eingeführt. Das Fehlen des Feldbegriffs macht sich bei Newton an zwei Stellen bemerkbar. Man kann auch sagen, dass Newton zwei Hilfskonstruktionen erfinden musste, damit eine Beschreibung trotzdem gelingen konnte. Aus heutiger Sicht kann man auch sagen, dass die Newtonsche Mechanik zweierlei begriffliche Mängel hat. Um diese soll es nun gehen. Es ist das, was im Vortragstitel als Sünden bezeichnet wurde.

Den ersten dieser Mängel erkennt man am Besten an Hand des 3. Gesetzes. Wir betrachten zwei Körper A und B, etwa die Erde und den Mond, Abbl. 1. A übt auf B eine Kraft aus,

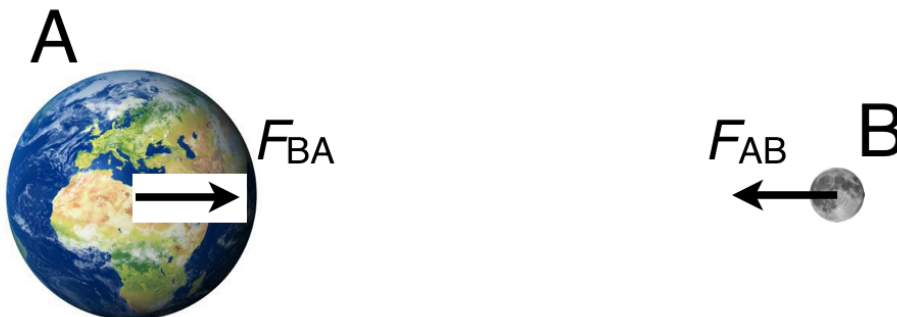


Abb. 1 Die Erde übt eine Kraft auf den Mond aus und der Mond übt eine Kraft auf die Erde aus.

und B auf A. Nach dem dritten Gesetz sind diese Kräfte entgegengesetzt gleich. Die Kraft auf den Mond B, also eine Wirkung am Ort des Mondes, wird verursacht durch die Erde A, d.h. einen anderen, weit entfernten Körper.

Da eine Kraft eine Impulsänderung zur Folge hat, siehe das zweite Newtonsche Gesetz, haben wir also eine Impulszunahme von A und eine Abnahme bei B. Man würde sagen, dass der Impuls irgendwie von B nach A gelangt ist. Davon ist aber bei Newton nicht die Rede. Denn wenn er das gesagt hätte, so hätte man sofort gefragt: Wie kommt der denn da rüber? Er muss ja irgendwie den Raum dazwischen überwinden, und wenn Impuls durch den Raum geht, so muss sich ja dort irgendetwas befinden, was den Transport ermöglicht. Etwas vorsichtiger kann man es auch so ausdrücken: Wenn an einer Stelle des Raum Impuls fließt und an einer anderen nicht, dann müssen sich diese beiden Stellen in irgendeiner Eigenschaft voneinander unterscheiden. Und eine solche Eigenschaft kannte man nicht.

Deshalb spricht Newton nicht von einem Impulstransport. Stattdessen hat er die raffinierte Sprache erfunden, die wir alle kennen, und die wir heute noch benutzen: B übt auf A eine Kraft aus. Also nicht: Von B nach A geht Impuls.

Nun ist allerdings auch in der Newtonschen Kraftsprache das Problem nicht ganz vom Tisch. Jetzt würde man es vielleicht so formulieren: Woher weiß der Mond, dass sich in 400 000 km Abstand die Erde befindet. Hierzu äußert sich Newton einfach nicht, und es fällt ja auch nicht so stark auf, wie wenn er gesagt hätte, der Impuls geht vom Mond zur Erde.

Die spätere Kritik an dieser Beschreibungsweise wird so ausgedrückt: Newton hat „Fernwirkungen“ angenommen. Man weiß heute, man weiß seit Mitte des 19. Jahrhunderts, dass das eine schlechte Vorstellung ist, aber man sieht es Newton nach: Er konnte nicht anders, er hatte den Feldbegriff noch nicht.

Wenn man nun Newtons Werk liest, so könnte man zunächst zu der Schlussfolgerung kommen, Newton habe selbst an Fernwirkungen geglaubt; an diese magische *Actio in distans*; man könnte denken, er war wissenschaftlich noch nicht auf der Höhe. Mit einer solchen Auffassung würde man aber weit daneben liegen. Dass eine Fernwirkung ein unwissenschaftliches Konzept ist, war Newton klarer als kaum einem anderen. Gegen eine solche Vorstellung muss und musste sich jeder, der wissenschaftlich denkt, sträuben – egal wie weit fortgeschritten die mathematische Beschreibung der Natur ist. Und Newton hat diese Vorstellung vehement kritisiert.

In einem Brief an den Theologen Richard Bentley (1662-1742) im Jahr 1693, also 6 Jahre nach dem Erscheinen der Principia, schreibt er:...

Dass die Schwere über eine Entfernung durch ein Vakuum ohne die Vermittlung von irgendetwas anderem ... wirken sollte, ist für mich eine solche Absurdität, dass ich glaube, dass niemand, der in philosophischen Dingen eine hinreichende Denkfähigkeit hat, darauf hereinfallen könnte.

Die Schwere muss durch ein Agens verursacht werden, das ständig gemäß bestimmter Gesetze wirkt, aber ob dieses Agens materiell ist oder nicht, ist eine Frage, die ich der Betrachtung des Lesers überlasse.

Also Fernwirkungen sind eine absurde Idee für jeden, der denken kann. Klarer kann man es kaum ausdrücken. Aber warum steht davon nichts in seinen Principia?

Hierauf findet man die Antwort in einer Ergänzung in der zweiten Auflage der Principia, aus dem Jahr 1713 (26 Jahre nach der Erstauflage, Newton war 71 Jahre alt): Dort steht sein berühmtes

Hypoteses non fingo,

sinngemäß übersetzt: Ich spekuliere nicht. Er hatte an sein Werk einen hohen Anspruch gestellt: Dass in seinen Argumenten nichts vorkommt, was nicht beobachtet oder bewiesen ist.

Soweit seine erste „Sünde“: Die Fernwirkungen.

Nun zur zweiten. Diese erkennen wir, wenn wir das 1. Gesetz betrachten. Ich bringe es in moderner, kurzer Formulierung:

Ein kräftefreier Körper bewegt sich geradlinig gleichförmig.

Ist das einleuchtend? Eigentlich gar nicht. Warum nicht? Jeder Körper bewegt sich geradlinig gleichförmig, wenn man nur das Bezugssystem geeignet wählt. Damit der Satz überhaupt einen Sinn bekommt, muss man also sagen, gegen wen oder was sich der Körper geradlinig gleichförmig bewegt. Und das hat Newton natürlich gesagt, in aller Ausführlichkeit. Denn sein Werk beginnt nicht mit den drei Gesetzen. Die kommen zwar ziemlich am Anfang, aber voraus geht ihnen ein Kapitel mit Definitionen und Begriffsklärungen. Da wird erklärt, was er unter Bewegungsmenge versteht, unter Masse usw., und auch: gegen wen Bewegungen zu beschreiben sind, nämlich gegen den *absoluten Raum*:

Der absolute Raum bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußern Gegenstand, stets gleich und unbeweglich.

Eine Bewegung gegen den absoluten Raum nennt er eine *wahre Bewegung*. Was er unter dem absoluten Raum versteht, erläutert er ausführlich, umständlich, nicht ganz leicht lesbar. Die Quintessenz finden wir aber im folgenden Satz:

Die Ursachen, durch welche wahre und relative Bewegungen verschieden sind, sind die Kräfte, welche zur Erzeugung der Bewegung auf die Körper eingewirkt haben. Eine wahre Bewegung wird nur erzeugt oder abgeändert durch Kräfte, welche auf den Körper selbst einwirken, wogegen relative Bewegungen erzeugt und abgeändert werden können, ohne dass die Kräfte auf diesen Körper einwirken.

Wenn wir also alle Kräfte kennen, so können wir auch entscheiden, ob eine Bewegung eine „wahre“ Bewegung ist. Denn wenn wir keine Kräfte haben, wird eine wahre Bewegung nicht verändert.

Wird ein Körper beschleunigt, so treten nach Newton Trägheitskräfte oder Scheinkräfte auf. Beschleunigt gegen wen? Natürlich wieder gegen den absoluten Raum.

Nun kam man später zu der Überzeugung, dass es einen absoluten Raum nicht gibt. Hier, so das Urteil der Nachwelt, hat Newton gegen seinen eigenen Grundsatz verstoßen „Hypotheses non fingo“.

1897 sagt Ernst Mach dazu:

Dass Newton auch in den eben mitgetheilten Überlegungen gegen seine Absicht, nur das *Thatsächliche* zu untersuchen, handelt, ist kaum nöthig zu bemerken. Ueber den absoluten Raum und die absolute Bewegung kann niemand etwas aussagen, sie sind blosse Gedankendinge, die in der Erfahrung nicht aufgezeigt werden können.

Etwas respektlos steht es im Dorn-Bader:

Dazu war es nötig, die Worte „absolute Zeit“, „absoluter Raum“ als unbewiesene, ungeprüfte magische Vorurteile vorrelativistischer Physik zu entlarven.

Newton magische Vorurteile zu unterstellen geht wohl aber doch etwas zu weit.

Jedenfalls ist das Newtons zweite Sünde.

Ich fasse diesen Teil des Newtonschen Gedankengebäudes noch einmal zusammen und drücke es etwas anders aus: Es gibt zwei Arten von Gravitationskräften, die „gravitostati-

schen“, die durch das Gravitationsgesetz beschrieben werden und die Trägheitskräfte, die bei einer Beschleunigung gegen den absoluten Raum auftreten. Für beide musste Newton Hilfskonstruktionen erfinden: für die ersten hat er die Fernwirkungen angenommen, und für die zweiten den absoluten Raum.

Wir wollen nun versuchen, die beiden Mängel oder Sünden zu beurteilen.

Zur ersten ist nicht viel zu sagen: Wir stimmen mit Newton, und allen anderen überein, dass das ein Provisorium war. Newton wusste, dass diese Beschreibung mit Kräften nicht das letzte Wort sein kann.

Interessanter ist die zweite. Sie sehen, dass ihm das wirklich übel genommen worden ist.

Hierzu zwei Bemerkungen: Wenn Newton die Fernwirkungen gemocht hätte, so hätte er auf den absoluten Raum leicht verzichten können, indem er auch in diesem Zusammenhang Fernwirkungen einführt. Wie soll das gehen? Das Problem war ja: Gegen was bewegen sich die Körper, wenn sie sich geradlinig gleichförmig bewegen? Oder gegen wen wird ein Körper beschleunigt, auf den eine Trägheitskraft wirkt, also etwa ein rotierender Körper?

Eine Fernwirkungsantwort auf die Frage stammt nicht von Newton selbst, sondern von einem Zeitgenossen von ihm, dem irischen Philosophen George Berkeley (1685 -1753):

Wenn jeder Ort relativ ist, dann ist auch jede Bewegung relativ und Bewegung kann nicht verstanden werden ohne die Festlegung ihrer Richtung, welche wiederum nicht verstanden werden kann ohne Beziehung zu einem anderen Körper. Oben, unten, rechts, links – alle Richtungen und Orte beruhen auf irgendeiner Beziehung, und man braucht noch einen anderen Körper als den, der sich bewegt ... so dass die Bewegung ihrer Natur nach relativ ist, sie kann nicht verstanden werden solange die Körper nicht gegeben sind, auf die sie sich bezieht, oder allgemeiner: Es kann keine Beziehung geben, wenn es nichts gibt, worauf es sich bezieht.

Und weiter

Stellen wir uns vor, es existierten zwei Kugeln und sonst nichts, dann ist eine Rotationsbewegung der Kugeln um ihren gemeinsamen Schwerpunkt nicht vorstellbar. Aber stellen wir uns nun vor, dass der Himmel mit den Fixsternen plötzlich erschaffen wird. Dann sind wir in der Lage, uns die Bewegung der Kugeln vorzustellen relativ zu den verschiedenen Teilen des Himmels.

Dass das tatsächlich funktioniert, wird sehr schön in einem modernen Buch gezeigt: *The physical foundations of general relativity*, von Sciama. Man muss nur ein Abstandsgesetz nehmen nach dem die Kraft langsamer abklingt als $1/r^2$.

Wir sehen, dass mit dieser Idee sowohl die gravitostatischen Kräfte, als auch die Trägheitskräfte durch Fernwirkungen beschrieben werden können.

Das hätte Newton ohne weiteres auch so darstellen können. Er hätte den absoluten Raum nicht gebraucht. Die Bewegung im ersten Gesetz wäre eine Bewegung gegen die Sterne gewesen, und seine Theorie hätte nur eine Sünde enthalten, und die gleich zweimal, aber gewissermaßen entschuldigt durch sein „Hypothesen non fingo“. Stattdessen nun aber die scheinbare Entgleisung: der absoluter Raum.

Und gerade diesen möchte ich nun verteidigen. Man kann nämlich gerade ihn auffassen als das gesündere Konzept: als einen Vorläufer des Gravitationsfeldes. Es ist ja eine lokale, nicht fernwirkungsartige Beschreibung; es ist also die modernere Beschreibung.

Wir sagen, es gibt den absoluten Raum nicht; aber stellen Sie sich mal vor, es gäbe ihn. Dann wäre die Newtonsche Beschreibung im Sinn der Wissenschaftstheorie die bessere Beschreibung.

Es wird nun immer wieder gesagt: Den absoluten Raum gibt es nicht. Wir haben ja die Zitate gesehen. Hier ist nichts, wogegen sich ein Körper bewegt. Ist hier wirklich nichts? Nun, das kann man aus moderner Sicht weiß Gott nicht mehr sagen. Man kann sogar feststellen, dass sich der Raum, das Vakuum im Laufe des 20. Jahrhunderts mehr und mehr gefüllt hat: die Quantenelektrodynamik sagt uns, dass das, was wir elektrische und magnetische Felder nennen, nur die angeregten Zustände sind, von etwas, was auch dann vorhanden ist, wenn die Feldstärken null sind, was sich dann im Grundzustand befindet. Ähnliche Geschichten erzählen uns die Teilchenphysiker.

Und in den letzten Jahrzehnten kamen dann auch noch Dinge hinzu wie die dunkle Energie. Also die Behauptung: Da ist nichts, lässt sich schon lange nicht mehr halten. Aber auch im Zusammenhang mit der Gravitation kann man nicht sagen: Da ist nichts. Wir wissen, dass da etwas ist, dessen Eigenschaften wir benennen können. Wir nennen es gewöhnlich Raum, ein ungeschickter Name, denn umgangssprachlich bedeutet Raum einfach nur das Innere einer leeren Kiste. Wir wissen aber, dass der „Raum“ lokale Eigenschaften hat. Etwa seine Krümmung. Sie ist messbar und von Ort zu Ort verschieden.

Die Situation ist deshalb unbefriedigend, weil man für dieses Etwas keinen ordentlichen, allgemein gebräuchlichen Namen hat. Früher hätte man es Äther genannt, die Quantenelektrodynamiker und die Teilchenphysiker nennen es Vakuum, die Gravitationsphysiker nennen es Gravitationsfeld. Bedenken Sie dabei, dass das Gravitationsfeld nicht einfach die Feldverteilung von g ist. g ist eine Größe, die das Feld beschreibt, aber $g = 0$ heißt nicht, dass das Feld nicht mehr da ist. Im Übrigen sagt uns die RT, dass das Gravitationsfeld durch einen Tensor mit 10 verschiedenen Komponenten beschrieben wird.

Zurück zu Newton: Angesichts dieser Tatsachen kann man mit gutem Recht sagen: das was Newton da eingeführt hat, seinen absoluten Raum, können wir als Vorläufer betrachten von dem, was wir heute Gravitationsfeld nennen.

Also meine Schlussfolgerung:

Newtons erste Sünde: Fernwirkungen: eingestanden und entschuldbar

Newtons zweite Sünde: Der absolute Raum: die kleinere Sünde, da lokale Wirkung, oder vielleicht gar keine Sünde? .

[1] *Newton, I.*: Aus *Mach, E*: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Leipzig: Brockhaus, 1897, S. 221

[2] *Mach, E*: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Leipzig: Brockhaus, 1897, S. 223

[3] Dorn-Bader, Physik, Gymnasium Gesamtband, Hannover: Schroedel, 2000, S. 405

[4] *Sciama, D. W.*: The Physical Foundations of General Relativity. New York: Doubleday & Company, 1969, S. 22-33