

9. Mathematische Formulierung der Bewegungsgesetze

Aufbauend auf den Erkenntnissen von Kepler zu den Planetenbewegungen und von Galilei zum freien Fall gelang Newton der große Wurf: Die mathematische Formulierung eines ganz allgemeinen Gesetzes, das für alle Bewegungen Gültigkeit hat. Während Kepler und Galilei sich mit Einzelphänomenen beschäftigten, für die sie die mathematische Beschreibungen aus den Daten ableiteten, ohne nach den Ursachen der Bewegungen zu fragen, schaffte es Newton, das tiefer liegende Gesetz zu formulieren. Hierzu musste er zunächst einmal das geeignete mathematische Rüstzeug, die Differential- und Integralrechnung, entwickeln. Ferner erkannte er, dass die Kraft den Ablauf einer Bewegung bestimmt. Newton gehört deshalb zu den Giganten der Physik, vielleicht nur noch mit Einstein vergleichbar.

9.1 Kräfte als Ursache von Bewegungsänderungen

Kräfte sind uns aus dem täglichen Leben vertraut. Wir verbinden sie meist mit einer Muskelanspannung. Hierzu drei Beispiele:

1. Wir halten ein Gewicht in einer festen Höhe über dem Boden. Dazu müssen wir eine Kraft ausüben.
2. Wir ziehen an einem Expander, dessen Federn sich verlängern. Um die Federn zu dehnen, müssen wir eine Kraft aufwenden.
3. Wir drücken gegen ein Auto, um es anzuschieben, worauf das Auto zu rollen beginnt. In diesem Fall ist die Kraft Ursache für eine Bewegungsänderung.

In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass man streng zwischen der Kraft und einer weiteren physikalischen Größe, der Arbeit, unterscheiden muss. Kurzgefasst ist Arbeit als das Produkt "Kraft mal Weg" definiert. Das bedeutet für die 3 Beispiele:

1. Wenn das Gewicht nur gehalten wird, leistet man keine Arbeit, sondern erst wenn das Gewicht angehoben wird.
2. Um die Federn auseinander zu ziehen, müssen wir Arbeit verrichten, um sie in der Endposition zu halten, ist nur noch eine Kraft nötig.
3. Drückt man gegen ein Auto, dessen Bremse angezogen ist, übt man nur eine Kraft aus. Sobald die Bremse gelöst ist, beginnt das Auto sich aufgrund der von außen geleisteten Arbeit zu bewegen.

Wir wollen als nächstes vom Phänomen der Kraft zu einer physikalisch wohl definierten und messbaren Größe übergehen. Um eine Kraft zu messen, ersetzen wir die Muskelspannung durch die Spannung einer Feder. Ein hierzu geeignetes Gerät ist der Federkraftmesser, der auch kurz Federwaage genannt wird. Es ist eine Art kleiner Expander. Wenn man auf eine Federwaage eine Kraft ausübt, dehnt sich die in ihr befindliche Feder, wobei die Verlängerung der Feder im allgemeinen proportional zur wirkenden Kraft ist. Somit kann der Betrag der Kraft durch Messung einer Länge auf einer geeichten Skala abgelesen werden. Zu Ehren von Newton bezeichnet man heutzutage die Einheit der Kraft mit "1 Newton", abgekürzt 1 N. Eine Kraft F (engl.

force) der Stärke 1 N entspricht in etwa der Gewichtskraft einer 100 g Tafel Schokolade, d.h. $F = 1 \text{ N}$ ist relativ klein.

Nachdem die physikalische Größe "Kraft" definiert ist, können wir die Wirkung von Kräften auf die Bewegung von Objekten studieren. Jede Veränderung einer Bewegung wird durch eine Kraft verursacht. Zieht man mit einer Federwaage an einem sog. "Newton-Wagen", so setzt er sich in Bewegung und wird immer schneller, solange die Kraft wirkt. Die Ausdehnung der Feder gibt an, wie stark die aufgewandte Kraft ist. Dieses qualitative Ergebnis soll jetzt weiter untersucht werden.

9.2 Die Newtonsche Grundgleichung

Im Folgenden bezeichnen wir die Geschwindigkeit mit dem Buchstaben v („velocity“). Die Geschwindigkeit beim Durchlaufen eines Streckenabschnitts Δs ("Δ" für „Differenz“) innerhalb des Zeitintervalls Δt ist definiert als

$$v = \Delta s / \Delta t = (s_2 - s_1) / (t_2 - t_1).$$

Für eine geradlinige Bewegung reicht eine Zahl, um die Geschwindigkeit v anzugeben. Allerdings kann v positive und negative Werte annehmen, positive bei Vorwärtsbewegung und negative bei Rückwärtsbewegung. Die gängigen Einheiten für die Geschwindigkeit sind 1 m/s oder 1 km/h. Ein Fußgänger hat eine Geschwindigkeit von ca. $1 \text{ m/s} = (3600 \text{ m}) / (3600 \text{ s}) = 3,6 \text{ km/h}$. Die Geschwindigkeit eines Autos mit $v = 72 \text{ km/h}$ entspricht 20 m/s.

Die Veränderung der Geschwindigkeit wird mit dem Symbol Δv bezeichnet. Wenn die Geschwindigkeit sich in einer gewissen Zeit Δt um die Größe Δv ändert, nennen wir das Verhältnis $\Delta v / \Delta t$ Beschleunigung und bezeichnen es mit dem Buchstaben a ("acceleratio"):

$$a = \Delta v / \Delta t = (v_2 - v_1) / (t_2 - t_1).$$

Auch hier reicht bei einer geradlinigen Bewegung eine Zahl mit Vorzeichen aus, um die Beschleunigung a anzugeben. Ein Auto, das aus dem Stand ($v_1 = 0 \text{ m/s}$) die Geschwindigkeit $v_2 = 30 \text{ m/s} = 108 \text{ km/h}$ in 5 Sekunden erreicht, ist mit $a = (30 \text{ m/s}) / (5 \text{ s}) = 6 \text{ m/s}^2$ beschleunigt worden. Beim Abbremsen wird die Geschwindigkeit eines Körpers verringert, dabei ergeben sich negative Werte für die Beschleunigung.

Um einen Körper der Masse m zu beschleunigen oder abzubremesen, braucht man eine Kraft F . Die Frage ist nun: Wie hängt die Beschleunigung a von F und m ab? Aus der täglichen Erfahrung wissen wir, dass bei gleicher Masse die Beschleunigung um so größer ausfällt, je größer die wirkende Kraft ist. Andererseits ist bei gleichem F die Beschleunigung umso kleiner, je größer die Masse ist. Mit menschlicher Kraft kann man leicht einen Kinderwagen in Bewegung setzen, kaum einen PKW und schon gar nicht einen Möbelwagen.

Newton fand heraus, dass es für die Beschleunigung auf das Verhältnis Kraft/ Masse $= F/m$ ankommt, und postulierte den Zusammenhang $a = F/m$ oder umgestellt:

$$\mathbf{F = m \cdot a} \quad \text{oder in Worten: Kraft = Masse mal Beschleunigung}$$

Dies ist **die** Grundgleichung der Mechanik, die auch Newtonsche Grundgleichung oder zweites Newtonsches Axiom genannt wird. Sie ist von einer bewundernswerten Einfachheit.

Man kann dieses Gesetz in verschiedenen Experimenten testen. Dabei beschränken wir uns auf Kräfte, die konstant sind, d.h. die sich nicht mit der Zeit verändern. Ein Beispiel für eine solche Kraft ist die in der Nähe der Erdoberfläche zeitlich und räumlich konstante Gewichtskraft, die die Ursache für den freien Fall und die Bewegung auf der schiefen Ebene ist. Für diese Bewegungen hat Galilei das Bewegungsgesetz $s(t) = k \cdot t^2$ gefunden. Hierin ist die Konstante k gleich der halben Beschleunigung, was durch zweimalige Ableitung der Wegfunktion $s(t)$ nach der Zeit t leicht einzusehen ist.

Versuch zur Gleichartigkeit zweier Bewegungen

Ein Newtonwagen wird aus der Ruhe heraus von einer Gewichtskraft, die mit dem Wagen durch einen über eine Rolle laufenden Faden gekoppelt ist, beschleunigt. Zunächst wird gezeigt, dass diese Bewegung von der gleichen Art ist wie die Bewegung auf der schiefen Ebene. Hierbei wird die schiefe Ebene so geneigt, dass beide Bewegungen synchron verlaufen (siehe Abb. 9.1).

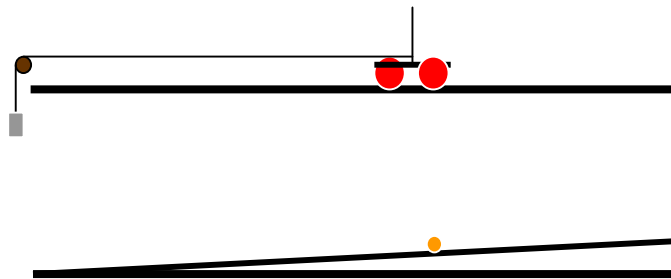


Abb. 9.1: Schematischer Aufbau eines Versuchs, mit dem gezeigt wurde, dass die Bewegung auf der schiefen Ebene nach dem gleichen Weg-Zeit-Gesetz abläuft wie die konstant in waagerechter Richtung beschleunigte Bewegung.

Versuche zum Newtonschen Grundgesetz

In nacheinander ausgeführten Experimenten wurde die Beschleunigung a

- für konstante Masse in Abhängigkeit von der Kraft
- für konstante Kraft in Abhängigkeit von der Masse

bestimmt. Hierzu wurde der Versuchsaufbau mit dem Newton-Wagen aus Abb. 9.1 benutzt, wobei entweder das ziehende Gewicht oder die Gesamtmasse der Anordnung verändert wurde. Zur Bestimmung der Beschleunigung a wurde die Zeit t für eine feste Strecke s gemessen. Dann ergibt sich $a = 2 \cdot s/t^2$. Die Beschleunigung ist also proportional zu s und umgekehrt proportional zu t^2 .

Aus den Experimenten ergab sich:

1. a ist bei konstantem m proportional zu F : $a \sim F$
2. a ist bei konstantem F umgekehrt proportional zu m : $a \sim 1/m$.

Aus (1) und (2) erhält man:

$$a \sim F/m \text{ oder } F \sim m \cdot a. \quad \text{Daraus folgt: } \mathbf{F = f \cdot m \cdot a.}$$

Wenn man die Einheit der Kraft geschickt definiert, so wird die Konstante $f = 1$. Dies wurde durch die Wahl der Einheit $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$ erreicht.

9.3 Anfangsbedingungen, die Welt als Uhrwerk

Was können wir nun aus der Newtonschen Grundgleichung lernen? Will man die Bewegung eines Körpers in Verlaufe der Zeit beschreiben, muss man zu jedem Zeitpunkt t den zugehörigen Ort x kennen. Man schreibt diese Zuordnung auch als $x = f(t)$ oder kurz $x(t)$ und nennt sie das Orts-Zeit-Gesetz. Kann man nun $x(t)$ aus der Newtonschen Grundgleichung ableiten? Um diese Frage zu beantworten, machten wir die folgenden Versuche:

Versuche: Verschiedene Bewegungen im Schwerfeld der Erde

Ein Ball der Masse m bewegt sich unter dem Einfluss der Schwerkraft (Gravitationskraft) F auf drei verschiedene Arten.

1. Der Ball fällt aus der Höhe h zu Boden
2. Der Ball fällt aus der Höhe $H = 2h$ zu Boden.
3. Der Ball wird nicht fallen gelassen, sondern aus der Höhe H senkrecht nach oben geworfen. Er steigt hoch, kehrt um und fällt schließlich zu Boden.

In allen drei Versuchen finden wir verschiedene Orts-Zeit-Gesetze $x(t)$, obwohl die Masse m des Balls, die wirkende Gravitationskraft F und damit die Beschleunigung a nicht verändert wurden.

Die Newtonsche Grundgleichung allein genügt also nicht, um die Bewegung eines Körpers vollständig festzulegen. Es fehlen noch sog. Anfangsbedingungen. In den Versuchen 1 und 2 unterscheiden sich die Anfangbedingungen durch die verschiedenen Orte, die der Ball zu Beginn der Bewegung hat: die Anfangshöhe h bzw. $H = 2h$. Im dritten Versuch ist die Anfangshöhe H die gleiche wie im zweiten, allerdings unterscheiden sich die Anfangsgeschwindigkeiten, null im Versuch 2, ungleich null und nach oben gerichtet in Versuch 3.

Die Versuche legen nahe, dass **mindestens** zwei Anfangbedingungen, Ort **und** Geschwindigkeit zu Beginn der Bewegung vorgegeben sein müssen, um die spätere Bewegung zu bestimmen. Die mathematische Analyse der Newtonschen Grundgleichung zeigt, dass **genau zwei** Anfangsbedingungen nötig sind, um das Ort-Zeit-Gesetz $x(t)$ eindeutig festzulegen.

Für Hörer mit mathematischer Vorbildung: Das Newtonsche Axiom hat die Form einer Differentialgleichung **zweiter** Ordnung:

$$m \cdot d^2x(t)/dt^2 = F(x,t),$$

deren Lösung $x(t)$ genau festgelegt ist, wenn zu einer Zeit t_0 **zwei** Anfangsbedingungen, der Ort $x_0 = x(t_0)$ und die Geschwindigkeit $v_0 = v(t_0)$, gegeben sind.

Das ist ein bemerkenswertes Ergebnis. Bei bekannter Kraft lässt sich für gegebene Anfangbedingungen die Position des Körpers für **alle** Zeiten, d.h. "seine Zukunft" bestimmen. Andere Anfangbedingungen liefern eine "andere Zukunft". Damit ist für eine gegebene Kraft die Bewegung in alle Ewigkeit festgelegt oder lateinisch „determiniert“, wenn die Anfangbedingungen gegeben sind. Dieses Ergebnis lässt sich auf viele Körper, die untereinander Kräfte ausüben, verallgemeinern. Für jeden Körper sind dann zwei Anfangsbedingungen nötig.

Nach Newton stellte man sich die Welt folgendermaßen vor: Sie besteht aus vielen massebehafteten Körpern, zwischen denen Kräfte wirken und die einem System von Newtonschen Grundgleichungen genügen. Bei gegebenen Anfangsbedingungen (Ort

und Geschwindigkeit) für alle Körper, d.h. bei Kenntnis des Zustandes der Welt zu einem gegebenen Zeitpunkt, ist die Entwicklung der Welt für alle Zukunft festgelegt. Die Welt ist damit eine Art großes Uhrwerk. Dieses Ergebnis ist auch philosophisch außerordentlich interessant und wird „Determinismus der klassischen Physik“ genannt.

9.4 Deterministisches Chaos

Für jedes mechanische System gilt: andere Anfangsbedingungen führen zu einem anderen Verhalten des Systems in der Zukunft. Es gibt Systeme, bei denen diese Abhängigkeit nur sehr schwach ausgeprägt ist, z.B. beim Pendel einer Uhr. Wie immer man das Pendel mit nicht zu großer Amplitude anstößt, es wird immer gleichschnell pendeln. In anderen Systemen kann das zukünftige Geschehen sehr empfindlich von der Wahl der Anfangsbedingungen abhängen. Das soll am Beispiel eines Stoßes während eines Billard Spiels gezeigt werden. (siehe Abb. 9.2). Die

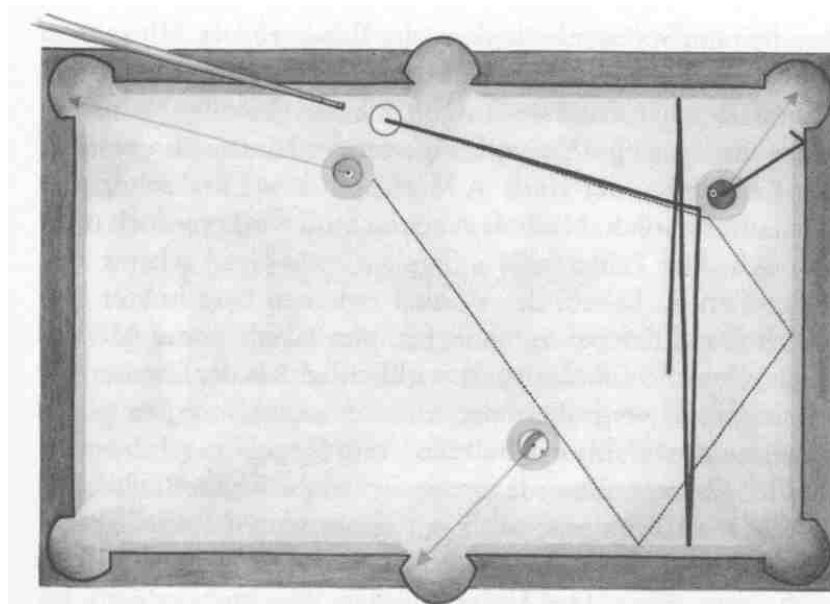


Abb. 9.2: Zwei verschiedene Bahnen (schwarze bzw. graue Linien) einer Billardkugel, die am oberen Rand durch einen Billardstock angestoßen wird. Die Anfangsrichtungen der beiden Stöße unterscheiden sich um 2° .

Richtung, in die man die erste Kugel stößt, ist hier die Anfangsbedingung; der Rest ist dann durch die Gesetze der Mechanik festgelegt. In Abb. 9.2 sind die Bahnen der ersten Kugel für zwei Anfangsbedingungen verglichen, die sich nur um einen Winkel von 2° unterscheiden. Während die eine Anfangsbedingung dazu führt, dass alle drei getroffenen Kugeln in die Löcher rollen, führt die zweite Anfangsbedingung zu gar keinem Erfolg. Wegen dieser Empfindlichkeit müssen Billardspieler auch so geschickt sein. Für einen weniger geschickten Spieler ist das Ergebnis eines Stoßes weitgehend unvorhersehbar. Er mag sogar von einem Chaos sprechen, auch wenn natürlich alles durch die Anfangsbedingungen und die Gesetze der Mechanik festgelegt ist. In der Tat hat sich für solche wenig durchschaubaren, dennoch determinierten Systeme, der Begriff deterministisches Chaos durchgesetzt. Das Wetter ist ein anderes Beispiel für ein solches System. Kleine Ursachen haben große

Wirkungen; deshalb ist es auch so schwierig, verlässliche Wetterprognosen für längere Zeiträume zu erstellen.

9.5 Biographie: Isaac Newton (1643 – 1727)

*Nature and natures laws lay hid in night
God said, let Newton be, and all was light.*

In diesen Versen von Alexander Pope drückt sich die tiefe Verehrung aus, die die Menschen im Zeitalter der Aufklärung dem großen englischen Wissenschaftler entgegenbrachten. Doch Newtons Leben zeigt nicht nur Licht-, sondern auch Schattenseiten. Er war ein Genie von höchsten intellektuellen Fähigkeiten, doch im Umgang mit seinen Mitmenschen fehlte ihm häufig die emotionale Wärme. So blieb er zeitlebens Junggeselle und besaß nur wenige Freunde, deren Geduld und Wohlwollen nicht selten einer harten Zerreißprobe unterworfen wurde. Man kann Newtons Leben gut in 3 Abschnitte einteilen.

1. Kindheit und Jugend in Lincolnshire

Nach dem Julianischen Kalender, der damals in England noch gültig war, wurde Newton am Heiligabend des Jahres 1642 in Woolsthorpe, einer kleinen Gemeinde östlich von Nottingham in der Grafschaft Lincolnshire geboren. Sein Vater, ein wohlhabender Landwirt, der allerdings nicht einmal seinen Namen schreiben konnte, starb bereits vor seiner Geburt. Isaac war 3 Jahre alt, als die Mutter mit einem Pfarrer aus einer Nachbargemeinde eine zweite Ehe einging. So kam er zu seiner Großmutter in Pflege, bis nach 9 Jahren seine Mutter wieder Witwe wurde und er in die Familie mit inzwischen 2 Halbschwestern und 1 Halbbruder zurückkehren durfte. Aus späteren Aufzeichnungen Newtons geht hervor, dass er über seine Mutter und seinen Stiefvater sehr verbittert war und ihnen am liebsten den Tod gewünscht hätte. So ist es nicht verwunderlich, dass häufig die verwirrende Kindheit als Auslöser für Newtons schwierigen Charakter angesehen wird.



Er besuchte die Free Grammar School im nahen Grantham, war jedoch kein herausragender Schüler. In seinen Zeugnissen wird er sogar als wenig initiativ und unaufmerksam geschildert, und ob seine besondere Begabung im Umgang mit mechanischem Spielzeug mehr als eine Anekdote ist, bleibt fraglich. So dachte seine Mutter, inzwischen eine vermögende Frau mit einigem Grundbesitz, dass ihr Sohn der richtigen Mann sei, ihre Geschäfte zu führen und den Besitz zu verwalten. Isaac verließ hierzu die Schule, doch schon bald zeigte sich, dass er für die vorgesehenen Aufgaben kein Talent besaß. Ein Bruder seiner Mutter entschied, dass der Junge zurück in seine ehemalige Schule gehen und sich auf ein Studium vorbereiten solle. Dort zeigte sich nun, dass Isaac doch eine akademische Perspektive hatte, denn er lernte mit wahrer Leidenschaft. Daher überredete der Schulleiter Isaacs Mutter, ihn auf die Universität gehen zu lassen.

2. Newton in Cambridge

Im Juni 1661 wurde Newton Mitglied im Trinity College in Cambridge, dem auch sein Onkel früher angehört hatte. Obwohl seine Mutter wohlhabend war, nahm er den Status eines Stipendiaten an, was bedeutet, dass er die Kosten für das Leben im College erlassen bekam und dafür Dienstleistungen für andere Studenten zu erbringen hatte.

Sein Ziel war es, ein juristisches Examen abzulegen. Zu jener Zeit war die Ausbildung in Cambridge relativ allgemein angelegt und von der Aristotelischen Philosophie beherrscht. Im dritten Jahr hatten die Studenten dann die Freiheit, sich auch mit anderen Gebieten auseinander zu setzen, was Newton nutzte, um sich mit der kopernikanischen Lehre, den Galileischen Schriften und der Keplerschen Optik zu beschäftigen. Dass er schon damals ein sehr selbstständiger Denker war, kommt in folgendem Ausspruch zur Geltung: "Platon ist mein Freund, Aristoteles ist mein Freund, doch mein bester Freund ist die Wahrheit."

Auf welche Weise Newton zur Mathematik kam, ist weniger klar. Sein Interesse für dieses Fach scheint jedoch nicht ursächlich mit der Besetzung des Lucasischen Lehrstuhls durch Barrow zusammenzuhängen. Obwohl seine Studienfortschritte nicht unbedingt überzeugend gewesen sein sollen, erhielt er im April 1665 den Bachelors Degree der philosophischen Fakultät. Bald danach sollte sein Stern aufgehen.

Als im Sommer die Universität wegen der Pest geschlossen wurde, kehrte Newton in seinen Heimatort nach Lincolnshire zurück. Mit 23 Jahren war er auf dem Höhepunkt seiner Schaffenskraft und die beiden folgenden Jahre wurden seine anni mirabiles. Zunächst schuf er die Grundlagen der Infinitesimalrechnung einige Jahre, bevor Leibniz sie unabhängig entwickelte. Danach entdeckte er das Gravitationsgesetz und schuf damit die Dynamik des Sonnensystems. Inwieweit ein fallender Apfel die geniale Idee zündete, dass Vorgänge am Himmel und auf der Erde auf die gleiche Ursache zurückgeführt werden können, ist nicht geklärt. Sicher ist jedoch, dass sowohl die Infinitesimalrechnung als auch die grundlegenden Bewegungsgesetze Voraussetzungen für die Newtonsche Himmelsmechanik waren. Dass man den genauen Hergang bei seinen Arbeiten nur erraten kann, liegt hauptsächlich daran, dass Newton oft jahrelang bis zur Veröffentlichung seiner Ergebnisse wartete. Dadurch ergaben sich Prioritätsprobleme, die des öfteren in längeren Streitereien mündeten. Als Beispiele seien die Briefwechsel mit Hooke und Leibniz genannt. Newton konnte sehr schnell zornig werden, wenn jemand seine Priorität nicht sofort anerkannte oder seine Ergebnisse in Zweifel zog.

Nachdem die Pest besiegt war, öffnete die Universität im Jahre 1667 wieder ihre Pforten. Newton kehrte zurück, erwarb den Master's Degree und wurde bald darauf Fellow im Trinity College. Sein Lehrer Barrow bemühte sich darum, seine mathematischen Arbeiten bekannt zu machen, um Newton nach Aufgabe seines Lehrstuhl als seinen Nachfolger zu empfehlen.

Im Jahre 1669 wurde Newton auf den Lucasischen Lehrstuhl berufen und hatte fortan keine finanziellen Sorgen mehr. Seine ersten Arbeiten in seinem neuen Amt führte er auf dem Gebiet der Optik durch. Aufgrund von Farbfehlern bei Teleskoplinsen war er zu der Überzeugung gekommen, dass weißes Licht nichts Einheitliches war. Er experimentierte mit Sonnenlicht und zerlegte es mit Hilfe eines Prismas in seine Spektralfarben. Dabei kam er zu dem falschen Schluss, dass man mit Hilfe von Linsen keine Teleskope bauen könne, die frei von Farbfehlern seien. Also baute er ein Spiegelteleskop, das er der Royal Society präsentierte und daraufhin im Jahre 1672 zum Mitglied gewählt wurde. Im gleichen Jahr veröffentlichte Newton seine erste Arbeit über "Licht und Farbe". Gegen diese vielbeachtete Arbeit brachten Hooke und Huygens Einwände vor, weil Newton versucht hatte, durch Experimente zu beweisen, dass Licht nicht aus Wellen, sondern aus kleinen Teilchen bestehe. Diese Kritik bestärkte Newton in seiner Meinung, seine Ergebnisse möglichst vor der Welt zu geheim zu halten. Die

Auseinandersetzungen mit seinen Kritikern führten schließlich im Jahre 1678 zu einem Nervenzusammenbruch. Als im folgenden Jahr auch noch seine Mutter starb, zog er sich fast völlig zurück und ging einige Jahre lang kaum unter Leute. Der Biograph Richard Westfall nennt diese Zeit die „schweigsamen Jahre“. Newton beschäftigte sich viel mit theologischen und alchemistischen Problemen. Eine Arbeit handelt z.B. von den philosophischen Ursprüngen der heidnischen Theologie, in der er u.a. den Gedanken formuliert, dass Christus nicht der Urheber einer neuen Befreiung, sondern – wie vor ihm Moses – ein Prophet mit dem Auftrag, die Menschen zur ursprünglichen Anbetung Gottes zu mahnen. Mit solchen ketzerischen Gedanken wollte er natürlich nicht an die Öffentlichkeit treten.

Über diese Studien vergingen viele Jahre, bis Newton eine zusammenfassende Abhandlung seiner physikalischen Ergebnisse und ihrer Anwendung auf die Astronomie verfasste. Erst nachdem ihn der Astronom Halley überredet hatte, kam das Werk "Philosophiae naturalis principia mathematica" im Jahre 1687 heraus. Dieses Buch - kurz Principia genannt - für das Halley die Druckkosten übernahm, sollte zu einem der größten wissenschaftlichen Bücher werden, die je geschrieben wurden.

3. Newtons Zeit in London

Nach der Veröffentlichung der Principia vollzog sich bei Newton eine Verlagerung seiner Interessen. Er wurde Anfang 1689 als Vertreter der Universität Cambridge ins britische Parlament gewählt. Die Wahl verdankte er auch seiner aufrechten Haltung als anglikanischer Protestant, als der zum katholischen Glauben konvertierte König James II. alle wesentlichen Posten – auch an den Universitäten - mit Katholiken zu besetzen versuchte. Doch diese Ära dauerte nur wenige Jahre, Wilhelm von Oranien landete 1688 mit einer Armee in England und James floh nach Frankreich, nachdem die protestantischen Soldaten seine Armee verlassen hatten.

Zu dieser Zeit war Newton, der als Leiter der Universität und als der herausragende Mathematiker in der Welt betrachtet wurde, auf der Höhe seines wissenschaftlichen Ansehens. Auf der anderen Seite zeigte ihm seine Parlamentstätigkeit, dass es in London Dinge gab, die ihm mehr gefallen könnten als seine akademische Welt in Cambridge.

Im Jahre 1693 erlitt er einen zweiten Nervenzusammenbruch, worauf er seine Forschungsarbeiten beendete. Gründe für diesen gesundheitlichen Rückfall sind viele in Betracht gezogen worden – u.a. eine Quecksilbervergiftung, doch scheint eine Depression am wahrscheinlichsten gewesen zu sein. Hiernach beschloss Newton, Cambridge zu verlassen, um in London eine staatliche Anstellung anzunehmen. Charles Montagu, ein Freund aus Studienzeiten, fand 1696 eine angemessene Aufgabe: Aufseher bei der Königlichen Münze. Für dieses Amt war Newton hervorragend geeignet, da er unbestechlich war und die damalige Umprägung der Münzen ohne Kompromisse durchführte. Mit seinem Umzug nach London gewann sein Leben an Glanz. Den Haushalt führte ihm seine noch sehr junge und sehr hübsche Nichte Catherine Barton, die als geistreich und quicklebig beschrieben wurde. Sie machte u.a. tiefen Eindruck auf Newtons Freund Montagu, inzwischen Lord Halifax und Schatzkanzler der britischen Majestät. Es wird vermutet, dass Catherine jahrelang die Geliebte von Lord Halifax gewesen sei und dass Newton ihr seine Beförderung zum Direktor der Königlichen Münze im Jahre 1699 zu verdanken habe. In dieser Stellung hatte Newton relativ viel Zeit und wandte sich u.a. der Theologie und der Alchimie zu.

Über die Alchimie sind keine Veröffentlichungen bekannt, die theologischen sind heute unbedeutend.

Im Jahre 1703 wurde Newton im Alter von 60 Jahren zum Präsidenten der Royal Society gewählt und blieb es durch jährliche Bestätigung bis zu seinem Tode. Er regierte sie mit eiserner Faust, so dass niemand ohne seine Zustimmung gewählt werden konnte.

Königin Anne erhob ihn als ersten Wissenschaftler 1705 in den Adelsstand, so dass er sich fürderhin Sir Isaac nennen durfte. Die letzten Jahre seines Lebens waren beherrscht von der Kontroverse mit Leibniz zu der Frage, wer die Infinitesimalrechnung erfunden habe.

Nach seinem Tode wurde ihm die Ehre zuteil, in der Westminster Abbey beigesetzt zu werden.