



Edition
Harri 
Deutsch 

Kulturgeschichte der Physik

Von den Anfängen bis heute

von
K. Simonyi

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 57600

Dr.-Ing. Dr.phil. Károly Simonyi (1916–2001) lehrte als Professor für Elektrotechnik und leitete von 1952 bis 1958 die Atomphysikalische Abteilung im Zentralforschungsinstitut der Ungarischen Akademie der Wissenschaften. Unter seinen Publikationen ist die *Kulturgeschichte der Physik* sein Opus Magnum.

Unveränderter Nachdruck der 3. Auflage 2001, 2017
Druck 5 4 3

ISBN 978-3-8085-5760-0

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: Medienwerkstatt Dreimaster/www.3master.de, 60388 Frankfurt/Main
Druck: UAB BALTO print, Vilnius LT-08217, Litauen

Inhalt

VORWORT 11

EINFÜHRUNG 15

- 0.1 Zur Rolle der Physikgeschichte in der modernen Gesellschaft 15
- 0.2 Bewertung und Periodisierung 17
 - 0.2.1 Eine historische Gliederung, ausgehend von der Intensität des wissenschaftlichen Schaffens 17
 - 0.2.2 Die wissenschaftliche Erkenntnis aus dem Blickwinkel der Physiker von heute 18
 - 0.2.3 Periodisierung anhand der theoretischen Synthese 21
 - 0.2.4 Die Rolle der Modellbildung 22
- 0.3 Elemente der Wissenschaftstheorie 24
 - 0.3.1 Trügersche Einfachheit 24
 - 0.3.2 Theorie und Erfahrung 26
 - 0.3.3 Die Fallen der induktiven Methode 28
- 0.4 Dynamik der Physikgeschichte 29
 - 0.4.1 Die bewegenden Kräfte 29
 - 0.4.2 Grenzen, Möglichkeiten und Gefahren 32
 - 0.4.3 Ungewiss in den exakten Naturwissenschaften 34
 - 0.4.4 Die Physik in einer neuen Rolle 35
 - 0.4.5 Die grundlegenden Charakteristika der einzelnen Epochen 36

TEIL 1

Das antike Erbe 43

- 1.1 Das Erbe der Griechen 43
 - 1.1.1 Die Anfänge der Wissenschaften 43
 - 1.1.2 Ägypten und Mesopotamien 44
- 1.2 Die harmonische, seltsame Ordnung 56
 - 1.2.1 Einleitende Übersicht: zeitliche, räumliche und ursächliche Zusammenhänge 56
 - 1.2.2 Mystik und Mathematik: Pythagoras 61
 - 1.2.3 Idee und Realität 66
 - 1.2.4 Platon über Erkenntnis und Ideen 68
- 1.3 Materie und Bewegung: Die aristotelische Synthese 71
 - 1.3.1 Atome und Elemente 71
 - 1.3.1.1 Platon und die „Elementarteilchen“ 73
 - 1.3.2 Bewegung unter irdischen Bedingungen: Peripatetische Dynamik 76
 - 1.3.3 Die Himmelsbewegungen 81
 - 1.3.4 Das aristotelische Weltbild 84
 - 1.3.5 Ein Ausschnitt aus der Metaphysik des Aristoteles 86
- 1.4 Spitzenleistungen der antiken Fachwissenschaften 88
 - 1.4.1 Archimedes 88
 - 1.4.2 Das ptolemäische System zur Beschreibung der Himmelsbewegungen 97
 - 1.4.3 Die Abmessungen des Kosmos: Geographia 99
 - 1.4.4 Geometrie 102
 - 1.4.5 Instrumente, Technik 105
- 1.5 Der Niedergang des Hellenismus 106
 - 1.5.1 Pessimismus in der Philosophie 106
 - 1.5.2 Augustin über die Absurdität der Astrologie 112
 - 1.5.3 Augustin über die Zeit 113
 - 1.5.4 Das Instrument des Denkens: Aristoteles' Organon 115

TEIL 2

Die Huta des Erbes 119

- 2.1 Die Bilanz von tausend Jahren 119
 - 2.1.1 Warum geht die Entwicklung nicht weiter? 119
 - 2.1.2 Europa nimmt Gestalt an 121
 - 2.1.3 Die technische Revolution 127
 - 2.1.4 Klöster und Universitäten 129
- 2.2 Überlieferer des antiken Wissensgutes 135
 - 2.2.1 Der unmittelbare Weg 135
 - 2.2.2 Byzanz 137
 - 2.2.3 Die arabische Vermittlung 138
 - 2.2.4 Zurück zu den Quellen 139
- 2.3 Inder und Araber 141
 - 2.3.1 Das Dezimalsystem 141
 - 2.3.2 Algebra - Algorithmus 142
 - 2.3.3 Herausragende Ergebnisse der arabischen Wissenschaften 143
- 2.4 Europa findet zu sich 144
 - 2.4.1 Fibonacci - ein Rechenkünstler 145
 - 2.4.2 Jordanus Nemorarius, der Statiker 146
 - 2.4.3 Beschreibende Bewegungslehre: Nicole d'Oresme und das Merton College 148
 - 2.4.4 Die reformierte peripatetische Dynamik 149
 - 2.4.5 Die Impetustheorie von Buridan 150
 - 2.4.6 Die Physik in der Astronomie 151
 - 2.4.7 Ergebnisse 152
 - 2.4.8 Nicole d'Oresme über die Bewegung der Erde 153
- 2.5 Die mittelalterliche Naturphilosophie 155
 - 2.5.1 Glaube, Autorität und Wissenschaft 155
 - 2.5.2 Glaube und Erfahrung 158
- 2.6 Renaissance und Physik 160
 - 2.6.1 Kunst, Philologie und Naturwissenschaft 160
 - 2.6.2 Fortschritte in der Mechanik 162
 - 2.6.3 Die Wissenschaft der Künstler 164
 - 2.6.4 Leonardo da Vinci 165
 - 2.6.5 Die Berufsastronomen treten in den Vordergrund 167
 - 2.6.6 Das gedruckte Buch gewinnt an Bedeutung 169

TEIL 3

Ende und Neubeginn 173

- 3.1 Die Welt um 1600 173
- 3.2 Zahlenmystik und Wirklichkeit 178
 - 3.2.1 Im neuen Geiste zurück zu Platon 178
 - 3.2.2 Der rückwärts schauende Revolutionär: Kopernikus 178
 - 3.2.3 Ein Kompromiß: Tycho de Brahe 187
 - 3.2.4 Die Weltharmonie: Kepler 190
- 3.3 Götter und die in seinem Schatten Stehenden 195
 - 3.3.1 Die Einheit der himmlischen und irdischen Welten 195
 - 3.3.1.1 Aus dem Dialogo 199
 - 3.3.2 Schiefe Ebene, Pendel und Wurfbewegung 201
 - 3.3.3 Galileis Größe 208
 - 3.3.4 Im Hintergrund: Stevin und Beccolunni 210
 - 3.3.5 Anschlußmöglichkeiten 212
- 3.4 Die neue Philosophie: Der Zweifel wird zur Methode 213
 - 3.4.1 Francis Bacon und die induktive Methode 213
 - 3.4.2 Eine Methode zum Auffinden sicherer Wahrheiten: Descartes 216
 - 3.4.3 Die kartesischen Bewegungsgesetze 218
 - 3.4.4 Die erste Kosmogonie 219
 - 3.4.5 An der Peripherie des westlichen Kulturkreises 223
- 3.5 Licht, Vakuum und Materie zur Mitte des 17. Jahrhunderts 226
 - 3.5.1 Das Snellius-Cartesius-Gesetz 226
 - 3.5.2 Das Fermatsche Prinzip 230
 - 3.5.3 Vakuum und Luftdruck 232
 - 3.5.4 Die ersten Schritte auf dem Wege zur modernen Chemie 236
- 3.6 Nach Descartes und vor Newton: Huygens 239

- 3.6.1 Huygens' Axiome zur Dynamik 239
- 3.6.2 Das mathematische Pendel 243
- 3.6.3 Das Zykloidenpendel 245
- 3.6.4 Das physikalische Pendel 247
- 3.6.5 Die Stoßgesetze als Schlussfolgerungen aus der Äquivalenz der Inertialsysteme 249
- 3.6.6 Die Bewegung auf einer Kreisbahn 251
- 3.7 Newton und die Principia: Das Newtonsche Weltbild 252
 - 3.7.1 Die auf Newton wartenden Aufgaben 252
 - 3.7.2 Eine Kraft wird nicht zur Aufrechterhaltung, sondern zur Veränderung des Bewegungszustandes benötigt 254
 - 3.7.3 Das allgemeine Gravitationsgesetz 257
 - 3.7.4 Auszüge aus den Principia 261
 - 3.7.5 Newton als Philosoph 266

TEIL 4

Die volle Entfaltung der klassischen Physik 275

- 4.1 Das Ausgangskapital für das 18. Jahrhundert 275
 - 4.1.1 Ergebnisse, über die schon berichtet und über die bisher noch nicht berichtet wurde 275
 - 4.1.2 Welle oder Teilchen 275
 - 4.1.3 Die analytische Geometrie 282
 - 4.1.4 Differential- und Integralrechnung: Der Streit der „Größen“ 284
 - 4.1.5 Für und wider Descartes 290
 - 4.1.6 Voltaire und die Philosophen 293
- 4.2 Würdige Nachfolger: d'Alembert, Euler und Lagrange 294
 - 4.2.1 Mögliche Wege für die Weiterentwicklung der Mechanik 294
 - 4.2.2 Die Ergebnisse der Statik 297
 - 4.2.3 Die Newtonsche Mechanik in der Bearbeitung Eulers 297
 - 4.2.4 Das erste Variationsprinzip in der Mechanik: Maupertuis 302
 - 4.2.5 Der erste „Positivist“, d'Alembert 304
 - 4.2.6 Moderne Gedanken 306
 - 4.2.7 Die Mechanik als Poème 308
- 4.3 Das Jahrhundert des Lichts 311
 - 4.3.1 Die Aufklärung 311
 - 4.3.2 Die Große Enzyklopädie 312
 - 4.3.3 d'Alembert: Vorwort zur Enzyklopädie 313
 - 4.3.4 Das für unerschütterlich gehaltene Fundament der klassischen Physik: die Kantsche Philosophie 317
- 4.4 Vom Effluvium zum elektromagnetischen Feld 320
 - 4.4.1 Petrus Peregrinus und Gilbert 320
 - 4.4.2 Chronologie des Fortschritts 321
 - 4.4.3 Qualitative Elektrostatik 323
 - 4.4.4 Die quantitative Elektrostatik 329
 - 4.4.5 Strömung elektrischer Ladungen 333
 - 4.4.6 Das Magnetfeld der Ströme: der betrachtende Handlungs-Naturphilosophie 336
 - 4.4.7 Die Wechselwirkung der Ströme: eine Verallgemeinerung Newtonscher Ideen 337
 - 4.4.8 Faraday: der größte Experimentator 340
 - 4.4.9 Maxwell, die Grundgesetze des elektromagnetischen Feldes 344
 - 4.4.10 Die elektromagnetische Theorie des Lichts 349
 - 4.4.11 Die Lorentzsche Elektronentheorie 354
- 4.5 Wärme und Energie 355
 - 4.5.1 Das Thermometer 355
 - 4.5.2 Progressiv zu ihrer Zeit: die Caloricum-Theorie von Joseph Black 357
 - 4.5.3 Rumford: Und die Wärme ist doch Bewegung! 358
 - 4.5.4 Die Theorie der Wärmelitung von Fourier 360
 - 4.5.5 Das Caloricum und die Zustandsgleichung 362
 - 4.5.6 Der Carnot-Prozess 363
 - 4.5.7 Die kinetische Theorie der Wärme, die ersten Schritte 365
 - 4.5.8 Der Energieerhaltungssatz 366
 - 4.5.9 Die kinetische Theorie der Gase 368

- 4.5.10 Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre 369
- 4.5.11 Entropie und Wahrscheinlichkeit 371
- 4.6 Der Aufbau der Materie und die Elektrizität: das klassische Atom 376
 - 4.6.1 Chemie: Argumente für die atomische Struktur der Materie 376
 - 4.6.2 Das Elektron, J. J. Thomson 377
 - 4.6.3 Und wieder ein Beitrag der Chemie: das Periodensystem 382
 - 4.6.4 Die ersten Vorstellungen über den Aufbau der Atome 384
 - 4.6.5 Das Linienspektrum und das erneute Auftreten der ganzen Zahlen 386
 - 4.6.6 Abschied vom 19. Jahrhundert 388

TEIL 5

Die Physik des 20. Jahrhunderts 393

- 5.1 Die Jahrhundertwende 393
 - 5.1.1 „Wolken am Himmel der Physik des 19. Jahrhunderts“ 393
 - 5.1.2 Mach und Ostwald 395
- 5.2 Die Relativitätstheorie 397
 - 5.2.1 Geschichtliche Versuche zur Messung der absoluten Geschwindigkeit 397
 - 5.2.2 Erklärungsversuche im Rahmen der nichtrelativistischen Physik 409
 - 5.2.3 Die Väter der Relativitätstheorie: Lorentz, Einstein und Poincaré 404
 - 5.2.4 Die Längen- und Zeitmessung 410
 - 5.2.5 Die Äquivalenz von Energie und Masse 412
 - 5.2.6 Materie und die Geometrie des Raumes 416
 - 5.2.7 Das Raum-, Äther- und Feld-Problem der Physik 420
 - 5.2.8 Newton, Einstein und die Gravitation 422
- 5.3 Die Quantentheorie 425
 - 5.3.1 Die schwarze Strahlung in der klassischen Physik 425
 - 5.3.2 Planck: Die Entropie weist den Weg zur Lösung 428
 - 5.3.3 Das Erscheinen des Wirkungsquantums 431
 - 5.3.4 Einstein: Das Licht ist auch quantelt 435
 - 5.3.5 Die „klassische“ Bohrsche Atomtheorie 435
 - 5.3.6 Die statistische Ableitung der Strahlungsformel als Auftakt zur Quantenelektronik 438
 - 5.3.7 Die Heisenbergsche Matrizenmechanik 439
 - 5.3.8 Einstein und Heisenberg 443
 - 5.3.9 Die Schrödingersche Wellenmechanik 444
 - 5.3.10 Heisenberg: Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie 450
 - 5.3.11 Operatoren, Quantenelektrodynamik 454
 - 5.3.12 Das Kausalitätsproblem 459
 - 5.3.13 Johann von Neumann über Kausalität und verborgene Parameter 461
 - 5.3.14 Quantenmechanik als Arbeitsgerät und als Philosophie der Physiker 466
 - 5.3.15 Was ist von der klassischen Physik übriggeblieben? 469
- 5.4 Kernstruktur und Kernenergie 472
 - 5.4.1 Ein Rückblick auf die ersten drei Jahrzehnte 472
 - 5.4.2 Die wichtigsten Etappen bei der Erforschung des Atomkerns 477
 - 5.4.3 Becquerel: Warum fluoreszieren die Uransalze? 479
 - 5.4.4 Das Ehepaar Curie und Rutherford 481
 - 5.4.5 Das Rutherford-Bohrsche Modell zeichnet sich ab 485
 - 5.4.6 Die erste künstliche Kernreaktion 487
 - 5.4.7 Die Quantenmechanik kann auch auf die Erscheinungen der Kernphysik angewendet werden 487
 - 5.4.8 Von Rutherford vorhergesagt, von Chadwick gefunden: das Neutron 488
 - 5.4.9 Kernstruktur und Kernmodelle 489
 - 5.4.10 Die Kernspaltung: experimentelle Evidenz und theoretische Zweifel 493

5.4.11 Die Kettenreaktion und die Freisetzung der Kernenergie im großen Maßstab	498
5.4.12 Die Energieerzeugung durch Kernfusion – die Energiequellen der Sterne in den Händen des Menschen	501
5.4.13 Die Verantwortung des Physikers	502
5.5 Gesetz und Symmetrie	503
5.5.1 Pessimismus in den sechziger Jahren: Experimentalphysiker eilen voran	503
5.5.2 Die Entdeckungsgeschichte der Elementarteilchen	504
5.5.3 Einige Worte zur kosmischen Strahlung	508
5.5.4 Teilchenbeschleuniger und Detektoren	509
5.5.5 Grundlegende Wechselwirkungen	512
5.5.6 Die Erhaltungssätze	515
5.5.7 Symmetrie – Invarianz – Erhaltung	516
5.5.8 Spiegelungssymmetrie	519
5.5.9 „Die kleine Asymmetrie vergrößert das Ästhetikum“	522
5.5.10 Zurück zum Apeiron?	524
5.5.11 Energie mit Hilfe von Elementarteilchen“	526
5.5.12 An der Schwelle des dritten Jahrtausends	527
5.6 Mensch und Kosmos	528
5.6.1 Neue Informationskanäle	528
5.6.2 Der Energiehaushalt der Sterne	532
5.6.3 Geburt, Leben und Tod in kosmischen Maßstäben	534
5.6.4 Die Entstehung des Universums	537
5.6.5 „Zwischen Nichts und Unendlich“	542
5.7 Zusammenfassung und Ausblick	544
5.7.1 Die Erfindungen	544
5.7.2 Ergänzungen	547
5.7.3 Physik, Philosophie, Gesellschaft an der Jahrtausendwende	548
5.7.4 Das Standard-Modell und jenseits dieses Modells	551
5.7.5 Das Große Laboratorium	558
5.7.6 Die Fragen und Zweifel wachsen an	560

Literatur 565

Personenregister (zusammengestellt von Hedko Csurgay) 571

Register arabischer Namen und Begriffe 590

Sachregister 591

Periodensystem der Elemente	} anknüpfbares Blatt
Herkunft der Namen der Elemente und der Teilchen	
Die Grundkonstanten der Physik	

Vorwort

zur 1. Auflage

Die Wissenschaftsgeschichte ist heute bereits eine selbständige wissenschaftliche Disziplin mit eigener Thematik und Arbeitsmethodik, der eigene Zeitschriften sowie an den Universitäten besondere Lehrstühle gewidmet sind. Natürlich hat sie ihre berufenen Vertreter, zu denen der Verfasser dieses Buches nicht gehört; er hat lediglich bei seiner Beschäftigung mit der Physik und den technischen Wissenschaften in Lehre und Forschung Freude am Studium ihrer Geschichte gefunden, die er gern mit anderen teilen möchte. Der Leser kann folglich die Teile des Buches, die sich auf Physik und Technik beziehen, als authentisch ansehen – soweit sich überhaupt einem Buch dieser Art ein solches Prädikat geben läßt –; die Deutung des historischen und philosophischen Hintergrundes trägt aber bereits etwas den Stempel des Subjektiven und bis zu einem gewissen, vielleicht auch erlaubten Grade, auch den des Dilettantismus.

Dieses Buch ist für einen breiten Leserkreis geschrieben. Der Autor hofft, daß der nicht fachkundige Leser den Darlegungen – freilich nicht ohne gewisse Bemühungen und gedankliche Mitarbeit – folgen können wird und daß andererseits das Buch auch dem Berufsphysiker etwas geben kann. Diese doppelte Zielstellung sollte nicht um den Preis eines Kompromisses erreicht werden: Es war nicht beabsichtigt, das Niveau der Darstellung irgendwo zwischen den Kenntnissen der gebildeten Laien und denen der Berufsphysiker festzulegen. Vielleicht sollten nach Absicht des Autors nach Möglichkeit – auch typografisch – die allgemeinverständlichen Teile von den Abschnitten abgesetzt werden, deren Verständnis fachspezifische Kenntnisse erfordert. Diese letztgenannten Abschnitte erscheinen im vorliegenden Buch im Kleindruck, und sie können beim Lesen des Haupttextes überschlagen werden, ohne daß der Zusammenhang verlorengeht. Die fachspezifischen Einschübe sind jedoch auch für den physikalischen Laien gedacht, denn die im kleingedruckten Text zu findenden Formeln und Abbildungen sollen – selbst bei einer flüchtigen Durchsicht des Textes – dazu verhelfen, falsche Vorstellungen zu beseitigen. Es werden nämlich die bekannten Vertreter der griechischen Literatur und darstellenden Kunst nicht nur als in ihrer Zeit, sondern zeitlos bedeutsam angesehen, weil sie auch für uns heute noch Gültiges auszusagen haben. Bei den Großen der antiken Wissenschaft erachten wir es hingegen als selbstverständlich, daß sie weitgehend ihrer Zeit verhaftet gewesen sind und daß heute bereits der geistige Horizont eines Schulkindes über den eines Gelehrten der griechischen Antike, so z. B. des ARCHIMEDES, hinausreichen kann. Vielleicht würden wir Ähnliches auch von den antiken Künstlern annehmen, wenn wir nicht die Statuen von PRAXITELES und MYRON in Originalen oder Kopien selbst bewundern, den HOMER zu Hause lesen oder den EURIPIDES im Theater sehen könnten. Beschäftigen wir uns aber nun genauso emgeland – um bei obigem Beispiel zu bleiben – mit den Gedankengängen des ARCHIMEDES, dann bemerken wir, daß ihr Nachvollziehen auch dem naturwissenschaftlich Gebildeten eine geistige Anstrengung abverlangt und einen intellektuellen Cienuß vermittelt. Der Leser möge also diese Abschnitte als die Gegenstücke der in Kunstgeschichtlichen Abhandlungen unentbehrlichen Illustrationen oder Textauszüge ansehen.

Das vorliegende Buch ist somit eine populärwissenschaftliche Lektüre, es sollte aber auch Studenten als Lehrbuch dienen. Es ist die Absicht des Autors gewesen, diesen beiden Zielstellungen noch eine weitere hinzuzufügen, wobei er sich voll und ganz der Gefahr bewußt ist, bei der Vielzahl der Aufgaben keine gerecht zu werden. Dieses Buch soll nämlich, da es Zitate in einem dem Haupttext vergleichbaren Umfang enthält, auch als physikge-

schichtliches Lesebuch dienen. Um den Zitatenteil des Buches vom Haupttext möglichst wenig abzusondern und letzteren dabei nicht mehr als nötig zu unterbrechen, werden die Zitate – in Farbe gedruckt – parallel zum Haupttext gebracht. Sie beziehen sich auf den danebenstehenden Haupttext und sind zuweilen sogar in ihn eingegliedert.

Lebensläufe, die in den Haupttext nicht organisch eingebaut werden konnten, sowie weitere bloße Fakten, die keines besonderen Kommentars bedürfen, sind in den Abbildungsunterschriften zu finden. Damit zeigt sich eine vierte Art der – mit Hilfe der Personen- und Sachregister möglichen – Verwendung des Buches, nämlich als Lexikon.

Hier sei noch auf einige Eigenarten hingewiesen.

Das Buch beginnt mit den Fluktalkulturen des Nahen Ostens und endet mit den Ergebnissen der letzten Jahre. Die Nobelpreisträger vom Jahre 1988 und das Wesentliche ihrer Entdeckung sind in ihm noch zu finden.

Viele Faksimile-Abbildungen mögen dem gebildeten Leser bekannt vorkommen, aber er findet auch solche, deren Aufnahme in Bücher dieser Art noch nicht üblich geworden ist: Faksimile-Seiten moderner Artikel – manchmal in vollem Umfang –, die als Seiten eines Mitbüchchens zu lesen sind, wie z. B. der Artikel EINSTEIN über die Massen-Energie-Äquivalenz oder HILBERTS Artikel über die Gravitationsgleichung, möchten auch dem Fachwissenschaftler etwas Interessantes bieten.

Die Farbtafeln sollen – nach der Absicht des Verfassers – außer ihrer dekorativen und informationsvermittelnden Funktion auch zu einer Übersicht über die kulturelle Entwicklung vom Gesichtspunkt des Physikers verhelfen: In ihrer abgestimmten Gesamtheit zeigen sie die wichtigsten Schritte auf, die für die Physik und – mit etwas Übertreibung – für die Ganzheit der menschlichen Kultur maßgebend waren.

Der Autor eines Buches wie des vorliegenden muß – bereits durch die Aufgabenstellung bedingt – auf eine Vielzahl anderer Bücher zurückgreifen. Einige der im Literaturverzeichnis angeführten Werke haben als anregende Quellen gedient; andere ermöglichen dem Leser ein einführendes, wieder andere ein weiterführendes Studium. Der Autor ist bestrebt gewesen, die Herkunft seiner Gedankengänge, der Abbildungen und Zitate genau nachzuweisen; dort, wo es möglich war, hat er auf die Originalarbeiten zurückgegriffen. Die Abbildungen sind – wiederum nach Möglichkeit – den Erstveröffentlichungen, hauptsächlich denen, die in ungarischen Bibliotheken aufzufinden waren, entnommen.

In den Fällen, in denen die Übersetzung einer Originalarbeit ins Deutsche vorlag bzw. anzutreiben war, ist sie auch – natürlich mit Angabe des Übersetzers – verwendet worden, und zwar – schon wegen des historischen Interesses – ohne Umsetzung in die heute gebräuchliche Fachsprache. Texte, bei denen der Übersetzer nicht angegeben ist, sind von DR. OTTO HARTMAN übersetzt worden, teilweise aufgrund einer Rohübersetzung des Autors. Solche Übersetzungen erheben keine höheren Ansprüche hinsichtlich phänomenischer Exaktheit und stilistischer Vollendung, sie sollen einfach dem gezielten Erwecken des fachlichen Interesses dienen.

Der Autor möchte sich schließlich bei all denen, die zum Entstehen dieses Buches beigetragen haben, bedanken. In erster Linie gebührt sein Dank seiner Mitarbeiterin, Oberassistentin Frau ILDIKÓ CSORGAY, die in mühevoller Arbeit das Manuskript für den Druck vorbereitet sowie zur Klärung einer Reihe fachlicher und stilistischer Fragen beigetragen hat. Die Zusammenstellung des lexikonartigen Namensverzeichnisses ist völlig ihr Verdienst.

Der Dank des Autors gilt außerdem den ungarischen Bibliotheken der Bibliothek der Technischen Universität Budapest, der Universitätsbibliothek Budapest, der Széchényi-Landes-Bibliothek, der Hauptbibliothek der Benediktiner in Pannonhalma, der Pastoralbibliothek in Székesfehérvár, der Gedächtnisbibliothek der Universität für Schwerindustrie in Miskolc und der Bibliothek der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest – für die Hilfe beim Auffinden alter Werke und die Erlaubnis zur Anfertigung von Fotokopien als Illustrationen des vorliegenden Buches.

Der Dank des Autors gebührt auch den Museen und Institutionen, die in ihrem Besitz befindliches Bildmaterial ohne Entgelt zur Verfügung gestellt haben (CERN, Graf: Stiftskirche Zwettl, Musée de la Ville de Paris, Musée de Versailles, Museo di Napoli; Augustbibliothek, Wolfenbüttel, Staatliche Museen, Berlin).

Die deutsche Ausgabe ist im wesentlichen mit der 3. ungarischen Aus-

gabe identisch. Fortgelassen wurden lediglich Bemerkungen, Bilder und Zitate, die nach dem Ermessen des Autors nur bei ungarischen Lesern einen Wiederhall finden: sie wurden meist durch ähnliches Material ersetzt, das für den internationalen, insbesondere deutschsprachigen Leser von Interesse sein mag. Es war dies verhältnismäßig wenig, da das Buch von vornherein eine europäische Sicht der Physikgeschichte vermitteln wollte.

Der Autor dankt dem Urania-Verlag in Leipzig und dem Verlag Akadémiai Kiadó in Budapest für eine angenehme und verständnisvolle Zusammenarbeit, Herrn DR. MARTIN FRANKL für die Hilfe bei der Aufzeichnung einiger authentisch-deutscher Übersetzungen, die in den ungarischen Bibliotheken nicht zu finden waren. Es sind außerdem seine wertvollen Bemerkungen sowie die von DR. OTTÓ HARMAS bei der endgültigen Gestaltung des Textes mitberücksichtigt worden.

Der Autor war bestrebt, jegliche Verpflichtung zu Dank, besonders für Anregungen, anzuerkennen und alle seine Angaben möglichst exakt zu machen. Er ist sich dessen bewußt, daß er diese Absichten sicher nicht vollständig verwirklichen konnte. Er spricht all jenen im voraus seinen Dank aus, die ihn auf Unzulänglichkeiten aufmerksam machen.

Schließlich gilt der Dank des Verfassers auch seiner Frau, die ihn bei der Aufertigung des Manuskriptes, bei den bibliothekarischen Arbeiten, bei der Diskussion stilistischer und pädagogischer Fragen unermüdlich Hilfe leistete.

DER VERFASSER

Vorwort zur 2. und 3. Auflage

Struktur und Seitenzahl sind in der 2. Auflage im wesentlichen unverändert geblieben. Die zahlreichen Zusatzinformationen (Zitate, Abbildungen, Fußnoten, Ergänzungen) sind an den leeren Stellen des Haupttextes bzw. des Randes untergebracht.

In den längeren Einschüben findet man - unter anderem - weiterführende Ansätze zu folgenden Themen: Aristotelische Logik, kulturelle Bedeutung des mittelalterlichen Judentums, Paracelsus und die Iatrochemie, Elektromagnetische Wellen, Gruppentheorie, insbesondere Symmetriegruppen, Plancks Einheiten für „außerbenschnliche“ Kulturen, Feynman-Diagramme, Chaos und die Fraktale.

Die kürzeren Ergänzungen dienen in erster Linie zur Erhöhung der Benutzbarkeit des Buches als Nachschlagewerk, wie z.B. die Definitionen grundlegender Begriffe (thermodynamische Potentiale, Wirkungsquerschnitt, Linsenfehler, Ozonloch, Positronenmissionstomographie).

Unsere Bestrebung, die Ergänzungen der allgemeinen Konzeption des Buches anzupassen, kann am Beispiel des neu eingefügten Periodensystems der Elemente demonstriert werden. Der allgemeinen Zielsetzung entsprechend enthält es Angaben zur dreifachen Benutzbarkeit: Physikalische Daten zum Nachschlagen, Entdeckungsjahre als historisches Material und Herkunft der Namen als kulturelle Information.

Das neu geschriebene abschließende Kapitel in der 3. Auflage ist vor allem den neuesten Bestrebungen in der Vereinheitlichung aller Wechselwirkungen (TOE, SUSY, Superstring) gewidmet, oder, etwas allgemeiner, den Top-Theorien der Physik an der Jahrtausendwende und den - zum Teil - radikalen Veränderungen der gesellschaftlichen Beurteilung der Physik und des Physikers, anlehnd an die Meinungen der führenden Physiker.

Dieser letzte Teil wurde von Professor András Pálkö kritisch durchgesehen. Zahlreiche seiner wertvollen Bemerkungen sind berücksichtigt, einige wurden direkt in den Text übernommen. Ihm bin ich dafür zu besonderem Dank verpflichtet.

Außer den früher erwähnten Mitarbeitern gebührt mein Dank meinem Sohn Tamas, der die arabischen Texte durchgesehen und bei Redaktionsarbeiten geholfen hat. Es gebührt aber auch meinem Sohn Charles Simonyi (Microsoft) Dank für die Großzügigkeit, mit der er mich materiell und geistig unterstützt hat.

Zum Schluß möchte ich dem Verlag Harr Deutsch und - im besonderen Herrn Bernd Müller für die freundliche Atmosphäre bei der Bearbeitung dieser 3. Auflage meinen Dank aussprechen.

Budapest, 2001

DER VERFASSER

Einführung

0.1 Zur Rolle der Physikgeschichte in der modernen Gesellschaft

Die entwickelten Industriegesellschaften ermöglichen es immer mehr Menschen, ein von finanziellen Sorgen freies Leben zu führen. Sie stützen sich dabei auf eine wachsende Zahl von Spezialisten, die auf engbegrenzten Fachgebieten tätig sind. Der Mensch strebt zur Entwicklung seiner Persönlichkeit jedoch nach einem möglichst umfassenden Kennenlernen der von der Menschheit insgesamt geschaffenen kulturellen Werte, und wenn dieses Streben nicht ausgeprägt ist, darf es wachgerufen werden. Ist es aber möglich, „Fachbarbaren“ für die Kunst, für die Literatur zu begeistern? Und umgekehrt: Können die in den Humanwissenschaften Tätigen davon überzeugt werden, daß auch die Ergebnisse der einzelnen Naturwissenschaften einen integrierenden Bestandteil der universellen menschlichen Kultur darstellen? Oder – allgemeiner formuliert und mit einer vor kurzem Mode gewordenen Redewendung ausgedrückt: Ist es möglich, die Kluft zwischen den zwei Kulturen, nämlich der naturwissenschaftlichen und der humanistischen (Abbildung 0.1-1, Zitat 0.1-1a) zu überbrücken? Ist der einzelne dazu instande, ist es für die Gesellschaft möglich und notwendig, die Synthese anzustreben? Es ist ja einerseits die intellektuelle Aufnahmefähigkeit des Individuums gewiß endlich, andererseits der wirklich gute Fachmann dadurch gekennzeichnet, daß für ihn sein Fachgebiet Lebenszweck, Quelle der Genugtuung und Gelegenheit zur Selbstverwirklichung ist.

Was darf in dieser Beziehung von der Physikgeschichte erwartet werden? Für den Physiker konnten die Erfolge in der Geschichte seiner Wissenschaft Bezugspunkte und Bewertungsmaßstäbe für große Leistungen auf den übrigen Teilgebieten der Kultur darstellen. Menschen mit humanwissenschaftlicher Ausbildung oder Neigung hingegen können in der Geschichte der Naturwissenschaften, insbesondere der Physik, neue Elemente Forschungsmethoden, Methoden zur Kontrolle der Richtigkeit von Ergebnissen sowie auch die Ergebnisse selbst – finden, die im Laufe der Geschichte zu wesentlichen Bestandteilen der universellen Kultur wurden und oft auch fördernde Wirkung auf sie hatten. Eines ist jedenfalls festzustellen: *Die Kultur ist ein einziges, einheitliches Ganzes und nur für uns, die wir aufnehmenden Individuen, ergibt sich das Problem, wie ihre wesentlichen Elemente ausgewählt, angeeignet und weitergegeben werden können* (Zitat 0.1-1b, c, d). Es muß allerdings auch zur Kenntnis genommen werden, daß die großen schöpferischen Persönlichkeiten – Künstler ebenso wie Gelehrte – notwendigerweise eigengesetzlich wirken und diese Eigengesetzlichkeit in manchen Fällen eine völlige Einseitigkeit bedeutet.

In der Geschichte der Physik ist vieles zu finden, womit der Unterricht auf allen Stufen von der Grundschule bis zur Universität interessant, ja spannend gemacht werden kann: Anekdoten, aber auch tragische Konflikte, unterhaltsame naive Bezeichnungswissen, aber auch die Geburtswehen der Klärung von Begriffen und Methoden, an denen auch die Philosophie interessiert ist – all dies ist geeignet, das Interesse der Studierenden wachzurufen und ihnen Erlebnisse zu vermitteln. Es sind in ihr auch Beispiele für Lebensideale und für ethische Verhaltensweisen zu finden.

Was sollte nun – im Gegensatz zu allgemein verbreiteten Erwartungen – vom Unterrichts der Physikgeschichte nicht erwartet werden? Es ist heutzutage in der pädagogischen Literatur viel von der Erziehung zum selbständigen Denken die Rede. In der naturwissenschaftlichen Ausbildung sucht man oft, dieses Ziel zu erreichen, indem man die Naturgesetze den Schülern nicht als vollendete Tatsachen oder längst bekannte Aussagen vermittelt, sondern ihnen Hilfsmittel zur Verfügung stellt, um die Gesetze



Abbildung 0.1-1
Geht über in die Ekstase der Mengen oder Künstler (Statue des Platon im Ulmer Dom, geschaffen 1470 von Jörg Syrota d. Ä.). Dieses Attribut eines griechischen Gelehrten in einer mittelalterlichen Kathedrale – Symbol der Einheit der menschlichen Kultur (2.2).

Zitat 0.1-1a

Ich glühte über das geistige Leben der gesamten westlichen Gesellschaft später als ich mir mehr zu zwang als meine Gruppen auf.

Überwiegend Gebildete auf der einen Seite – auf der anderen Naturwissenschaftler als der mehr populärsten Gruppe der Physiker grüßen. Zwischen beiden eine Kultgegenseitigen Nichtverstehens „marchant“ – und zwar vor allem bei der jüngsten Generation – Feindseligkeit und Antipathie. In erster Linie aber mangelndes Verständnis. Man hat mir zu ihrem verzerrtes Bild vom anderen.

Die Gegenspieler der Naturwissenschaftler haben die tiefenwurzelte Vorste und jene sehr einseitige Optimisten die nicht merken, wo die Menschheit steht. Ausserwärts glücken die Naturwissenschaftler der technisch Gebildeten gene jede Voraussicht ab sie summieren sich kaum um ihre Mitmenschen und sie seien in einem solchen Sinne antihumanistisch und häufig darauf bedacht, Kunst und Denken auf das existentielle Moment zu beschränken.

Es war ein wichtiger bedeutender Wissenschaftler, der auf die Frage nach seiner Lektüre antwortete: „Bücher? Ich züchte es vor meine Bücher als Werkzeuge zu benutzen.“ Man war tatsächlich

Methode bei unserer Einschätzung wissenschaftlicher Arbeiten sehr stark berücksichtigen wollen, lassen wir zunächst kurz die Grundprinzipien zusammen, die von einem heute tätigen Physiker – und zwar unabhängig davon, ob er experimentell oder theoretisch arbeitet – bewußt oder unbewußt einzuhalten sind.

Als Beispiel betrachten wir ein nicht allzu kompliziertes, aber auch nicht völlig triviales Problem und untersuchen an ihm, auf welche Fragen die Physik eine Antwort gibt und welche Begriffe und Methoden dabei verwendet werden.

Das zu untersuchende Problem ist das folgende: Gegeben sei ein Zylinder, der durch einen reibungslos beweglichen Kolben verschlossen ist. Der Kolben wird in den Zylinder hineingestoßen und das im Zylinder befindliche Gas dadurch schnell komprimiert. Wir beobachten eine Erwärmung des Gases (Abbildung 0.2 2). Es ist die Frage zu beantworten, wie dieser Vorgang erklärt werden kann, und es sind quantitative Beziehungen zwischen den physikalischen Größen, die den Vorgang charakterisieren, zu finden. Es ist so z. B. zu berechnen, wie groß der Druck und die Temperatur im Gas bei gegebenem Verhältnis des Endvolumens zum Ausgangsvolumen sein werden. Das untersuchte Problem – das Verhalten eines Gases bei einer adiabatischen Zustandsänderung – ist allgemein bekannt.

Wie wir sehen, wird zunächst eine konkrete physikalische Situation oder eine Tätigkeit vorgegeben, d. h., es werden die Versuchsbedingungen sowie das zu deutende Versuchsergebnis beschrieben. Die qualitative Erklärung des hier betrachteten Phänomens ist, wie wir wissen, sehr einfach. Wird das Gas mit Hilfe des Kolbens zusammengepreßt, dann leisten äußere Kräfte – im gegebenen Falle Muskelkräfte – eine Arbeit. Diese Arbeit vergrößert die innere Energie des Gases, wenn wir annehmen, daß die Kompression so schnell vor sich geht, daß das Gas keine Wärme an die Umgebung abgeben kann, d. h., daß die Kompression *adiabatisch* ist. Das Anwachsen der inneren Energie äußert sich aber in einer Zunahme der Temperatur des Gases.

Zur quantitativen Deutung benötigen wir den Energieerhaltungssatz, die allgemeine Zustandsgleichung der Gase sowie den Zusammenhang zwischen innerer Energie und Temperatur. Ausgehend von diesen Beziehungen werden wir dem nachfolgend angegebenen Schema unter der Annahme, daß die Zustandsänderung adiabatisch ist, d. h., $dQ = 0$, die Gleichung für die adiabatische Zustandsänderung ab.

$$\begin{aligned}
 & dU + p dV = dQ = 0 \\
 & dU = C_V dT \\
 & p = \frac{R}{M} \rho T \\
 & \rho = \frac{M}{V} \\
 & \frac{C_V}{M} dT + \frac{R}{M} T \frac{dV}{V} = 0 \\
 & \frac{C_V}{M} \frac{dT}{T} + \frac{R}{M} \frac{dV}{V} = 0 \\
 & \frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V} \frac{dV}{V} = 0 \\
 & \ln T + \frac{R}{C_V} \ln V = \text{const.} \\
 & T V^{\frac{R}{C_V}} = \text{const.} \\
 & T V^{\gamma-1} = \text{const.}
 \end{aligned}$$

Die drei erwarteten Ausgangsgleichungen stehen in der obersten Zeile des Schemas, wobei hier die folgenden Bezeichnungen verwendet worden sind: Q – vom Gas aufgenommene Wärmemenge, V – Gasvolumen, U – innere Energie, R – universelle Gaskonstante, M – Masse des Gases, ρ – Masse pro Kilogramm des betr. Gases, T – absolute Temperatur, C_V – spezifische Wärmemengen bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen, p – Druck, N – $\frac{R}{M} = \frac{R_0}{M_0}$ – Gaskonstante bezogen auf die Massenanteile.

Wie wir sehen, müssen wir bei der Erklärung eines alltäglichen zu beobachtenden Erscheinung mehrere Gesetze heranziehen und verhältnismäßig komplizierte logische Schritte abgearbeitet werden.

Aus dem Prozedere folgt nicht nur (vgl. 1.8), daß die Temperatur bei der Kompression ansteigt, sondern die Temperaturzunahme kann auch quantitativ bestimmt werden. Das bedeutet

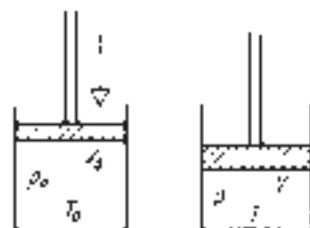


Abbildung 0.2 2 Ein Modell zur Illustration des Vorgangs bei der physikalischen Erklärung eines Phänomens. Was um steigt die Temperatur in einem Gas, wenn dieses schnell komprimiert wird?

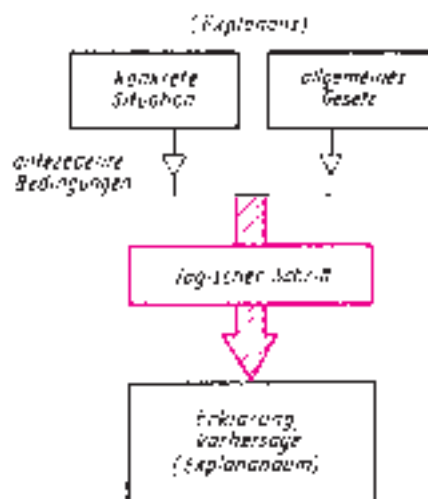


Abbildung 0.2 3 Logisches Schema, das der Erklärung des physikalischen Phänomens zugrunde gelegt wird.

Die drei wesentlichen Elemente der Wissenschaft – die Bemühen um das Verständnis der Erscheinungen – 2) aufgrund wichtiger, wichtiger Gesetze und Prinzipien 3) die experimentelle Arbeit – präzisieren.

M. GOLDSTEIN – I. F. GOLDSTEIN How we know p. 91

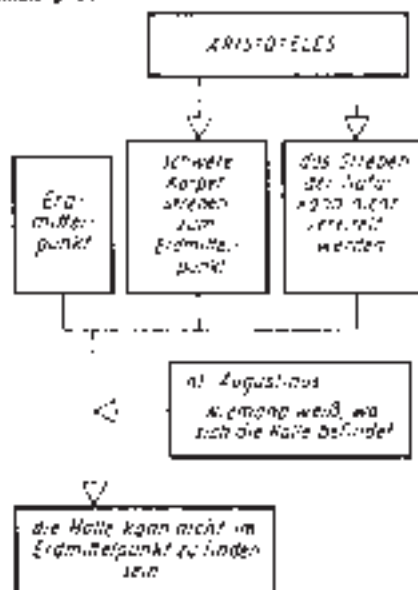


Abbildung 0.2 4 Zur Antwort von Thomas von Aquino auf die Frage, ob die Erde im Mittelpunkt der Erde liegt. Es ist zu beachten, daß sich die Begründung sogar auf zwei Antiquitäten stützt (Declara ad 35 questionum).

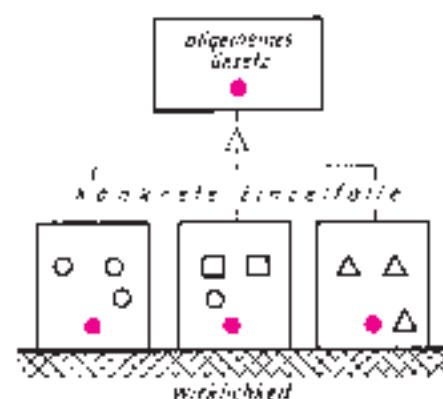


Abbildung 02 - 5a
Mit der induktiven Methode läßt sich aus vier oder fünf Beobachtungen das Allgemeine herleiten!

mit anderen Worten aber, daß wir die Beobachtung nicht nur geteilt haben, sondern auch, daß wir sie weiter gegeben, physikalisch, nicht, in das Endgehirn, sondern in einen, der eine quantitative Erklärung befähigt ist, wieder zusammenfügen.

Die einzelnen Schritte zur Erklärung eines physikalischen Phänomens können wir wie folgt zusammenfassen: *Abbildung 02 - 3.*

1. Wir gehen von einer konkreten Situation aus und beschreiben sie. In der Wissenschaftstheorie werden die hier anzugebenden Voraussetzungen als *Antezedenzen* bezeichnet.

2. Wir suchen die physikalischen Gesetze auf, die für das gegebene Problem eine Rolle spielen. Durch diese Gesetze und die Antezedenzen ist - in der Nomenklatur der Wissenschaftstheorie - das *Explicans* (Antezedenz im allgemeineren Sinne) vorgegeben.

3. Wir gehen von den in den ersten beiden Schritten erworbenen Erkenntnisse aus und leiten auf deduktivem Wege die zu erklärende Erscheinung ab, die in der Sprache der Wissenschaftstheorie als *Explicandum* bezeichnet wird. Dabei bedienen wir uns lediglich der Gesetze der Logik sowie der ihnen gleichgestellten mathematischen Sätze.

Um die Erklärung eines physikalischen Phänomens als befriedigend ansehen zu können, müssen die in ihr vorkommenden Begriffe und Größen bestimmten Forderungen genügen. Ein Problem kann z. B. überhaupt nur als physikalisches Problem angesehen werden, wenn sowohl in den Ausgangsvoraussetzungen als auch in den Schlussfolgerungen nur Aussagen enthalten sind, die sich mit Hilfe von Beobachtungen nachprüfen lassen. Diese Forderung müssen wir stellen, um aus der Vielzahl der möglichen Fragestellungen die physikalischen auszuwählen und sie gegen andere, z. B. logische, mathematische oder gar gegen metaphysische und theologische Fragestellungen, abzugrenzen. So können wir z. B. den auf der *Abbildung 02 - 4* dargestellten Gedankengang nicht als physikalisches Problem und auch nicht als Erklärung eines physikalischen Problems ansehen.

Eine weitere wichtige Forderung ist, daß die Antezedenzen eine allgemeine Gesetzmäßigkeit beinhalten müssen.

Betrachten wir nämlich die folgenden Aussagen:

Die im Schrank S befindlichen Uhren ticken.

Die Uhr U befindet sich im Schrank.

Folglich tickt die Uhr U.

Diese Folge von Aussagen genügt allen weiter oben gestellten Bedingungen, denn es wird eine konkrete physikalische Situation beschrieben, die rein empirisch erfaßt werden kann, und auch der logische Schluß ist richtig. Dennoch ist wohl niemand der Meinung, daß man auf diese Weise erklärt hätte, warum die Uhr U tickt.

Gerade um solche Klippen umgehen zu können, müssen wir die Bedingung stellen, daß in den Antezedenzen auch ein allgemeines Gesetz (Naturgesetz) vorkommen muß. Die Aussage, daß die im Schrank S befindlichen Uhren ticken, ist sicher kein allgemeines Naturgesetz.

Natürlich ist es auch eine entscheidende Bedingung, daß das Explikan- dum aus dem Explicans lediglich unter Verwendung logischer Schlüsse ableitbar sein muß. Auf diese Weise erfüllen wir nicht nur den Wunsch nach einer logisch einwandfreien Erklärung eines physikalischen Phänomens, sondern ermöglichen auch naturwissenschaftliche Voraussagen und damit letzten Endes die technische Planung.

Wir haben oben nicht erwähnt, daß es sehr wichtig ist, sowohl zur Beschreibung einer konkreten physikalischen Situation - in unserem Beispiel zur Angabe der physikalischen Eigenschaften von Zylinder und Kolben (geometrische Abmessungen, Ausgangszustand des eingeschlossenen Gases usw.) - als auch zur Darstellung der Gesetze meßbare physikalische Größen zu verwenden. Bevor man überhaupt von quantitativen Gesetzen reden kann, ist es notwendig, daß die in diesen Gesetzen auftauchenden Größen als physikalische Größen definiert worden sind und ihre Meßvorschrift eindeutig gegeben ist. Man kann das hierbei erreichte Niveau einer Bewertung und Periodisierung physikgeschichtlicher Vorgänge zugrundelegen, d. h., man kann sich bei der Einteilung der Physikgeschichte in Entwicklungsabschnitte davon leiten lassen, wann bestimmte physikalische Begriffe entstanden sind und inwieweit eine quantitative Definition gegeben worden ist. Stellen wir diesen Gesichtspunkt in den Vordergrund, dann muß die späte Scholastik von der heutigen Wissenschaftstheorie neu bewertet werden, denn zu dieser Zeit ist das Problem der Intension der *Qualitäten* aufgeworfen, und es ist damit begonnen worden, diese Größen *quantitativ* zu fassen.

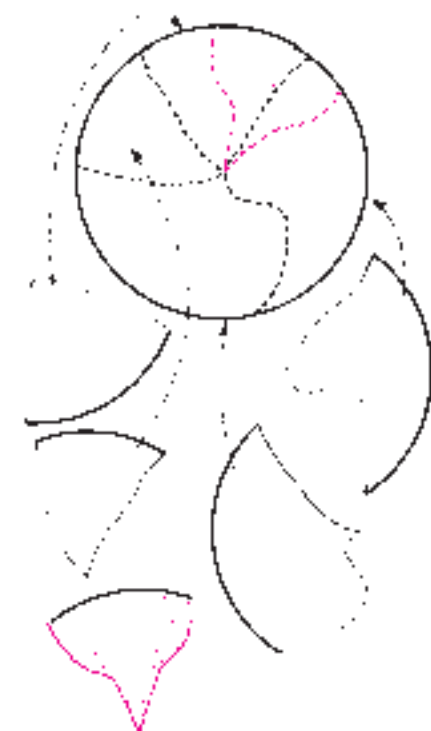


Abbildung 02 - 5b
Eine wie auch wirklichkeitstreue Darstellung des Prozesses, wie sich aus der Zusammenfassung von konkreten Einzelfällen ein allgemeines Gesetz ergibt. Das Verfahren gleicht dem Zusammenfügen eines „Zerbrocknen Glases“. Das laßt je Segment der Zeit an, wie aus dem allgemeinen Gesetz wieder ein neuer konkreter Fall herausgegriffen werden kann.