





# Bedeutende Theorien des 20. Jahrhunderts

Relativitätstheorie, Kosmologie,  
Quantenmechanik und Chaostheorie

von

Prof. Dr. Werner Kinnebrock

4., verbesserte und aktualisierte Auflage

Oldenbourg Verlag München

**Prof. Dr. Werner Kinnebrock** studierte Mathematik und Physik in Köln und Karlsruhe und promovierte im Fach „Angewandte Mathematik“. Als Professor für Mathematik und Informatik lehrte er an der Fachhochschule Rheinland-Pfalz.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2013 Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH  
Rosenheimer Straße 143, D-81671 München  
Telefon: (089) 45051-0  
[www.oldenbourg-verlag.de](http://www.oldenbourg-verlag.de)

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Lektorat: Kristin Berber-Nerlinger  
Herstellung: Constanze Müller  
Titelbild: Prof. Dr. Werner Kinnebrock  
Einbandgestaltung: hauser lacour  
Gesamtherstellung: Grafik & Druck GmbH, München

Dieses Papier ist alterungsbeständig nach DIN/ISO 9706.

ISBN 978-3-486-73580-2  
eISBN 978-3-486-73582-6

# Vorwort

Die wichtigsten Theorien des 20. Jahrhunderts werden in diesem Buch populärwissenschaftlich dargestellt. Dies sind: Relativitätstheorie, Quantentheorie, Chaostheorie, Kosmologie und Prädikatenlogik. Jeder Abschnitt sollte für sich allein stehen und kann unabhängig von den anderen Kapiteln gelesen werden. Auch kann man das Buch in beliebiger Reihenfolge lesen.

Es liegt in der Natur der Sache, dass bei einer so umfangreichen Zusammenstellung die einzelnen Gebiete nicht in der Form dargestellt werden können, dass das Buch als Lehrbuch gelten kann. Vielmehr ist es das Anliegen des Buches, die interessanten Aspekte der einzelnen Gebiete unterhaltsam so darzustellen, dass Interessierte sich einen Überblick verschaffen können. Dies gilt auch für Studierende, die sich mit einem der Gebiete vertraut machen möchten. Es soll eine Lücke schließen zwischen reinen Sachbüchern und populärwissenschaftlicher Literatur in Einzeldarstellungen. Ideen und Konsequenzen der Theorien sollen dem Leser nahe gebracht werden, ohne den mathematischen Formalismus zu Hilfe zu nehmen. So werden zum Beispiel die Maxwellschen Gleichungen vorgeführt, damit der Leser einen Eindruck für mathematische Formulierungen erhält, jedoch würde es den Rahmen des Buches sprengen, diese näher zu erläutern. Der weitgehende Verzicht auf Formeln wird ersetzt durch verbal gestellte Aufgaben mit Zahlenlösungen, die an unsere Erlebniswelt angepasst sind.

Viele Leser der früheren Auflagen gaben mir wertvolle Anregungen, aber auch Kritiken, die ich in dieser vierten Auflage berücksichtigen durfte. Ich danke all denen, die sich die Mühe machten, mir ihre Vorstellungen zu unterbreiten. Besonders danke ich Herrn Dr. Uwe Hoffmann aus Hamburg für seine kritische und anregende Durchsicht.

Dem Oldenbourg-Verlag sowie der Lektorin Frau Berber-Nerlinger danke ich für die Hilfe und die Möglichkeit zur Publikation.

Bingen, Januar 2013

*Werner Kinnebrock*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Die klassische Physik oder das sichere Wissen</b>	<b>3</b>
2.1 Die Ausgangslage – Scholastik und griechische Philosophie .....	3
2.2 Der Beginn naturanalytischen Denkens – Kopernikus, Kepler, Galilei .....	6
2.3 Der Begründung neuzeitlichen Denkens – René Descartes .....	8
2.4 Die neue Mechanik – Isaac Newton .....	10
<i>Newton und sein Weltbild in der Folgezeit</i> .....	12
<i>Die Probleme mit dem Licht</i> .....	13
2.5 Elektrische Erscheinungen – Faraday und Maxwell .....	15
2.6 Determinismus .....	17
2.7 Zufall und Wahrscheinlichkeit .....	19
2.8 Das Ende der klassischen Physik .....	21
<b>3 Die Spezielle Relativitätstheorie oder das Ende der absoluten Zeit</b>	<b>23</b>
3.1 Der Äther .....	23
3.2 Die Lichtgeschwindigkeit ist konstant .....	24
3.3 Nicht alle Uhren gehen gleich .....	26
3.4 Wer reist, altert langsamer .....	26
3.5 Myonen – messbar und doch nicht vorhanden? .....	27
3.6 Das Zwillingsparadoxon .....	28
3.7 Größer als Lichtgeschwindigkeit? .....	28
3.8 Gleichzeitig ist nicht gleichzeitig .....	30
3.9 Kausalität .....	31

3.10	Massen sind nicht unveränderlich .....	33
3.11	Masse und Energie .....	34
3.12	Die Längenkontraktion.....	35
3.13	Relativitätstheorie und Elektrizität .....	36
3.14	Maxwells Gleichungen und die Relativitätstheorie .....	38
<b>4</b>	<b>Die Allgemeine Relativitätstheorie oder der gekrümmte Raum</b> .....	<b>41</b>
4.1	Schwere und träge Masse .....	41
4.2	Gekrümmte Lichtstrahlen.....	43
4.3	Uhren im Gravitationsfeld.....	44
4.4	Längen im Gravitationsfeld.....	45
4.5	Planetenbahnen werden vermessen .....	46
4.6	Ist der Weltraum gekrümmt ? .....	48
4.7	Die Welt der Flächenmenschen.....	49
4.8	Die Raumkrümmung .....	51
<b>5</b>	<b>Kosmologie oder die Unermesslichkeit des Raumes</b> .....	<b>55</b>
5.1	Das kosmologische Prinzip und die Geometrie des Alls.....	55
5.2	Astronomisches .....	57
5.3	Der Doppler-Effekt .....	59
5.4	Das All dehnt sich aus .....	60
5.5	Die Einsteinschen Gleichungen.....	62
5.6	Die Raum-Zeit-Struktur des Alls.....	62
5.7	Moleküle, Atome, Elementarteilchen.....	65
5.8	Die Hintergrundstrahlung.....	66
5.9	Was geschah nach dem Urknall?.....	67
5.10	Löcher im All? .....	70
5.11	Die Grenzen des Alls.....	71
5.12	Dunkle Materie und dunkle Energie.....	72



<b>6</b>	<b>Die Quantenmechanik oder das Ende der Objektivität</b>	<b>73</b>
6.1	Die Anfänge.....	74
	<i>Max Planck und die Quantisierung</i> .....	74
	<i>Das Doppelspaltexperiment</i> .....	76
	<i>Atome</i> .....	78
	<i>Materiewellen</i> .....	81
	<i>Die Schrödinger-Gleichung</i> .....	83
	<i>Die Lösung der Schrödinger-Gleichung</i> .....	85
	<i>Die Unschärferelation</i> .....	87
6.2	Fakten und Aussagen .....	89
	$\Psi(x,t)$ und Messungen.....	89
	<i>Niels Bohr versus Albert Einstein</i> .....	91
	<i>Das EPR-Paradoxon</i> .....	94
	<i>Das Bellsche Theorem</i> .....	96
	<i>Experimente zur Bestätigung der Quantenmechanik</i> .....	97
6.3	Folgerungen .....	98
	<i>Mikroskopische Realität</i> .....	98
	<i>Makroskopische Realität</i> .....	99
	<i>Ganzheit und Einheit</i> .....	101
	<i>Quantentheorie und Philosophie</i> .....	103
	<i>Quantentheorie, Gehirn und Bewusstsein</i> .....	105
	<i>Quantentheorie und Erkenntnis</i> .....	107
	<i>Quantentheorie und Psychologie</i> .....	108
	<i>Quantentheorie und Evolution</i> .....	109
6.4	Dekohärenz.....	110
<b>7</b>	<b>Chaostheorie oder das Ende der Berechenbarkeit</b>	<b>113</b>
7.1	Zukunft und Berechenbarkeit .....	113
	<i>Die Berechenbarkeit von Ereignissen</i> .....	114
	<i>Ist das Sonnensystem stabil?</i> .....	115
	<i>Der Schmetterlingseffekt</i> .....	117
	<i>Das Ende der Kausalität?</i> .....	119
	<i>Attraktoren und Stabilität</i> .....	121
	<i>Seltene Attraktoren</i> .....	128
	<i>Turbulenzen und Attraktoren</i> .....	130

7.2	Von der Ordnung zum Chaos.....	130
	<i>Die logistische Gleichung</i> .....	131
	<i>Naturkonstanten der Chaostheorie</i> .....	136
7.3	Die Geometrie der Natur.....	137
	<i>Die fraktale Geometrie</i> .....	137
	<i>Gebrochene Dimensionen</i> .....	141
	<i>Fraktale</i> .....	143
	<i>Wie entstehen Julia-Mengen?</i> .....	144
	<i>Die Mandelbrot-Menge</i> .....	150
	<i>Fraktale und Chaos</i> .....	154
	<i>Fraktale und die Formen der Natur</i> .....	155
7.4	Folgerungen aus der Chaostheorie.....	156
	<i>Ordnung und Chaos</i> .....	156
	<i>Chaos in der Medizin</i> .....	157
	<i>Der Reduktionismus</i> .....	159
	<i>Holismus und Reduktionismus</i> .....	160
	<i>Chaos, überall Chaos</i> .....	161
7.5	Bilder.....	164
<b>8</b>	<b>Ordnung aus dem Chaos oder die Frage nach dem Leben</b>	<b>171</b>
8.1	Ordnung aus dem Chaos.....	171
	<i>Chaos und Ordnung</i> .....	171
	<i>Die Entropie</i> .....	172
	<i>Evolution und Entropie</i> .....	174
	<i>Konservative und dissipative Systeme</i> .....	174
	<i>Ordnung aus dem Chaos</i> .....	176
8.2	Vom Ursprung des Lebens.....	178
	<i>Die DNS – Baustein des Lebens</i> .....	178
	<i>Die Anfänge</i> .....	182
	<i>Die erste Zelle</i> .....	183
	<i>Evolution als Selbstorganisation</i> .....	185

---

<b>9</b>	<b>Grenzen mathematischer Logik oder unentscheidbare Sätze</b>	<b>189</b>
9.1	Kalkül und Beweise .....	189
	<i>Was ist Wahrheit?</i> .....	189
	<i>Der Kalkül am Beispiel der Geometrie</i> .....	190
	<i>Die Unabhängigkeit der Axiome und die Nichteuklidische Geometrie</i> .....	192
	<i>Kann ein Computer denken?</i> .....	193
	<i>Begreifbarkeit und Erkennbarkeit</i> .....	195
	<i>Der Gödelsche Satz</i> .....	198
9.2	Grenzen der Mathematik .....	199
	<i>Modell und Wirklichkeit</i> .....	199
	<i>Der Begriff Unendlich</i> .....	201
	<i>Wie real sind mathematische Objekte?</i> .....	202
	<b>Anhang</b>	<b>205</b>
	<b>Literatur</b>	<b>209</b>
	<b>Personenverzeichnis</b>	<b>213</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>215</b>



# 1 Einleitung

*Wann werde ich aufhören zu staunen  
und beginnen zu begreifen?  
Galileo Galilei*

Das zwanzigste Jahrhundert begann mit einem Eklat: Max Planck hielt im Jahre 1900 vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin seinen historischen Vortrag, der als die Geburtsstunde der Quantenmechanik gilt. Planck stellte einen der Grundpfeiler der klassischen Physik in Frage, nämlich die Stetigkeit naturhafter Vorgänge, indem er Energie als nur in Quanten vorkommend betrachtete. Nur zögernd betrat Planck das neue Terrain, ihm selbst war seine Vorstellung der Energiequantelung unheimlich, jedoch konnte er mit diesem Gedankenmodell physikalische Vorgänge erklären, die die klassische Denkweise nicht zu deuten vermochte.

Plancks Idee entwickelte sich, es kamen neue Aspekte hinzu wie das Bohrsche Atommodell und die Heisenbergsche Unschärferelation. Die Uridee der Energiequantelung bekam eine Eigendynamik, sie wuchs zu einer Lawine von Erkenntnissen, die nicht mehr aufzuhalten war, obwohl viele Physiker dieses versuchten.

Ebenfalls im Jahre 1900 hielt der bekannte Göttinger Mathematiker David Hilbert auf dem internationalen Mathematikerkongress in Paris einen Vortrag, in dem er die Mathematiker der Welt aufrief, verschiedene ungelöste Probleme der Mathematik im neuen Jahrhundert zu lösen. Darunter die Forderung, alle Zweige der Mathematik auf das sichere Fundament der axiomatischen Denkweise zu stellen. Sein Ausspruch „In der Mathematik gibt es kein Ignorabimus“, dass also alles erkennbar sei, charakterisierte die Intention seines Vortrages. Das ehrgeizige Hilbertsche Programm zum Aufbau einer absoluten und alles umfassenden Mathematik scheiterte bereits drei Jahrzehnte später, als der österreichische Mathematiker Kurt Gödel seinen berühmten Satz vorstellte, der nachwies, dass es für hinreichend komplexe Theorien Aussagen gibt, die prinzipiell weder beweisbar noch widerlegbar, also unentscheidbar sind. Hilberts „Ignorabimus“ existierte.

Hatte die Quantenmechanik den Grundpfeiler der Stetigkeit aller naturhafter Vorgänge in der klassischen Physik zum Einsturz gebracht, so kippte Albert Einstein einen weiteren tragenden und auf Newton zurückgehenden Pfeiler der alten Denkweise, die Absolutheit von Raum und Zeit. Dass die Zeit nicht wie von einer Universaluhr gesteuert absolut abläuft, sondern in verschiedenen Systemen verschieden schnell ablaufen kann, war der Inhalt von Einsteins Spezieller Relativitätstheorie. Dass darüber hinaus der Raum gekrümmt sein kann, was in keiner Weise vorstellbar, aber mathematisch beschreibbar ist, war zwar früher, so zum Beispiel von Gauß, angedacht worden, von Einstein aber in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie bewiesen worden.

Ein weiterer tragender Pfeiler der klassischen naturwissenschaftlichen Denkweise war die Vorstellung, dass alles zumindest prinzipiell exakt berechenbar und damit auch vorhersagbar ist. Die Mathematik war es, die mit ihren Differentialgleichungen jede Vorhersage ermöglichte. Eine Bestätigung dieser Auffassung waren unter anderem die exakten Voraussagen von Sonnen- und Mondfinsternissen sowie des Laufes der Gestirne.

Auch dieser Pfeiler überstand das Jahrhundert nicht. Die Chaostheorie zeigte, dass die theoretisch vorhersagbaren und regelbaren Phänomene eine Ausnahme bilden. Die meisten Systeme sind zu komplex, als dass sie mit Theorien abbildbar und damit manipulierbar sind. Dies gilt nicht nur für naturwissenschaftliche Erscheinungen, sondern auch für Vorgänge in der Ökonomie, Politik, Soziologie usw.

Die Quantentheorie war von allen Neuerungen des Jahrhunderts wohl die umstrittenste. Albert Einstein konnte sich nie mit ihr anfreunden. Er vertrat die klassische Auffassung, dass die atomare Welt praexistent und objektiv vorhanden ist, während die Quantentheoretiker wie N. Bohr und W. Heisenberg an die Stelle der Objektivität die Subjektivität des Beobachters stellten. Beobachter und Welt sind eins. Darüber hinaus gilt nicht mehr die Separabilität, was soviel heißt wie: Man kann Systeme nicht mehr zerlegen, die Einzelteile untersuchen und daraus auf das Gesamtsystem schließen. Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Zum ersten Mal in der Geschichte der Naturwissenschaften kommt der Begriff der „Ganzheit“ auf, wie wir ihn zum Beispiel in östlichen Kulturen finden.

Experimente in den achtziger Jahren entschieden in dem Streit zwischen den Anhängern Einsteins und denen der Quantentheorie zu Gunsten der Quantentheorie.

So müssen wir feststellen, dass in hundert Jahren ein ungeheurer Fortschritt der Erkenntnis erzielt wurde, der gleichzeitig die Erkenntnis- und Manipulationsfähigkeit des Menschen einschränkte in dem Sinne, dass Berechenbarkeit und prinzipielle Begreifbarkeit naturwissenschaftlicher Vorgänge nicht mehr absolut und unbegrenzt vorgegeben sind, wie es die klassische Denkweise annahm.

Die Beschreibung und Interpretation der angedeuteten Theorien ist das Ziel dieses Buches.

## 2 Die klassische Physik oder das sichere Wissen

*Wenn es jemandem möglich wäre, für einen gegebenen Augenblick alle Kräfte zu kennen, von denen die Natur bewegt wird, ..., nichts wäre mehr ungewiß für ihn und das Zukünftige wie das Vergangene wäre gegenwärtig vor seinen Augen.*

*Pierre Simon de Laplace, 1776*

Die klassische Physik ist die Illusion, alles Zukünftige wie auch das Vergangene mindestens prinzipiell exakt berechnen zu können, da die Welt wie eine Maschine nach rational erkennbaren Regeln funktioniert. Die Teile dieser Maschine sind Massen, Körper und Korpuskeln, die Gesetzen gehorchen, welche auf Newton, Kepler, Galilei und andere zurückgehen. Dynamische Veränderungen lassen sich durch mathematische Methoden errechnen, die Leibniz, Newton, Gauß, Euler und viele andere entwickelten. Die Zuverlässigkeit der physikalischen Methoden sowie der zugehörigen mathematischen Modelle führte zeitweise zu der Ansicht, dass das Weltall wie ein Uhrwerk funktioniert, dessen Lauf man beliebig vorausberechnen kann. Am Ende des 19. Jahrhunderts war man überzeugt, dass die Physik kurz vor ihrem Abschluss sei, dass danach alles bekannt und beherrschbar sei. Erst zu Beginn des letzten Jahrhunderts zeigte es sich, dass es Phänomene gibt, die nur aus einer tieferen Schicht heraus erklärbar sind, deren Aussagen teilweise den Vorstellungen der klassischen Physik widersprechen.

### 2.1 Die Ausgangslage – Scholastik und griechische Philosophie

Das Denken des Mittelalters in Europa war geprägt durch eine zum Christentum hin orientierte Philosophie. Diese hatte sich in den Jahrhunderten als eine Grundübereinstimmung herausgebildet zum einen aus den Schriften der Kirchenlehrer wie zum Beispiel Augustinus und zum anderen aus der Berührung mit dem griechischen Geist. Die Philosophie war gekennzeichnet durch zwei Komponenten, den Glauben und die Vernunft, wobei sich die Vernunft stets dem Glauben unterzuordnen hatte. Einer der großen Vertreter dieser als Scholastik bezeichneten Lehren war Anselm von Canterbury.

Im 12. und 13. Jahrhundert wurden im Abendland die Schriften der Griechen wie die des Aristoteles und Euklid bekannt. Aristoteles, Schüler von Platon, kann man als den Begründer der abendländischen Wissenschaft bezeichnen. Er hinterließ mehrere hundert Werke über Themen der Philosophie, der Ethik und der Naturinterpretation. Euklid war der Verfasser der „Elemente“ (griechisch: *Stoicheia*), eines Lehrbuches der Mathematik. Dieses enthielt insbesondere die „Euklidische Geometrie“, eine Geometrie von Gerade, Ebene und Raum, wie wir sie heute noch anwenden. Dabei stützte er sich auf frühere Philosophenschulen wie zum Beispiel die der Pythagoräer, Schüler des Pythagoras. (Der bekannte Satz des Pythagoras stammt übrigens nicht von diesem, er wurde lediglich von ihm gelehrt).

Das vermutlich erste mathematische Theorem stammt von Thales von Milet, der die Schatten hoher Bäume mit seinem eigenen Schatten verglich und dabei den Strahlensatz entdeckte und formulierte. Der berühmte „Satz des Thales“ stammt übrigens nicht von ihm. Eratosthenes, ein griechischer Naturphilosoph, berechnete mit einer genial einfachen Methode aus dem Strahlensatz den Erdradius. Er stellte fest, dass mittags am 22. Juni in Syene – dem heutigen Assuan – Körper keine Schatten werfen (Assuan liegt am nördlichen Wendekreis des Krebses). In Alexandria, etwa 1800 km nördlich gelegen, wirft zum gleichen Zeitpunkt ein Pfahl einen Schatten. Wie die Abb. 1 zeigt, verhält sich die Schattenlänge zur Pfahlhöhe wie die Entfernung zwischen Syene und Alexandria zum Erdradius, was dessen Berechnung ermöglicht.

Arabische Philosophen haben zahlreiche Schriften der Griechen aufgezeichnet und übersetzt. Durch die Kreuzzüge gelangten sie nach Europa.

Eine besondere Verbindungsstelle zur arabischen Welt stellt der Hof des Stauferkaisers Friedrich II. dar. Sein Reich umfasst Deutschland und Teile von Italien bis hin nach Sizilien. Er lebt im orientalisch geprägten Sizilien und umgibt sich mit einer muslimischen Elitetruppe. Bei seinen Feinden hat er den Ruf besonderer Grausamkeit, seine Anhänger nennen ihn „Stupor mundi, das „Staunen der Welt“. Warum? Friedrich ist an wissenschaftlichen Dingen hochinteressiert. Er geht der Frage nach, warum Lichtstrahlen im Wasser gebrochen sind (Warum sind gerade Lanzen, wenn man sie ins Wasser taucht, nach der Wasseroberfläche hin gekrümmt?). Er erstellt ein Werk mit dem Titel „Über die Kunst, mit Vögeln zu jagen“, welches erstaunlich datailgetreue Aussagen über Vögel, insbesondere Falken, enthält, deren Richtigkeit man erst heute mit Nachtsichtgläsern und ähnlichen Hilfsmitteln verifizieren konnte. Dieses Buch ist erhalten und wird in der päpstlichen Bibliothek des Vatikans aufbewahrt. Dem bedeutendsten Mathematiker des Mittelalters, Leonardo von Pisa, genannt Fibonacci, lässt er das folgende Problem vortragen: Gibt es eine Quadratzahl, bei der man 5 addieren oder subtrahieren kann, so dass wieder eine Quadratzahl entsteht? Fibonacci übernimmt von den Arabern die aus Indien kommende Methode der Darstellung der Zahlen mit zehn Ziffern, beschreibt sie in seinem Buch „Liber Abaci“ und macht sie damit in Europa bekannt. Arabische Gelehrte sind in großer Zahl am Hofe Friedrichs zu Gast, unter ihnen al-Idrisi, der die Erde als eine Kugel betrachtet und eine Weltkarte anfertigt. Friedrich macht durch seine Vermittlung dieses Wissen für das Abendland nutzbar, darin enthalten die Übersetzungen der bedeutendsten Philosophen und Mathematiker der griechischen Antike.

Einer der maßgebenden Philosophen der Antike ist Aristoteles, ein Schüler Platons. Ihn beschäftigt die Frage, was der Mensch ist und was er werden soll. Dabei entdeckt er, dass der Logos das ureigenste Wesen des Menschen ist und dass er diesen Logos verwirklichen muss. Dazu gehört die Erkenntnis und das Verstehen der Dinge sowie die Notwendigkeit,



dieses Verstehen systematisch voranzutreiben. Aristoteles wird so der Vater der abendländischen Logik. Im Unterschied zur heutigen Denkweise ist für Aristoteles die Welterkenntnis, nicht die Weltbeherrschung vordergründig.

Die griechische Philosophie ist eine Philosophie des Verstandes. Die Wirklichkeit wird als ein in sich geschlossenes System aufgefasst, welches Gesetzen unterliegt, die mit der Vernunft erfahrbar und beschreibbar sind. Ein Beispiel ist die Euklidische Geometrie, welche bis ins 19. Jahrhundert die einzige anerkannte Form geometrischen Denkens war. Galilei und Kepler glaubten an die Realität dieser Geometrie. So schrieb Kepler einmal an Galilei, die (Euklidische) Geometrie sei einzigartig und strahle wider aus dem Geiste Gottes. Dass Menschen an ihr teilhaben dürften, sei einer der Gründe, weshalb der Mensch ein Ebenbild Gottes sei.

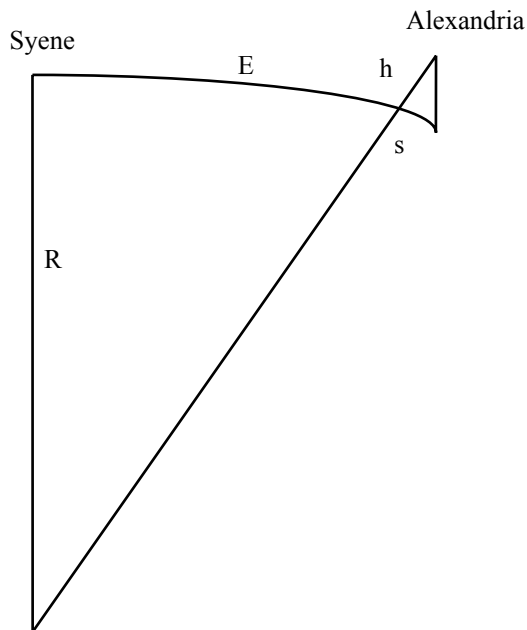


Abb. 1: Eratosthenes ermittelte den Erdradius  $R$  aus der Streckenlänge  $E$  Syene-Alexandria und der Pfahlhöhe  $h$  sowie dessen Schattenlänge  $s$  eines Pfahles in Alexandria. Es gilt offenbar (in Näherung)  $R : E = h : s$

Es musste zwangsläufig zu Konflikten mit dem scholastischen Denken kommen, bei dem die Dominanz des Glaubens über die Vernunft vorgegeben ist. Ein anfänglicher Versuch, beide Denkschulen nebeneinander zu belassen, scheitert. Beide Sichten, die in über tausend Jahren gewachsene christliche Ideologie und die in mehr als anderthalb Jahrtausenden gereifte rationale Weltanschauung der Griechen streiten um die Anerkennung. Beide Gesichtspunkte behaupten, dass sie wahr seien, beide scheinen sich zu widersprechen. Dies muss zu einer heillosen Disharmonie führen. Da tritt einer der Großen des Mittelalters auf den Plan: Thomas von Aquin. Was schier unmöglich scheint, nämlich beide Denkschulen miteinander zu versöhnen, gelingt ihm. In seinen Werken, insbesondere in „Summa theologiae“

schaft er eine Synthese, die jeder der beiden Denkweisen gerecht wird und eine Basis bildet für das philosophische Denken der folgenden Generationen.

Erst im 15. Jahrhundert beginnen erste Auflösungserscheinungen des scholastischen Denkens. Subtile und vordergründige Streitfragen lassen die Dynamik der scholastisch geprägten Lebensform erlahmen. Naturphilosophische Auffassungen – insbesondere an der Pariser Universität – bereiten der Physik den Boden vor.

## 2.2 Der Beginn naturanalytischen Denkens – Kopernikus, Kepler, Galilei

Um 1450 sah man die Welt mit den Augen des Aristoteles. Die aristotelische Lehre erkannte die Zusammenhänge dieser Welt aus einer spekulativen Grundhaltung heraus und unterschied sich daher wesentlich von der neu beginnenden naturanalytischen Denkweise. Das kosmologische Weltbild war das des Ptolemäus. Klaudios Ptolemäus (Ptolemaios) lebte im 2. Jahrhundert n.Chr. in Alexandria und leitete aus eigenen astronomischen Beobachtungen das nach ihm benannte geozentrische Weltbild her, nach dem die Sonne um die Erde kreist. Sein Modell der Sonnen- und Planetenbewegung war so gut an die Realität angepasst, dass es Vorhersagen von Mond- und Sonnenfinsternisse gestattete. Ptolemäus schuf erstmals eine Tabelle zur sphärischen Trigonometrie. Sein Handbuch zur Astronomie war maßgeblich bis ins 15. Jahrhundert.

Die mathematischen Kenntnisse der damaligen Zeit bezogen sich auf die Geometrie, wie sie Euklid entwickelt hatte und auf Rechengesetze, die teilweise auf arabische Quellen zurückgingen. Am Ende des 15. Jahrhunderts gab es bereits Schriften über Gesetze der Algebra und des Rechnens, zum Beispiel von dem in Franken geborenen Adam Ries (auch genannt Adam Riese) sowie Ansätze zur Trigonometrie. 1475 erschienen die „Tabulae Directionum“ des Mathematikers und Astronomen Regiomontanus (eigentlich: Johannes Müller). Die Tafeln enthielten zum Beispiel eine Tangens-Tafel. Regiomontanus war es, der zum ersten Mal die Möglichkeit in Erwägung zog, dass die Erde um die Sonne kreist.

Eine radikale Wende des Denkens in Bezug auf die Position der Erde im All vollzog Kopernikus. Nikolaus Kopernikus lebte als Kanzler des Domkapitels des Bistums Ermland in Frauenburg. Zu Beginn des 16. Jahrhunderts ergab sich die Notwendigkeit einer Kalenderreform und im Rahmen der damit verbundenen Erwägungen revidierte Kopernikus das herrschende Bild über die Planetenbewegungen (Ptolemäisches Weltbild) und entschied sich für das heliozentrische Weltbild, nach dem die Planeten sich auf einer kreisförmigen Bahn um die Sonne bewegen. Die Erde selbst dreht sich täglich um die eigene Achse und wird vom Mond umkreist.

Ob Kopernikus wirklich der Begründer des heliozentrischen Weltbildes war oder ob er es nur übernommen hat, ist nicht ganz sicher. Fest steht, dass Aristarch, ein Grieche des dritten Jahrhunderts v.Chr., bereits behauptet hatte, dass die Erde als Kugel sich „auf einer schrägen Bahn um die Sonne“ bewege und dass sich die Erde um ihre eigenen Achse drehe. Als das Ptolemäische Weltbild aufkam, gerieten die Schriften des Aristarch in Vergessenheit und das Modell des Ptolemäus wurde das Standardmodell für viele Jahrhunderte. Lediglich Regiomontanus hatte den Verdacht geäußert, dass die Erde möglicherweise nicht still steht, sondern sich bewegt.

Kopernikus war von seinem geozentrischen Weltmodell nicht sehr überzeugt. Es war hervorragend geeignet, den Lauf der Planeten vorauszusagen, aber vielleicht war es nur eine Hypothese, ein Rechenmodell. Er fürchtete eine Blamage und so verwahrte er seine Aufzeichnungen über dreißig Jahre in der Schublade. Erst in seinem Todesjahr 1543 erschien sein Werk „De revolutionibus orbium coelestium“ und blieb zunächst von der Kirche unbeanstandet. Den Beweis für die Richtigkeit des heliozentrischen Weltbildes konnte Kopernikus (wie auch später Kepler) nicht erbringen.

Etwa 80 Jahre später erfuhr das kopernikanische Weltbild wesentliche Verbesserungen durch den Prager kaiserlichen Mathematiker und Hofastronomen Johannes Kepler. Kepler ersetzte die Kreisbahnen der Planeten durch Ellipsenbahnen und formulierte Gesetze bezüglich der Umlaufzeit, Umlaufgeschwindigkeit und Umlaufbahn (Keplersche Gesetze). Darüber hinaus suchte Kepler nach einer mechanischen Erklärung für die Bewegung der Planeten, indem er eine gegenseitige Anziehung von Massenkörpern annahm. Planeten werden nicht durch überirdische Mächte bewegt, sondern durch physikalische Kräfte. Als tiefreligiöser Mensch stellte Kepler das Wirken Gottes auf eine höhere Ebene, indem er eine direkte intelligente Einwirkung auf den Lauf der Gestirne durch ein mechanisches System ersetzte, welches auf den von Gott geschaffenen Naturgesetzen basierte.

Es begann eine allmähliche Auflösung der Einheit von Glauben und Wissen, dies letztlich zu beiderseitigem Nutzen. Dass dieser Auflösungsprozess nicht reibungslos ablaufen konnte, ist verständlich. Die Aussage, dass die Erde nicht Mittelpunkt des Alls ist, war ein ungeheurer Angriff auf das Denkgefüge der damaligen Zeit. Einer jahrhundertelangen Anschauung wurde der Boden entzogen. Ideologische Kämpfe zwischen denen, die das alte Weltbild nicht aufgeben wollten und den neuen Naturwissenschaftlern konnten nicht ausbleiben. Dabei war die Position der Neuerer denkbar schlecht, denn sie konnten ihr Weltbild nicht nur nicht beweisen, es gab sogar „Gegenbeweise“, die sie nicht zu entkräften vermochten. Einer dieser Gegenbeweise war die Aussage, dass, wenn die Erde sich um die Sonne bewegen würde, man die Fixsterne im Winter aus einem anderem Winkel heraus zu sehen sein würden als im Sommer (Parallaxe). Dies war aber nicht zu beobachten, die Position der Fixsterne war unabhängig von der Jahreszeit. Wieso sollte sich dann die Erde bewegen? Kopernikus und Kepler konnten dem nichts entgegensetzen. Die Tatsache, dass die Fixsterne so weit entfernt sind, dass eine Parallaxe nicht beobachtbar ist, war nicht bekannt und auch nicht vorstellbar.

Eine besonders dramatische Form nahmen diese Auseinandersetzungen bei dem in Florenz lebenden Hofmathematiker und Hofphilosophen Galileo Galilei an. Galilei trat offen für das kopernikanische Weltbild ein und war durch seinen Übereifer nicht ganz unschuldig daran, dass die Lehre 1614 durch den Papst verboten wurde. Galilei wurde vermahnt, doch der Streit schwelte weiter. 1633 kam es zum Prozess, der mit der Abschwörung Galileis und dessen Verurteilung endete. Der bekannte Ausspruch Galileis „Und sie bewegt sich doch“ ist vermutlich Legende.

Galilei wurde zu unbefristeter Haft verurteilt, die er in seinem Landhaus in Arterio bei Florenz verbrachte. Das ihm aufgetragene wöchentliche Beten von Bußsalmen erledigte seine Tochter, eine Karmeliter Schwester. In seinem Landhaus schrieb er ein für die damalige Physik richtungweisendes Werk, welches unter anderem die Anfänge der Kinematik, darunter die Fallgesetze enthält. Später entwickelte Christof Huygens auf dieser Grundlage die Gesetze der Dynamik.

Entgegen vielen Darstellungen war Galilei nicht der Begründer experimenteller Methoden. Experimente wurden auch von seinen wissenschaftlichen Zeitgenossen durchgeführt, so von dem Erfinder des Barometers, E. Torricelli und dem Erfinder der Luftpumpe, O. von Guericke. Ob Galilei die Fallgesetze am schiefen Turm von Pisa ausführte, ist nicht einwandfrei erwiesen. Galilei fand das Gesetz für das Fadenpendel, er baute das in Holland erfundene Fernrohr nach und entdeckte die bergige Natur des Mondes und die Jupitermonde.

Dass auch zu damaliger Zeit neuere technische Erfindungen nach ihrem militärischen Nutzen beurteilt wurden, zeigt ein Briefausschnitt eines Briefes, den ein Prozessbeobachter (der Jesuit Juan Valdez) beim Galilei-Verfahren an einen Freund richtete. Er schrieb über das Fernrohr: „Galileis Erfindung, das Fernrohr, mit dem man noch weit entfernte Truppen des Gegners in eine bisher ungenutzte Nähe des Beobachters rücken kann“.

## 2.3 Der Begründung neuzeitlichen Denkens – René Descartes

Der Verlust jahrhundertealter Denkstrukturen führte zum Verlust von Sicherheiten, die die Menschen nach neuen Denkansätzen Ausschau halten ließ. Ein Beispiel für Sicherheit und Zuverlässigkeit war die gerade im Aufbruch befindliche Mathematik. Deren Aussagen waren eindeutig, zuverlässig und klar. Einer der ersten, der versuchte, mathematische Denkformen auf die Philosophie zu übertragen, war René Descartes. Descartes war ein Denker, den man zu Recht als den Begründer der neuzeitlichen Philosophie nennt. Darüber hinaus gab er der Mathematik wesentliche Impulse (das kartesische Koordinatensystem ist nach ihm benannt).

1596 in La Haye geboren und aus adligem Geschlecht stammend, besuchte er die Jesuitenschule in La Flèche. Hier wurde das Wissen seiner Zeit in alter scholastischer Manier dargeboten. Descartes entwickelt sich zum Musterschüler, beginnt aber irgendwann die Thesen, Sätze und Inhalte, die er lernt, zu hinterfragen. Besonders die Philosophie scheint ihm in vielem suspekt, unlogisch, unsicher. Später schreibt er, man könne sich nichts noch so Seltsames und Unglaubliches ausdenken, was nicht schon einmal von einem Philosophen gedacht worden wäre. Die aus dem Zeitgeist heraus entstehende Abkehr von traditioneller Wissenschaft und Philosophie spricht ihn an. Später wird er diesen Denkströmen ein logisches Fundament schaffen,.

Zunächst geht Descartes nach Paris, ohne einer tieferen Beschäftigung nachzugehen. Dann verschwindet er in der Einsamkeit, um sich mathematischen und philosophischen Gedankengängen hinzugeben. Schließlich wird er Soldat, allerdings als Offizier und ohne Sold, denn er ist reich genug.

In einem Winterquartier in Neuburg an der Donau – sein Haus ist so verschneit, dass er es nicht verlassen kann – findet er einen Gedanken, der als eine Art Grundstein betrachtet werden kann für das, was Descartes später denken und schreiben wird. Er versucht nämlich, herauszufinden, welche Aussagen der Philosophie so sicher und unzweifelhaft sein könnten, dass sie wie mathematische Axiome die Basis für ein philosophisches Gedankengebäude sein könnten, ein Gebäude, das ebenso sicher und unzweifelhaft richtig wäre wie die Mathematik selbst. Indem er philosophische Aussagen auf ihren Wahrheitsgehalt prüft, stellt er fest, dass es zu jeder Wahrheit eine Gegenwahrheit gibt. Alles scheint fragwürdig

zu sein. Descartes weicht dem Zweifel nicht aus, sondern stellt sich ihm. Warum die Fragwürdigkeit und: Gibt es Strukturen im Erkenntnisprozess, welche absolut und grundsätzlich sind? Descartes meint, eine letzte absolute Wahrheit in dem zu finden, der erkennt. Mag auch alles anfechtbar sein, so existiere doch ich, der Erkenntnis sucht. Descartes formuliert den berühmten Satz: „Ich erkenne, also bin ich“ („Cogito, ergo sum“).

Später zieht sich Descartes in die Einsamkeit nach Holland zurück. Nicht einmal seine Freunde wissen, wo er sich aufhält. Er schreibt seine Gedanken auf und entwickelt wichtige Konstrukte der Mathematik, so eine Vorstufe zur analytischen Geometrie. Descartes führt als erster algebraische Symbole ein wie zum Beispiel die Symbole der Potenzrechnung und des Wurzelziehens und formuliert den Fundamentalsatz der Algebra. Darüber hinaus stellt er einen Satz von der Konstanz der Bewegungsgröße im Weltall auf, den ersten Vorläufer aller Erhaltungssätze.

Seine Philosophie aber führte zu einer radikalen Wende der Betrachtung der Dinge. War im Mittelalter Gott der sichere und ursprüngliche Ausgangspunkt jeder abstrakten Überlegung, so war es jetzt der Mensch selbst. Descartes verlagerte das Zentrum sicherer Erkenntnis von Gott auf den Menschen, von der Ganzheit zum partikulären logischen Denken. Damit begründet er eine Denktradition, die die Neuzeit prägen sollte und ihren vorläufigen Höhepunkt in der Französischen Revolution fand, wo der Mensch als das alleinige Maß aller Dinge auftrat. Descartes begründete damit eine Autonomie des Menschen, aus der heraus dieser hochrangige wissenschaftliche Leistungen zu erbringen vermochte, die die ökonomische Überlegenheit der westlichen Kulturen begründeten. Er setzte im abendländischen Denken Weichen in Richtung einer partikulären Betrachtungsweise, welche im Gegensatz zu einem ganzheitlichen Verständnis steht, wie wir es etwa in östlichen traditionellen Kulturen finden. Ob der Verlust der Ganzheit, wie sie in der Metaphysik und Philosophie des Mittelalters noch zu finden war, immer segensreich war, muss zumindest angezweifelt werden angesichts der Katastrophen, die die Menschheit im letzten Jahrhundert heimsuchten und die letztlich stets in einer Hybris des Menschen begründet waren. Andererseits führte diese Denkweise zu technischen Erfindungen und Möglichkeiten, die das Überleben des Menschen in der Massengesellschaft sicherten.

Descartes hielt an der Verbindung von Theologie und Philosophie fest und entwickelte sogar einen Beweis der Existenz Gottes, dies wohl aus der Sehnsucht heraus, die zerstörte Metaphysik wiederherzustellen. Zumindest ahnt man diese Sehnsucht, wenn er sagt, er sei ein Mensch, der allein und in der Finsternis geht.

Descartes stirbt mit 54 Jahren in Schweden. Königin Christine hatte ihn als Hofphilosophen nach Schweden geholt. Das ungewohnte Klima und auch das von der Königin gewünschte Arbeitspensum setzten ihm, der stets eine schwache Gesundheit besaß, stark zu, so dass er noch vor der geplanten Rückreise verstarb.

## 2.4 Die neue Mechanik – Isaac Newton

Einen der wichtigsten Meilensteine in der Entwicklung der klassischen Physik setzte Isaac Newton. Er begründete ein strukturiertes Schema in der Mechanik, welches als „Newtonsche Mechanik“ bis heute Grundlage mechanischen Denkens ist. Neben Leibnitz begründete er die Infinitesimalrechnung und gewann wichtige Erkenntnisse zur Optik.

Isaac Newton wurde 1643 geboren in einem Weiler namens Woolsthorpe, im Kirchspiel Colsterworth, Lincolnshire. Der Vater war kurz vor der Geburt Newtons verstorben. Die Mutter heiratete bald darauf und zog ins Nachbardorf, wobei sie den Knaben Isaac bei den Großeltern zurückließ. Hier wuchs dieser auf in einer Kleinlandwirtschaft, die der Großvater betrieb.

Es stellte sich bald heraus, dass Isaac für die praktische Arbeit eines Landwirts denkbar ungeeignet schien. Durch die Vermittlung von Verwandten konnte er Schulen besuchen und sich 1660 in die Aufnahmebücher des Trinity Colleges in Cambridge eintragen lassen. Newton studierte erstmals die Schriften von Kepler, Galilei, Kopernikus und Descartes. Daneben lernte er Griechisch, Hebräisch und Latein und hörte theologische Vorlesungen. Einer seiner mathematischen Lehrer war Isaac Barrow, einer der besten Mathematiker seiner Zeit. 1669 verzichtete Barrow auf seinen Lehrstuhl zu Gunsten von Newton, weil er diesen für fähiger hielt. So wurde Newton Professor für Mathematik in Cambridge und blieb es fast 30 Jahre lang. Später lebte Newton in London, wo er als Aufseher der Königlichen Münzanstalt sowie als Präsident der Royal Society bis zu seinem Tod 1727 wirkte.

Newtons Hauptverdienste liegen in seinen Schriften zur Mechanik, deren Erstauflage 1687 unter dem Titel „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ erschien und die die Grundlage für einen neuen Denkansatz bei der Beschreibung mechanischer Systeme wie auch der Himmelskörper werden sollten (Die deutsche Übersetzung von J. Wolfers erschien 1872 unter dem Titel „Mathematische Grundlagen der Naturwissenschaften“). Nicht weniger wichtig sind seine Beiträge zur Infinitesimalrechnung, die er (parallel zu Leibnitz) begründete. Auch in der Optik lieferte Newton wichtige Beiträge. Weniger bekannt ist, dass er auch theologische Forschungen betrieb, so gibt es Abhandlungen über die Trinität, über die Prophezeiungen der Heiligen Schrift und über die Apokalypse des hl. Johannes.

Beginnen wir mit der Newtonschen Mechanik. Newton beobachtete zunächst die Bewegungsgesetze materieller Körper. Er stellte fest, dass jeder Körper entweder im Zustand der Ruhe oder im Zustand einer gleichförmigen gradlinigen Bewegung sich befindet. Eine Änderung dieser Zustände ist nur möglich durch einen äußeren Einfluss, der Kraft. Bei gleicher Kraft ist aber die Bewegungsänderung bei großen Körpern geringer als bei kleinen. Auf diese Art entdeckte Newton die Masse.

Newton ging von drei Grundgesetzen, den Newtonschen Axiomen aus.

1. Jeder Körper verharrt im Zustand einer gleichförmigen Bewegung, solange keine Kräfte an ihn angreifen. (Trägheitsgesetz)
2. Eine Änderung der Bewegungsgröße geschieht in deren Richtung und ist der antreibenden Kraft proportional (Grundgesetz der Mechanik).
3. Jede Kraft ruft eine gleich große Gegenkraft hervor ( $\text{actio}=\text{reactio}$ ).

Die Welt besteht aus Massenpunkten, die obigen Bewegungsgesetzen gehorchen. Da jede Bewegung in Raum und Zeit erfolgt, muss Newton definieren, wie man sich Raum und Zeit vorstellen muss. Newton führt den absoluten Raum ein. Er schreibt: „*Der absolute Raum*

*bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand stets gleich und unbeweglich.* Zunächst war dieser unendlich ausgedehnte dreidimensionale Raum nur ein Bezugssystem zur Beschreibung von Bewegungen. Doch darüber hinaus glaubt Newton, dass dieser Raum auch real der Raum des Kosmos sei. Einen Hinweis für diese Annahme findet er in der Existenz der Fliehkräfte. Der Raum wird strukturiert durch die Gesetze der Geometrie und die Geometrie ist für Newton genau so absolut und real wie der Raum selbst.

Newtons Arbeitsweise besteht in vielem darin, dass er die Dinge „einfriert“, also in einen Ruhezustand bringt, indem er Zeichnungen und Skizzen dieser Dinge anfertigt. Anhand dieser bildlichen Darstellungen kann er die geometrische räumliche Beschaffenheit studieren, um daraus Folgerungen für das dynamische Verhalten zu ziehen. So entstehen zum Beispiel auch seine Vorstellungen zum unendlich Kleinen, die direkt zur Infinitesimalrechnung führen.

Wer Bewegungsgesetze aus der Ruhelage heraus erkennen will, muss sich mit der Zeit beschäftigen. In seinen Schriften finden wir: *„Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgend einen äußeren Gegenstand. Sie wird auch mit dem Namen Dauer belegt“.* Der Zeit ist damit für Newton ebenso absolut wie der Raum. Der absolute Raum und die absolute Zeit, beide völlig unabhängig von materiellen Körpern, waren die Basis der Newtonschen Mechanik.

Für die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung sucht Newton Begründungen und findet das Gravitationsgesetz. *„Es scheint... eine Kraft zu geben, die Körper vermöge ihrer bloßen Anwesenheit durch den Raum hindurch aufeinander ausüben... Diese wunderbare Wirkung der Dinge kann man Gravitation nennen.“* Newton findet, dass diese Gravitationskraft proportional dem Produkt der beiden Massen der sich anziehenden Körper und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist. Newton schreibt: *„Die Gravitation muß durch ein Agens, welches konstant nach gewissen Gesetzen wirkt, verursacht sein“.* Diese letzte Ursache einer Fernwirkung durch den leeren Raum vermutet er in dem Wirken eines allgegenwärtigen Schöpfers. Eine glanzvolle Bestätigung erfuhr die Newtonsche Mechanik, als sich herausstellte, dass die Keplerschen Gesetze direkt aus den Newtonschen Annahmen ableitbar und somit beweisbar waren.

Auch in der Mathematik leistete Newton Entscheidendes, war er doch zusammen mit Gottfried Wilhelm Leibnitz der Erfinder der Differential- und Integralrechnung. Beide hatten unabhängig voneinander diese wohl im Hinblick auf die Physik wichtigste und leistungsfähigste mathematische Disziplin entwickelt, wobei jeder eigene Schwerpunkte setzte und eigene Formalismen verwendete. Im sogenannten Prioritätenstreit kam es zu Auseinandersetzungen zwischen deutschen, französischen und schweizerischen Anhängern Leibnitz' (zum Beispiel Bernoulli, de l'Hospital) und den englischen Anhängern Newtons. Jede Seite beschuldigte die andere des Plagiats. Erst spätere Forschung belegte, dass beide – Leibnitz und Newton – eigenständig und auf unterschiedlichem Wege die Entdeckung dieses mächtvollen Instrumentariums der Mathematik gelang.

Nicht unerwähnt seien Newtons Leistungen in der Optik. Er stellte Theorien zur Farbenlehre auf, entwickelte Fernrohre und Spiegelteleskope. Newton glaubte, dass Licht aus Korpuskeln besteht, welche den Gesetzen der Mechanik gehorchen. Dies stand im Widerspruch zur Wellentheorie, welche annahm, dass Licht durch Schwingungen eines Äthers, der den ganzen Raum ausfüllt entsteht. Diese Theorie wurde zum Beispiel von Hooke und