

Die vergessene Revolution
oder
die Wiedergeburt des antiken Wissens

Lucio Russo

Die vergessene Revolution oder die Wiedergeburt des antiken Wissens

Übersetzt von Bärbel Deninger

 Springer

Autor

Lucio Russo

Dipartimento di Matematica
Università di Roma "Tor Vergata"
Via della Ricerca Scientifica
00133 Roma, Italien

Übersetzer (englische Ausgabe)

Silvio Levy

Mathematical Sciences Research Institute
17 Gauss Way
Berkeley, CA 94720-5070, USA
e-mail: levy@msri.org

Übersetzerin (deutsche Ausgabe)

Bärbel Deninger

e-mail: deninger@muenster.de

Übersetzung aus dem Italienischen *La rivoluzione dimenticata*,
Giangiacomo Feltrinelli Editore Milano, 1996

Überarbeitet anhand der erweiterten englischen Übersetzung
The Forgotten Revolution, Springer-Verlag, 2004 (ISBN 3-540-20068-1)

Die Übersetzung dieses Buches wurde mit Unterstützung des
SEGRETARIATO EUROPEO PER LE PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE erstellt



Via Val d'Aposa 7 - 40123 Bologna - Italien
Telefon +39.051 271992 Fax +39.051 265983
seps@alma.unibo.it - www.seps.it

Mathematics Subject Classification (2000): 01A20

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

ISBN-10 3-540-20938-7 Springer Berlin Heidelberg New York

ISBN-13 978-3-540-20938-6 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandgestaltung: deblik, Berlin

Satz und Herstellung: LE-TeX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig

Gedruckt auf säurefreiem Papier

41/3142/YL - 5 4 3 2 1 0

Vorwort zur englischen und deutschen Ausgabe

Ursprünglich sollte das Buch, welches Sie in den Händen halten, einfach eine Übersetzung der zweiten italienischen Ausgabe werden. Und hätte man jemand anderen als Silvio Levy als Übersetzer ins Englische gewählt, wäre es wohl auch so gekommen. Aber nach den ersten hundert Mails wurde mir klar, dass die Arbeit einen vollständig anderen Charakter anzunehmen begann. Nicht nur wies Silvio mich auf verschiedene Flüchtigkeitsfehler und Unstimmigkeiten hin, immer wieder schlug er auch redaktionelle Veränderungen vor. Viele seiner Vorschläge setzte ich um, andere führten zu langen Diskussionen mit unterschiedlichen Ergebnissen. In beiden Fällen wurde das Endprodukt durch seine Beiträge verbessert. (Die dritte italienische Ausgabe wird viele dieser Veränderungen übernehmen.) Weiterhin zeichnete Silvio einige Abbildungen, besorgte und verbesserte zahlreiche andere, erstellte den Index und kümmerte sich um die technischen Aspekte des Projekts. Ich bin Catriona Byrne vom Springer Verlag für die Herbeiführung dieser Zusammenarbeit zu Dank verpflichtet, durch die nicht nur dieses Buch verbessert wurde, sondern ich darüber hinaus einen Freund gewonnen habe.

Rom, September 2003

Lucio Russo

Danksagung der Übersetzerin

Für die fachliche Begleitung, ohne die es mir nicht möglich gewesen wäre, dieses Buch ins Deutsche zu übertragen, bedanke ich mich bei meinem Mann, Prof. Dr. Christopher Deninger, sowie bei den vielen Anderen, die stets ein offenes Ohr für meine Fragen hatten und ihre knappe Zeit für ihre Beantwortung zur Verfügung gestellt haben. Lucio Russo und Gabi Weckermann bin ich für ihre Unterstützung in technischen Fragen zu großem Dank verpflichtet.

Bärbel Deninger

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Die Entstehung der Wissenschaften	7
1.1 Die Auslöschung der wissenschaftlichen Revolution	7
1.2 Der Begriff „hellenistisch“	12
1.3 Wissenschaft	18
1.4 Gab es Wissenschaften im klassischen Griechenland?	26
1.5 Die Ursprünge hellenistischer Wissenschaften	33
2 Hellenistische Mathematik	37
2.1 Vorläufer der mathematischen Wissenschaft	37
2.2 Euklids hypothetisch-deduktive Methode	46
2.3 Geometrie und Rechenhilfen	48
2.4 Diskrete Mathematik und der Begriff des Unendlichen	52
2.5 Mathematik kontinuierlicher Größen	53
2.6 Euklid und seine Vorgänger	56
2.7 Eine Anwendung der „Approximationsmethode“	57
2.8 Trigonometrie und sphärische Geometrie	61
3 Weitere wissenschaftliche Theorien des Hellenismus	65
3.1 Optik, Szenographie und Katoptrik	65
3.2 Geodäsie und mathematische Geographie	74
3.3 Mechanik	80
3.4 Hydrostatik	83
3.5 Pneumatik	86
3.6 Aristarchos, Heliozentrismus und relative Bewegung	90
3.7 Von der <i>Closed World</i> zur Unendlichkeit des Universums	99
3.8 Die Ptolemäische Astronomie	103

4	Wissenschaftliche Technologie	109
4.1	Maschinenbau	110
4.2	Messinstrumente	114
4.3	Militärtechnologie	120
4.4	Schifffahrt und Navigation	128
4.5	Schiffbau. Der Pharos	131
4.6	Wasserbau	135
4.7	Die Nutzung von Naturkräften	142
4.8	Der Mechanismus von Antikythera	147
4.9	Die Rolle Herons	149
4.10	Verlorene Technologie	157
5	Medizin und andere empirische Wissenschaften	163
5.1	Die Entstehung von Anatomie und Physiologie	163
5.2	Medizin und exakte Wissenschaften	166
5.3	Anatomische Terminologie und die Schraubenpresse	171
5.4	Die wissenschaftliche Methode in der Medizin	172
5.5	Entwicklung und Ende der wissenschaftlichen Medizin	178
5.6	Botanik und Zoologie	181
5.7	Die Chemie	188
6	Die wissenschaftliche Methode des Hellenismus	195
6.1	Die Ursprünge des wissenschaftlichen Beweises	195
6.2	Postulate oder Hypothesen	198
6.3	Erhaltung der Phainomena	200
6.4	Definitionen, wissenschaftliche Termini und theoretische Konzepte	204
6.5	Episteme und Techne	211
6.6	Postulate und die Bedeutung von „Mathematik“ und „Physik“	214
6.7	Hellenistische Wissenschaften und die experimentelle Methode	222
6.8	Die Wissenschaften und die mündliche Überlieferung	224
6.9	Woher stammen die Klischees über die „antiken Wissenschaften“?	226
7	Weitere Aspekte der wissenschaftlichen Revolution	233
7.1	Stadtplanung	233
7.2	Bewusste und unbewusste kulturelle Evolution	239
7.3	Die Traumtheorie	245
7.4	Aussagenlogik	250
7.5	Philologische und linguistische Studien	253
7.6	Bildende Künste, Literatur und Musik	257
8	Niedergang und Ende der Wissenschaften	265
8.1	Die Krise der hellenistischen Wissenschaften	265
8.2	Rom, die Wissenschaften und die wissenschaftliche Technologie	269
8.3	Das Ende der antiken Wissenschaften	275

9	Wissenschaften, Technologie und Wirtschaft	279
9.1	Modernismus und Primitivismus	279
9.2	Wissenschafts- und Technologiepolitik	282
9.3	Wirtschaftswachstum und Innovationen in der Landwirtschaft	286
9.4	Nichtlandwirtschaftliche Technologie und Produktion	290
9.5	Die Bedeutung der Stadt in der antiken Welt	295
9.6	Das Wesen der antiken Wirtschaft	299
9.7	Antike Wissenschaften und die Produktion	302
10	Verlorene Wissenschaften	307
10.1	Die verlorene Optik	307
10.2	Eratosthenes' Messung des Erdumfangs	311
10.3	Determinismus, Zufall und Atome	316
10.4	Kombinatorik und Logik	321
10.5	Ptolemäus und die hellenistische Astronomie	323
10.6	Der Mond, die Schlinge und Hipparchos	327
10.7	Eine Passage bei Seneca	336
10.8	Dunkle und dreieckige Strahlen	339
10.9	Der Gedanke der Schwerkraft nach Aristoteles	346
10.10	Die Gezeiten	349
10.11	Die Gestalt der Erde: Schlinge oder Ellipsoid?	354
10.12	Seleukos und der Beweis des Heliozentrismus	356
10.13	Vorrücken, Kometen u. a.	361
10.14	Ptolemäus und Theon von Smyrna	363
10.15	Die ersten Definitionen in den <i>Elementen</i>	366
11	Die jahrhundertelange Wiederentdeckung	375
11.1	Die frühen Renaissance	375
11.2	Die Renaissance	382
11.3	Die Wiederentdeckung der Optik in Europa	393
11.4	Ein später Schüler des Archimedes	398
11.5	Zwei Wissenschaftler der Neuzeit: Kepler und Descartes	405
11.6	Die Bewegung der Erde, die Gezeiten und die Schwerkraft	410
11.7	Die Naturphilosophie Newtons	417
11.8	Die Trennung von Mathematik und Physik	432
11.9	Antike und moderne Wissenschaften	439
11.10	Die Auslöschung der antiken Wissenschaften	443
11.11	Wiederherstellung und Krise der wissenschaftlichen Methode	447
	Anhang	455
	Zitatverzeichnis	459
	Literaturverzeichnis	475
	Deutsche Bibliographie für Lucio Russo: The Forgotten Revolution	491
	Index	493

Einleitung

Vom späten 4. bis zum späten 2. Jahrhundert v. Chr. erlebten die griechischsprachigen Länder eine Explosion des objektiven Wissens über die äußere Welt. Schon im vorhergegangenen, klassischen Zeitalter war die griechische Kultur in den Künsten, der Literatur und in der Philosophie zu höchster Perfektion gelangt. Erst das so genannte hellenistische Zeitalter jedoch, brachte erstmals eine Entstehung von Wissenschaften nach unserem Verständnis: Keine Ansammlung von Fakten oder philosophischen Spekulationen, sondern den organisierten Versuch, die Natur darzustellen und diese Darstellungen oder in gewisser, noch auszuführender Weise diese *wissenschaftlichen Theorien* zur Lösung praktischer Probleme und zu einem besseren Verständnis der Natur heranzuziehen. Diesen neuen Zugang verdanken wir Wissenschaftlern wie Archimedes, Euklid, Eratosthenes und vielen anderen, heute weniger bekannten, deshalb aber nicht weniger bemerkenswerten Persönlichkeiten.

Aber schon kurze Zeit nach diesem goldenen Zeitalter waren große Teile dieser außergewöhnlichen Entwicklung rückgängig gemacht worden. Die Römer übernahmen von den Griechen, was ihnen möglich war, und bewahrten es für kurze Zeit. Nennenswerte eigene wissenschaftliche Beiträge schufen sie jedoch nicht. Nach kurzer Zeit versank Europa in dem Obskurantismus und der Erstarrung, die über 1000 Jahre hinweg nahezu jede geistige Entwicklung blockierten. Bis die Wiederentdeckung der antiken Kultur in ihrer Gesamtheit bekanntlich den Weg in die Neuzeit bereitete.

Was waren die Grundpfeiler dieses kometenhaften Aufstiegs der Wissenschaften vor 2300 Jahren? Warum wissen heute selbst Naturwissen-

schaftler, Altphilologen und Historiker so wenig darüber? Was verbindet sie mit den Wissenschaften nach 1500, die wir aus unserer Schulzeit kennen? Was führte zum Untergang der antiken Wissenschaften? Dies sind die Fragen, mit denen sich dieses Buch beschäftigt. Wir sind überzeugt davon, dass die Antworten Auswirkungen haben können auf Entscheidungen, vor denen wir heute stehen.

Dafür gibt es mehrere Gründe. Ein besseres Verständnis der antiken Wissenschaften und ihrer Beziehungen zu ihren modernen Entsprechungen könnte ein neues Licht auf die internen Strukturen der Wissenschaften werfen, auf ihre Verbindungen mit der Technologie und andere Aspekte der modernen Zivilisation, den Ursprung für die bestehende Kluft zwischen den Welten der Geistes- und der Naturwissenschaften und eventuelle Wege, diese zu überwinden. Was die antiken Wissenschaften jedoch zu einem so aktuellen Thema macht, und gleichzeitig das geringe Interesse an ihnen während der letzten zwei Jahrhunderte erklärt, ist ihr tragisches Ende. Die naive Vorstellung vom Fortschritt als einem von der wissenschaftlichen Entwicklung automatisch vorangetriebenen Strom hätte sich nie so durchsetzen können wie im 18. Jahrhundert geschehen, wenn das Scheitern der Wissenschaften in der Antike nicht in Vergessenheit geraten wäre. Da uns diese gefährliche Illusion heute nicht mehr ganz so stark gefangen hält, sind wir vielleicht bereit, aus der Vergangenheit zu lernen. Diejenigen, die es unternommen haben, die wissenschaftliche Rationalität gegen die Wogen zu verteidigen, die sie aus vielen Richtungen zu überrollen drohen, sollten sich mit der Erkenntnis wappnen, dass diese Schlacht schon einmal verloren ging, mit Folgen, die jeden Aspekt unserer Zivilisation für mehr als 1000 Jahre berührten.

Ein weiterer Grund, sich in die hellenischen Wissenschaften zu vertiefen, ist ein historischer. Wie wir zeigen werden, war die Entstehung der wissenschaftlichen Methode Teil einer umfassenderen Entwicklung. Kurz gesagt: Im hellenistischen Zeitalter wurde die Entstehung von Kultur zu einem bewussten Akt. In dieser Zeit stoßen wir nicht nur auf Physiker bei der Durchführung kontrollierter Experimente oder Wissenschaftler, die mit Hilfe der Mathematik und der Mechanik bessere Waffen bauen, oder Maler, die sich in ihren Werken der Geometrie bedienen. Selbst das Verständnis von Sprache verändert sich: Die Dichtung wird zu einem Spielfeld für Experimente, während in technischen Gebieten Worten bewusst neue, präzise Bedeutungen zugeschrieben werden, ein Vorgang der erst im 19. Jahrhundert wieder denkbar werden würde. Die materiellen Aspekte vorwissenschaftlicher Gesellschaften definieren sich in erster Linie durch ihre Technologie. Sobald diese Technologie durch die Wissenschaften in einem bewussten Akt entwickelt wird, sind die beiden untrennbar miteinander verbunden. Den Wissenschaften kommt dann eine

zentrale Bedeutung zu, die bis in das Selbstverständnis der Gesellschaft hineinreicht.

Die Anerkennung der ursprünglichen *wissenschaftlichen Revolution* ist daher grundlegend für ein Verständnis der hellenistischen Zivilisation. Im Gegenzug kann ihre Rolle innerhalb dieser Zivilisation uns dabei helfen, zentrale historische Fragen anzugehen, wie das Vermächtnis Roms, die Ursachen des städtischen und technologischen Niedergangs im Mittelalter und die Ursprünge, Wesenszüge und Grenzen der so genannten frühen, *wissenschaftlichen Renaissance* in der frühen Neuzeit. Das Thema dieses Buchs ist daher weniger die Geschichte der Wissenschaften, als vielmehr einfach die Geschichte. „Geschichte aus der Perspektive der Wissenschaft“ sozusagen, so wie man Geschichte auch aus der Perspektive der „materialistischen Zivilisation“ betrachten könnte, oder aus der der Literatur, oder traditioneller aus einer politischen und militärischen Perspektive. Für das hellenistische Zeitalter und seine Auswirkungen erscheint der wissenschaftliche und technologische Ansatz jedoch besonders vielversprechend.

Hinweise für die Leser

Dem Leser, der das Inhaltsverzeichnis betrachtet, wird auffallen, dass dieses Buch viele Fäden miteinander verknüpft, und neben allgemeinen Darstellungen auch zahlreiche Beispiele bringt. Da das Thema in so viele Fachbereiche hereinreicht, kann kein umfassendes Bild der vorhandenen Literatur gegeben werden. Die 340 Werke der Bibliographie fallen daher hauptsächlich in zwei Kategorien: Auf der einen Seite zahlreiche Artikel und Bücher aus dem 20. und dem 19. Jahrhundert, auf die ich mich stütze, und die mir besonders wichtig und hilfreich erscheinen – manchmal auch als Zugang zur Bibliographie eines Fachgebietes. Andere Zitate und Referenzen wiederum sollen weitverbreitete Ansichten widerspiegeln. In diesen Fällen wurden nicht unbedingt die besten sondern eher die bekanntesten und damit repräsentativsten Werke ausgewählt. Bei vielen von ihnen handelt es sich um Enzyklopädien.

Zitate aus Werken aus der Bibliographie stehen in Klammern, unter Angabe der Seitenzahl (manchmal für verschiedene Ausgaben; an manchen Stellen variieren die Angaben je nach Ausgabe)

Die ungefähr 200 antiken Texte, auf die Bezug genommen wird, einschließlich weiterer 100 Werke aus dem Mittelalter und der frühen Neuzeit, sind in einer besonderen Liste zusammengefasst, an der mit den Zitierweisen der Altphilologen nicht vertraute Leser sich orientieren können. Die Angaben in der Liste und im Text sind so umfassend wie möglich gehalten. Oft enthalten sie sowohl die Nummer des Kapitels/des Ab-

schnitts und (die erste nicht anders markierte arabische Zahl) die Seitenzahl der Referenzausgabe. Zwar wird man „*Platon, Der Staat, VI, 510c*“ problemlos in jeder Ausgabe oder Übersetzung finden, da sie alle mit der Referenzausgabe (Henri Estienne, Genf, 1578) übereinstimmen, viele andere Texte sind jedoch nicht derartig standardisiert. In diesen Fällen, habe ich mich, auf die Gefahr hin, als Pedant zu wirken, entschlossen, die Ausgabe, auf die sich die Seitenzahl bezieht, auszuschreiben oder sie auf andere Weise kenntlich zu machen, die einem Fachmann überflüssig erscheinen mag.

Alle Kapitel und Abschnitte sind miteinander verbunden und nicht so unabhängig, wie man anhand ihrer Titel meinen könnte. Leser, die hier und da in den Text hineinlesen, werden mal informiert mal zum Nachdenken angeregt; manchmal vielleicht auch amüsiert, überrascht, vielleicht sogar verärgert sein. Zu einem besseren Verständnis der logischen Argumentation ist es jedoch notwendig, das Buch von Anfang an zu lesen. Ein umfassender Index und zahlreiche Querverweise helfen jedoch auch nur an bestimmten Themen interessierten Lesern.

Danksagungen

Dieses Werk wäre wohl nie entstanden ohne die Hilfe zweier großer Altphilologen: Carlo Gallavotti, der vor vielen Jahren meine ersten Arbeiten über die hellenistischen Wissenschaften las, und dessen Reaktionen mir stets eine große Quelle der Ermutigung waren, und Bruno Gentili, der mir in den folgenden Jahren ein unschätzbare Verbündeter war.

Als die Thesen dieses Buchs Gestalt annahmen, erhielt ich die Gelegenheit, mehrfach ein Seminar über die Geschichte der Mathematik zu halten. Die Begeisterung und die Klugheit, mit der viele meiner Studenten sich den während des Seminars aufkommenden Fragen widmeten und ihre Bedeutung und Aktualität abseits aktueller Trends erkannten, haben viel zu diesem Werk beigetragen.

Ich danke Marcello Cini für die aufmerksame Lektüre des Originals, seine Vermittlung an den italienischen Verleger Feltrinelli und seine Bemerkungen.

Ich bedanke mich bei den vielen Kollegen und Freunden, die mich mit ihren Reaktionen, Vorschlägen und ihrer Kritik zu früheren Versionen dieses Buches oder zu den Artikeln, in denen Teile zunächst erschienen, unterstützt haben. Von ihnen allen habe ich gelernt. Besonders bedanken möchte ich mich bei: Donatella Capocaccia, Giovanni Ciccotti, Ferdinando Degan, Henri Epstein, Giorgio Fusco, Giovanni Gallavotti, Alberto Gandolfi, Sandro Graffi, Mario Iannuzzi, Giovanni Jona-Lasinio, Marco Lippi,

Gabriele Lolli, Enzo Olivieri, Luigi Radicati, Archie Roy und Giovanni Stelli.

Ich habe mich bemüht, in der zweiten italienischen Ausgabe die zahlreichen Kommentare von Referenten, Kollegen, Freunden und Studenten aufzunehmen. Ihnen allen gilt mein Dank, besonders jedoch: Fabio Acerbi, Riccardo Caneba, Giovanni Cerri, Filippo Franciosi, Emanuele Narducci und Paolo Radiciotti.

1

Die Entstehung der Wissenschaften

1.1 Die Auslöschung der wissenschaftlichen Revolution

Betrachtet man die zentrale und allgemein anerkannte Stellung der Wissenschaften in unserer Zivilisation, so sollte man erwarten dass die Entstehung der Wissenschaften als Wendepunkt in der Geschichte der Menschheit angesehen wird. Tatsächlich wird ihre Bedeutung jedoch nur in Ausnahmefällen erkannt. Die Geschichtsschreibung des wissenschaftlichen Denkens übersieht zumeist den revolutionären Stand des Wissens zur Zeit von Archimedes – dem hellenistischen Zeitalter. Sie neigt dazu, die Unterschiede zwischen diesem Wissen und der Naturphilosophie des klassischen Griechenland, zwei Jahrhunderte zuvor, sowie dem vorwissenschaftlichen Wissen im alten Ägypten und in Mesopotamien herunterzuspielen. In historischen Abhandlungen über die Antike werden diese Auslassungen noch offensichtlicher. Oft findet man mehr Informationen über Archimedes oder Aristarchos von Samos in einem Werk über die Wiederentdeckung ihrer Texte in der Renaissance als in einer Arbeit über die Zivilisation der Antike.

Wer sich heutzutage mit der Moderne beschäftigt, betrachtet die Renaissance oder das 17. Jahrhundert mit auf die Zukunft und unsere zeitgenössische Zivilisation gerichtetem Blick. Die Bedeutung der „Wiedergeburt der Wissenschaften“ ist dabei nur schwer zu ignorieren. Wissenschaftliche Abhandlungen über die Antike neigen (und neigten vor allem in der Vergangenheit) dazu, das hellenistische Zeitalter entweder der angeblichen Vollkommenheit des klassischen Griechenland oder Rom gegenüber zu stellen. Sie laufen daher Gefahr, es entweder mit den Maßstäben einer

früheren Zivilisation zu messen, oder mit denen einer Zivilisation, der die Wissenschaften im Grunde fremd geblieben sind. In beiden Fällen betrachten sie es also aus der Perspektive einer vorwissenschaftlichen Kultur.

Daher verbinden die meisten Historiker die Entstehung einer wissenschaftlichen Methode eher mit der nicht zufällig so genannten „Renaissance der Wissenschaften“ als mit der Zivilisation, die uns die Wissenschaften brachte, und die bis ins 19. Jahrhundert hinein nicht einmal einen Namen besaß. Man sprach lediglich von einer „Zeit der Dekadenz“ der griechischen Zivilisation.

Droysen erkannte als erster Historiker die Bedeutung dieser einzigartigen Epoche und gab ihr in seiner *Geschichte des Hellenismus* einen Namen.¹

In den letzten fünfzig Jahren lichtet sich der Nebel. Heute können wir auf zahlreiche interessante Arbeiten über verschiedene Aspekte der hellenistischen Zivilisation zurückgreifen.² In den meisten Fällen handelt es sich dabei jedoch um Fachliteratur, die das einer gebildeten Öffentlichkeit zugängliche Bild nur wenig beeinflusst hat. Für sie ist der Hellenismus weiterhin ein Zeitalter, dessen kulturelle Hinterlassenschaft für uns weniger bedeutsam ist als die des klassischen Zeitalters.

Offenbar wurde die hellenistische Zivilisation, insbesondere die wissenschaftliche Revolution des 3. Jahrhunderts v. Chr., aus unserem kollektiven historischen Bewusstsein ausgelöscht, ähnlich verdrängten Erinnerungen. Unsere auf den Pfeilern von Geschichte und Wissenschaften ruhende Kultur bedient sich verschiedenster Hilfsmittel, um die historische Bedeutung der Entstehung der Wissenschaften im Verborgenen zu halten.

Betrachten wir drei Protagonisten der wissenschaftlichen Revolution: Euklid von Alexandria, Archimedes von Syrakus, Herophilos von Chalkedon. Was weiß ein gebildeter Mensch über sie?

Über Herophilos, nichts.³

Von Archimedes weiß man, dass er seltsame Dinge tat: Er lief nackt herum und rief *Heureka!*, warf Kronen ins Wasser, zeichnete kurz vor seiner Ermordung geometrische Figuren, und so weiter. Diese albernen Anekdoten und die geringe Verbreitung seiner Werke stellen Archimedes eher in eine Reihe mit Figuren aus dem Reich der Mythen und Legenden als mit anderen Denkern. Man kennt ihn zwar, nicht jedoch als Persönlichkeit der Geschichte sondern als Figur aus der Legende. Dabei vergessen wir, dass er ein Wissenschaftler war, von dem zahlreiche Arbeiten erhalten sind,

¹ [Droysen].

² Einige werden im Folgenden zitiert. Von den allgemeinen Werken zum hellenistischen Zeitalter halte ich [Rostovtzeff, Michael, I.] immer noch für das Standardwerk. [Green] dagegen ist ein herausragender Vertreter neuerer Forschungsansätze. Speziell zu Alexandria finden sich zahlreiche Informationen, insbesondere eine Auswahl an Quellentexten bei [Fraser].

³ Mehr über ihn im 5. Kapitel.

und dessen Ergebnisse bis heute Teil der wissenschaftlichen Lehre auf vielen Ebenen sind – von der Formel für die Berechnung des Raumvolumens, die man in der Schule lernt, bis zu den aus seinen Werken stammenden Begriffen der Mechanik und der mathematischen Analysis.

Seit Jahrhunderten bildet die Euklidische Geometrie die Grundlage des Mathematikunterrichts.⁴ Euklid selbst jedoch ist aus der Geschichte verschwunden. Mit ihm geschah genau das Gegenteil wie mit Archimedes. Statt wie dieser in Legenden und Anekdoten ausgeschmückt zu werden, steht Euklid ohne jeglichen historischen Kontext da. Fast scheint es, als habe die „Euklidische Geometrie“ der Menschheit immer zur Verfügung gestanden. Wer dies bezweifelt, der frage einmal seine Freunde, in welchem Jahrhundert Euklid gelebt hat. Nur wenige werden die richtige Antwort wissen, auch wenn sie sich seit Jahren mit der Euklidischen Geometrie beschäftigen.⁵ Und das, obwohl Euklid zu den meistgelesenen Autoren in der Geschichte der Menschheit zählt. Sein berühmtestes Werk, *Die Elemente*, wurde 22 Jahrhunderte lang ununterbrochen gelehrt: Von 300 v. Chr. bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. Es gibt wohl keinen anderen so viel gelesenen Autor (wenn auch heute nicht mehr im Original), über den so wenig bekannt ist.

Ein anderer Faktor, der zur Auslöschung der hellenistischen Zivilisation, insbesondere des 3. Jahrhunderts v. Chr., dem Jahrhundert der größten wissenschaftlichen Entwicklung, aus unserem Bewusstsein geführt hat, ist die vage Zuordnung von Resultaten, besonders wissenschaftlicher oder technischer Natur zur „Antike“. So heißt es zum Beispiel bis heute, der Durchmesser der Erdkugel sei „in der Antike“ gemessen worden; „in der Antike“ sei das Prinzip des hydrostatischen Drucks entdeckt worden; die Orgel gehe auf „die Antike“ zurück und Kopernikus habe einen Vorläufer „in der Antike“ gehabt. Zahlreiche weitere Beispiele werden folgen.

Bei dem Versuch, Fakten und Personen des 3. Jahrhunderts v. Chr. historisch zu erfassen, stößt man auf das Problem, dass wir nur sehr wenig wissen über diese in der Geschichtsschreibung nahezu ausgelöschte Zeit.

So besitzen wir keinen einzigen historischen Bericht über den Zeitraum zwischen 301 (dem Jahr, mit dem die *Bibliotheca historica* von Diodorus Siculus abbricht⁶) und 221 v. Chr. (dem Beginn der *Historiae* des Polybios,

⁴ Als Folge des gescheiterten Versuchs, Mathematik auf der Grundlage axiomatischer Systeme ohne geometrischen Inhalt zu unterrichten, geht man heute mehr und mehr dazu über, die deduktive Methode ganz aus dem Schulunterricht zu verbannen. Ein derartiger Unterricht kann jedoch, meiner Ansicht nach, guten Gewissens nicht mehr als mathematisch bezeichnet werden.

⁵ Dies zumindest war das Ergebnis einer kleinen persönlichen Umfrage unter Freunden und Kollegen.

⁶ Am Ende von Buch XX; spätere Bücher existieren lediglich fragmentarisch.

die uns ebenfalls nicht als Ganzes vorliegen). Und nicht nur die historischen Abhandlungen des hellenistischen Zeitalters fehlen uns, auch den späteren Werken von Livius fehlen die zweiten, den Zeitraum von 292 bis 219 v. Chr. umfassenden zehn Bücher. So erzählt uns die Überlieferung die Geschichten des klassischen Griechenlands und vom Aufstieg Roms – der Epochen, die in der späten Kaiserzeit und im Mittelalter zu kulturellen Bezugspunkten wurden – während das Jahrhundert der wissenschaftlichen Revolution mit dem Rückfall der Zivilisation in einen vorwissenschaftlichen Zustand in Vergessenheit geriet.

Zweitens sind nahezu alle Primärtexte dieser Epoche verloren gegangen. Die Zivilisation, der wir neben so vielen anderen intellektuellen Leistungen das Konzept der Bibliothek und der systematischen Bewahrung historischen Gedankenguts verdanken, ging mit ihren Werken verloren. Einige wissenschaftliche Texte sind über Byzanz und die Araber zu uns gelangt, in Europa selbst jedoch blieb nichts erhalten. Wenig wurde wiederentdeckt. Einige in Herkulaneum⁷ gefundene Papyrusfragmente sind das Einzige, was uns von den ungefähr hundert Büchern des Chryssippos geblieben ist, der von seinen Zeitgenossen als der größte Denker seiner Zeit angesehen wurde. Ein grundlegendes Werk, *Über die Methode* von Archimedes, wurde 1906 durch Zufall von Heiberg wiederentdeckt (auf dem berühmten Palimpsest, das später erneut verloren ging und erst 1998 wiedergefunden wurde). Dank Papyrusfunden aus jüngerer Zeit können wir heute auch Meander lesen. Dies sind jedoch erfreuliche Ausnahmen.

In der Vergangenheit wurde das Ausmaß der Zerstörung hellenistischer Texte meist unterschätzt. Man ging davon aus, das beste Material sei erhalten geblieben. Leider hat sich die optimistische Annahme, die „klassische Zivilisation“ habe bestimmte, grundlegende Werke überliefert, die das Wissen verlorener Arbeiten enthielten, als falsch erwiesen. Tatsächlich muss man wohl davon ausgehen, dass bei einem allgemeinen Niedergang des Zivilisationsniveaus niemals die besten Werke durch einen Prozess der natürlichen Selektion erhalten bleiben. Allein die Tatsache, dass dieselbe Tradition, die uns die gesamten 37 Bücher der *Naturgeschichte* des Plinius überlieferte, die wenigen Seiten von Archimedes zukunftsweisender Abhandlung *Über die Methode* übersah, beweist, dass meist genau das Gegenteil der Fall ist. In der Spätantike und im frühen Mittelalter bevorzugte man Textsammlungen oder zumindest Texte, die in einer Sprache geschrieben waren, die von einer in einen vorwissenschaftlichen Zustand

⁷ Herkulaneum und Pompei hatten bis zu ihrer plötzlichen Zerstörung 79 v. Chr. einen regen Austausch mit der hellenistischen Welt. Der Ausbruch des Vesuv bewahrte daher wertvolle Zeugnisse hellenistischer Kunst und Kultur vor der Zerstörung, der sie an anderen Orten im späten Kaiserreich und im frühen Mittelalter anheim fielen.

zurückgefallenen Zivilisation verstanden werden konnte. So kennen wir zwar Varros Werk über die Landwirtschaft und Vitruvs Abhandlungen über die Architektur, nicht jedoch ihre hellenistischen Quellen. Wir haben Lukrez' herrliches Gedicht über die Natur, nicht jedoch die Werke eines Straton von Lampsakos, bei dem einiges darauf hindeutet, dass er der wahre Begründer der Wissenschaften im eigentlichen Sinne des Wortes sein könnte. Selbst bei den rein wissenschaftlichen Werken, von denen einige durch die Byzantiner und Araber erhalten blieben, scheinen vor allem zwei Auswahlkriterien eine Rolle gespielt zu haben. Einmal scheint man Autoren der Kaiserzeit vorgezogen zu haben, deren Texte methodisch meist minderwertig, jedoch leichter zu handhaben waren. So kennen wir beispielsweise Herons Arbeit über Spiegel, nicht jedoch die Abhandlung, die Archimedes laut Zeitgenossen über dasselbe Thema verfasst haben soll. Weiter wurden von den Werken eines Autors meist die leichter verständlichen übernommen und von diesen oft nur die Anfangsteile. So ist etwa der griechische Text der ersten vier elementareren Bücher von Appollonius' *Conica* erhalten geblieben, nicht jedoch die nächsten vier Bücher (von denen drei auf Arabisch überliefert sind). Wir haben die lateinischen und arabischen Übersetzungen der Abhandlungen des Philon von Byzanz über pneumatische Experimente, nicht jedoch seine Texte zu den theoretischeren Prinzipien. Weitere Beispiele dieser Auswahlkriterien werden folgen.

Ein dritter Grund für unser mangelndes Wissen ist, dass in den Zentren des Ptolemäischen Ägypten bis vor kurzem keine systematischen Ausgrabungen stattgefunden haben. Selbst in Alexandria begann man erst 1995 damit, die verborgenen Überreste der antiken Stadt systematisch zu untersuchen. Der größte Teil unseres Wissens über das Ptolemäische Ägypten stammt aus den Papyrusfunden der letzten hundert Jahre. Dabei handelt es sich um Zufallsfunde, meist von Abfallpapieren, die von Balsamierern weggeworfen worden waren.

Viertens und letztens wissen wir, mit Ausnahme einiger diplomatischer und militärischer Ereignisse, bekannt aus römischen Schriften, und den wenigen, Inschriften entnommenen juristischen Daten, praktisch nichts über die hellenistischen Staaten. Einzige Ausnahme ist Ägypten. Besonders bedauerlich ist in diesem Zusammenhang der Mangel an Informationen über das Reich der Seleukiden, zu dem auch Mesopotamien gehörte. Sein Beitrag zur Entwicklung der Wissenschaften könnte mit dem des Ptolemäischen Ägypten durchaus vergleichbar gewesen sein. Unsere Unwissenheit resultiert dabei nur teilweise aus der schlechten Haltbarkeit von Pergament und Papyrus, die nur in besonderen Klimazonen, wie in bestimmten Regionen Ägyptens, über tausende von Jahren erhalten bleiben. Im hellenistischen Mesopotamien schrieb man noch in Keilschrift

auf Tontafeln, einem deutlich haltbareren Material. Dieser glückliche Umstand scheint bisher jedoch nicht sonderlich genutzt worden zu sein. Der Historiker Rostovtzeff schreibt:

Wir wissen mehr über Babylonien als über die östlicheren Teile des Reiches. Einige griechische Inschriften wurden gefunden, die Überreste einiger Gebäude aus der hellenistischen Zeit und, vor allem, tausende von Keilschrifttafeln aus derselben Epoche, zumeist aus Babylon und Uruk. Nur wenige von ihnen wurden entziffert und veröffentlicht, noch weniger übersetzt ...⁸

Ist das Prinzip der „Auslöschung“ vielleicht ein Wesenszug unserer Kultur? Es sind nicht nur Keilschrifttafeln, die nicht gelesen werden. Selbst in ihrer griechischen Version erhaltene, hellenistische Texte sind oft in keiner allgemein zugänglichen Ausgabe erhältlich.⁹

Dieses Buch will versuchen, die Ursachen dieser Auslöschung zu ergründen. Zwar erschwert der Mangel an historischen Quellen den Beweis einer wie auch immer gearteten These. Man kann jedoch davon ausgehen, dass einige heutige oder ältere Auslegungen des Hellenismus sich als falsch erweisen werden. Wenn wir uns der wissenschaftlichen Kultur des Hellenismus nähern, ohne sie so weit wie möglich zu verdrängen, so könnten wir die eine oder andere Überraschung erleben. Vielleicht werden wir sogar gezwungen, viele liebgewonnene Vorstellungen von der „Antike“ aufzugeben.

1.2 Der Begriff „hellenistisch“

Um die These der Entstehung der Wissenschaften im hellenistischen Zeitalter verständlich zu machen, müssen als erstes die beiden Begriffe „hellenistisch“ und „Wissenschaften“ definiert werden. Dies soll in diesem und im folgenden Abschnitt geschehen.

Zunächst zur zeitlichen Einordnung der Zivilisation, mit der wir uns beschäftigen, und einiger der Protagonisten der wissenschaftlichen Revolution. In der von Droysen eingeführten und von späteren Historikern übernommenen Terminologie beginnt das Zeitalter des Hellenismus mit dem Tod Alexanders des Großen, 323 v. Chr.¹⁰

⁸ [Rostovtzeff: SE], S.187.

⁹ So existiert beispielsweise keine kritische Ausgabe der Fragmente des Eratosthenes. Den einzigen Versuch in diese Richtung unternahm im Jahre 1822 G. Bernhardt. Es existiert keine Sammlung wissenschaftlicher Texte vergleichbar etwa den zahlreichen maßgeblichen Sammlungen literarischer oder philosophischer Texte.

¹⁰ Es mag logischer erscheinen, das hellenistische Zeitalter mit dem Beginn der Feldzüge Alexanders oder seines Reiches anfangen zu lassen, da sie der Erfüllung von Alexanders Plan

Das Auseinanderbrechen seines Reiches ließ unterschiedliche politische Gebilde entstehen, die zunächst im Namen des Kaisers von verschiedenen Anwärtern auf den Titel geführt wurden und später zu autonomen Königreichen wurden. Die drei wichtigsten Staaten waren:

- Ägypten, mit der neuen Hauptstadt Alexandria (von Alexander 331 v. Chr. gegründet), regiert von der Dynastie der Ptolemäer, die auch über Zypern, Kyrenaica und seit dem 3. Jh. v. Chr. über Phönizien und Palästina herrschten;
- der Seleukidenstaat, mit der Hauptstadt Antiocheia, der Syrien, fast ganz Kleinasien, Mesopotamien, Persien, und nach 200 v. Chr. auch Phoenizien und Palästina umfasste;
- der Antigonidenstaat, der Makedonien und einige griechische Städte umfasste.

Darüber hinaus gab es kleinere Staaten, wie das von der Attalidendynastie regierte Königreich von Pergamon, Pontos, und Bithynien. Ein hellenistischer Staat, von dem wir wenig wissen, der aber wohl ein wichtiger Mittler zwischen der hellenistischen und der indischen und chinesischen Kultur gewesen ist, war Baktrien, dessen Gebiet das heutige Afghanistan, Usbekistan und Tadschikistan umfasste.

Die hellenistische Zivilisation war kein Produkt allein der Griechen, die in allen Regionen von Alexanders Reich lebten. Auch die autonomen griechischen Stadtstaaten, die überall im Mittelmeerraum existierten, trugen zu ihr bei. Zu den wichtigsten dieser Zentren zählten Rhodos, Syrakus und Massalia (Marseille).

Das 3. Jahrhundert v. Chr. war eine Blütezeit der hellenistischen Wissenschaften, die nach ihrem ägyptischen Zentrum Alexandria oft auch alexandrinische Wissenschaften genannt werden. Einer der Gründe für diese Vorherrschaft war die Politik seiner frühen Herrscher, besonders die Ptolemaios I. Soter, der von 323 bis 283 v. Chr. an der Macht war, und Ptolemaios II. Philadelphos (283 bis 246). In Alexandria arbeitete und lehrte Ende des 4. Jahrhunderts v. Chr. Euklid. In der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts lebten dort außerdem Ktesibios, der Erfinder der Pneumatik und Gründer der Alexandrinischen Schule der Mechanik, und Herophilos von Chalkedon, der Begründer der wissenschaftlichen Anatomie und Physiologie.¹¹ Auch Aristarchos von Samos, vor allem bekannt durch die

der Hellenisierung der alten Reiche dienten. Diese wenigen Jahre machen aber keinen großen Unterschied. Die (leicht morbide) Wahl des Anfangspunktes zeugt jedoch davon, dass selbst Droysen sich nicht ganz von dem Vorurteil „hellenistischer Dekadenz“ frei machen konnte.

¹¹ Es gilt als gesichert, dass Ktesibios unter Ptolemaios II. Philadelphos tätig war; siehe, z. B., [Fraser], Bd. II, S. 622. Auf das Problem der historischen Einordnung von Herophilos wird noch eingegangen werden.

Einführung des Heliozentrismus, war in dieser Zeit tätig.¹² Archimedes (287–212) studierte wahrscheinlich in Alexandria und auch während seines Aufenthalts in Syrakus blieb er in ständigem Kontakt mit den dortigen Wissenschaftlern. Zu den Wissenschaftlern der zweiten Hälfte des 3. Jahrhunderts zählt Eratosthenes, der Leiter der Bibliothek von Alexandria, der unter anderem die erste stimmige Messung des Erdumfangs vornahm. Chrysippos, der uns vor allem wegen seiner Beiträge zur Logik interessiert, lebte im gleichen Jahrhundert in Athen, weiterhin dem Zentrum der Philosophie. Auch Philon von Byzanz, der die Arbeiten von Ktesibios fortsetzte, war wahrscheinlich in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts tätig. Um die Jahrhundertwende entstanden die Arbeiten von Apollonius von Perga, dem wir insbesondere die Entwicklung der Theorie der Kegelschnitte verdanken.¹³ Der größte Wissenschaftler des 2. Jahrhunderts v. Chr. war Hipparchos von Nikaia, der auf Rhodos tätig war und sich vor allem mit Astronomie beschäftigte.

212 v. Chr., im Jahr der Plünderung von Syrakus und der Ermordung von Archimedes, begann die Eroberung und Zerschlagung hellenistischer Zentren durch die Römer. Im 2. Jahrhundert v. Chr. ging die wissenschaftliche Aktivität deutlich zurück. Vor allem in Alexandria kam sie 145/144 v. Chr. zu einem abrupten Stillstand, als Ptolemaios VIII. (Euergetes II.), der soeben den Thron bestiegen hatte, die griechische Oberschicht der Stadt grausam verfolgen ließ. Laut Polybios wurde die griechische Bevölkerung Alexandrias damals beinahe vollkommen ausgelöscht.¹⁴ Bei Athenaios findet sich eine anschauliche Schilderung der anschließenden Diaspora der Intellektuellen der Stadt,¹⁵ andere Quellen liefern weitere Details.¹⁶ Unsere Informationen reichen nicht aus, um die Gründe für diese Verfolgung zu rekonstruieren. Euergetes II. behielt seine feindliche Politik gegenüber den Griechen in Alexandria auch weiterhin bei. Er stützte sich lieber auf die Einheimischen.¹⁷ Da er schon vor seiner Thronbestei-

¹² Ptolemäus berichtet, dass οἱ περὶ Ἀρίσταρχον („Aristarchos' Mitarbeiter“ oder die „Schule des Aristarchos“) 279 v. Chr. eine Beobachtung machten (*Almagest*, III, i, 206, Heiberg, Bd. I.1). Von Aetios (in Stobaeus, *Eclogae* I, xvi §1, 149:6–7 (ed. Wachsmuth) = [DG], 313b:16–17) wissen wir außerdem, dass Aristarchos ein Schüler von Straton von Lampsakos war, der bis 269 v. Chr. Leiter der peripatetischen Schule war.

¹³ Zur historischen Einordnung von Apollonius, siehe G. J. Toomer, *Apollonius von Perga*, in [DSB], Bd. I, 179–193.

¹⁴ Polybios, *Historiae*, XXXIV, xiv = Strabon, *Geographia*, XIV, xx §19.

¹⁵ Athenaios, *Deipnosophistae*, IV, 184b–c.

¹⁶ So berichtet beispielsweise Valerius Maximus, der König habe angeordnet, das Gymnasium zu umstellen und alle, die sich darin befanden, zu töten (*Factorum et dictorum memorabilium libri IX*, IX, ii, ext. 5). Die wenigen anderen Quellen zur Verfolgung sind gesammelt in [Fraser], Bd. II, SS. 216 ff.

¹⁷ Kurzfristig gelang es den Alexandrinern, ihn zu verjagen. 127 v. Chr. jedoch eroberte er die Stadt erneut.

gung von den Römern gefördert worden war (von seinem Bruder ins Exil geschickt, hatte er in Rom Zuflucht gefunden¹⁸), kann man davon ausgehen, dass er eine Marionette von Roms damals besonders skrupelloser¹⁹ Expansionspolitik im Mittelmeerraum war.²⁰

Roms Expansion endete 30 v. Chr. mit der Annektion Ägyptens. Damit stand die gesamte Mittelmeerregion unter römischer Herrschaft. Mit diesem Ereignis endet nach dem allgemeinen Verständnis das hellenistische Zeitalter, die „Kaiserzeit“ beginnt. Aus unserem Blickwinkel ist die Annektion Ägyptens jedoch kein besonders wichtiges Datum. Obwohl das goldene Zeitalter der Wissenschaften mehr als ein Jahrhundert zuvor durch die römische Eroberung Alexandrias und anderer Zentren zu einem tragischen Ende gekommen war, lebte die hellenistische Kultur während der Kaiserzeit weiter. Die ehemaligen Königreiche waren weder sprachlich noch kulturell assimiliert, in technologischer und wirtschaftlicher Hinsicht gab es sogar mehr Anknüpfungspunkte zur vorhergegangenen Zeit als zum Lateinisch sprechenden Westen. Aus diesem Grund wird die Bezeichnung „hellenistisch“ manchmal auch für die Kultur in dem Teil des römischen Reichs verwandt, in dem weiter vorwiegend Griechisch gesprochen wurde.

Nach der Unterbrechung durch die Kriege mit Rom erlaubte die Pax Romana eine teilweise Wiederaufnahme wissenschaftlicher Forschung im 1. und 2. Jahrhundert n. Chr. – der Zeit von Heron, Ptolemäus und Galenus. Danach jedoch war der Niedergang nicht mehr aufzuhalten. Alexandria blieb noch einige Jahrhunderte lang Zentrum der verbliebenen wissenschaftlichen Tätigkeit. Der letzte erwähnenswerte Wissenschaftler könnte Diophant gewesen sein, falls er, wie oft angenommen, wirklich im 3. Jahrhundert n. Chr. gelebt hat.²¹

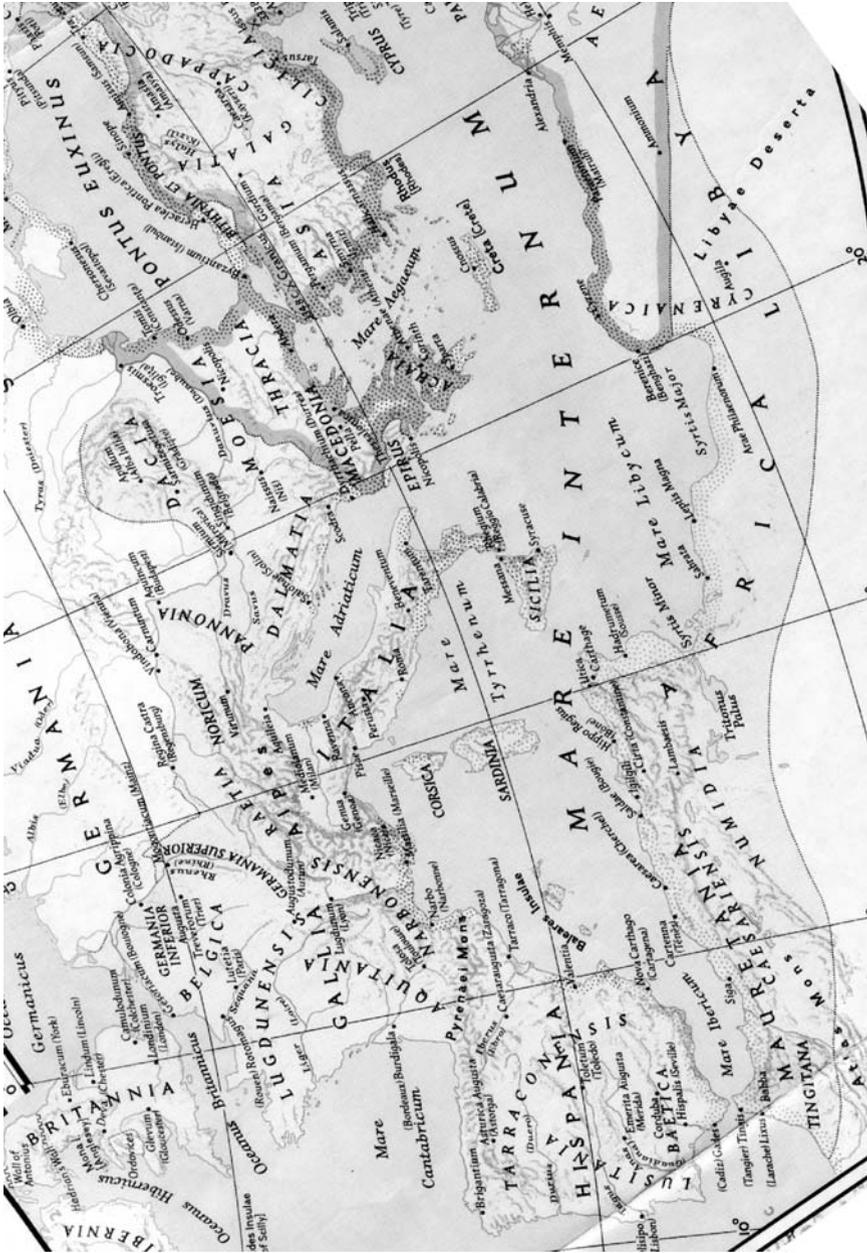
Die wissenschaftliche Tätigkeit im 4. Jahrhundert n. Chr. beschränkte sich auf die Erstellung von Sammlungen und Kommentaren und das Wiederkäuen älterer Werke. Zu den uns besonders interessierenden Kommentatoren und Herausgebern dieser Zeit zählen Pappus, dessen *Collectio* mathematische Ergebnisse zusammenfasst, die sonst verloren gegangen

¹⁸ Polybios, *Historiae*, XXXI, xx.

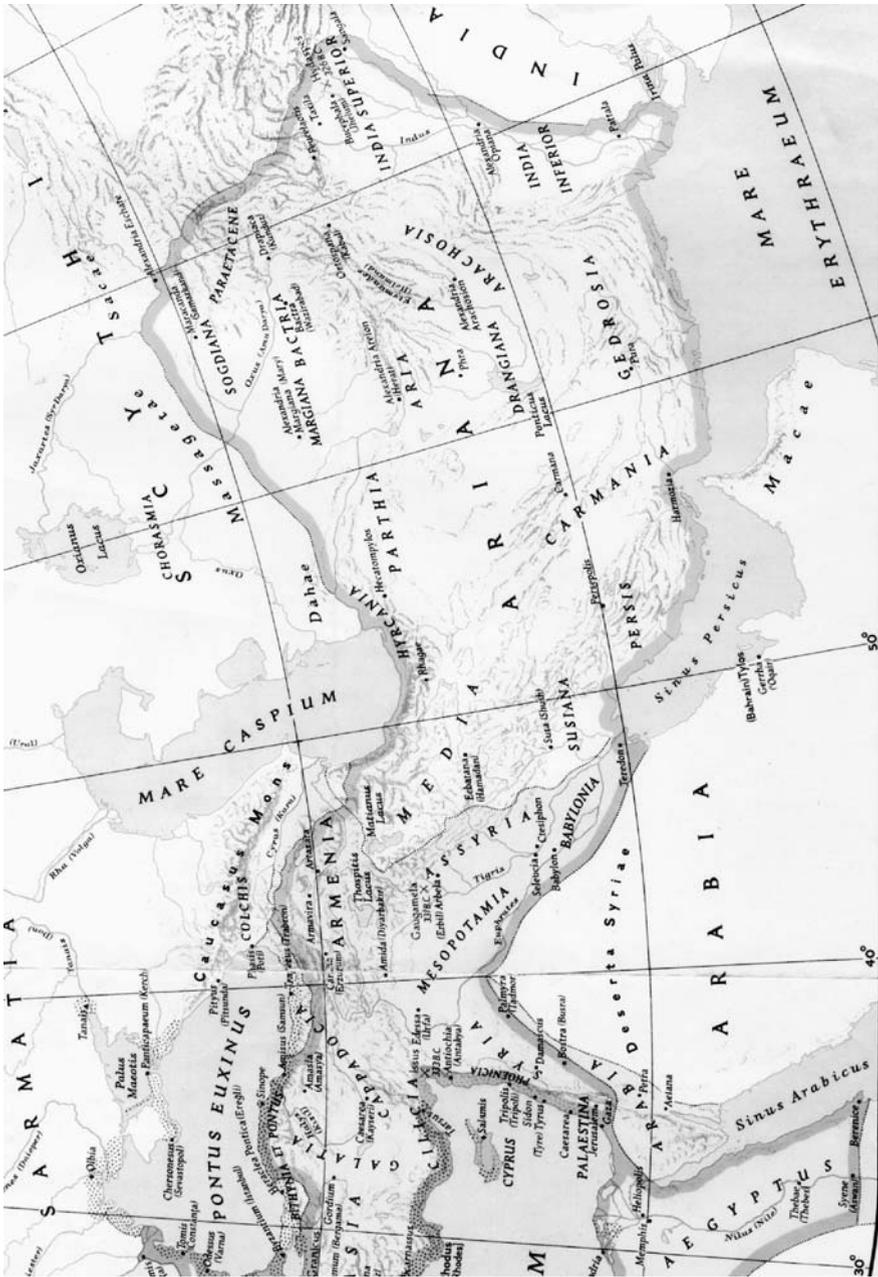
¹⁹ 146 v. Chr. hatten die Römer Karthago und Korinth dem Erdboden gleich gemacht.

²⁰ Diese These wird untermauert durch eine Inschrift auf Delos, die eine Widmung römischer Kaufleute an einen General Euergetes II. enthält, als Dank für die ihnen zugeteilten Privilegien nach der Eroberung Alexandrias durch König Ptolemaios Euergetes (d. h. Euergetes II.). Die Widmung bezieht sich nicht auf die Eroberung von 145/144, sondern auf die von 127. Die Inschrift ([OGIS], 135) findet sich bei: [Fraser], Bd. II, S. 217.

²¹ Es gibt jedoch gute Gründe ihn schon im 1. Jahrhundert n. Chr. anzusiedeln [Knorr: AS]. In jedem Fall hat die Entzifferung von Keilschrifttafeln zu einer drastischen Revision der Einschätzung seiner Originalität geführt, da sie belegen, dass die von ihm beschriebenen Methoden in Mesopotamien seit langem gebräuchlich waren.



Für beide Karten: Die graue Linie bezeichnet die Grenze von Alexanders Reich um 325 v. Chr. Der dunklere Bereich bezeichnet das Gebiet des Römischen Reiches 116 v. Chr. Die Punkte an der Küste sind griechische und/oder punische



Siedlungen. Aus: *National Geographic Magazine*, Dezember 1949. Mit Genehmigung der National Geographic Society.

wären, und Theon von Alexandria, dessen Ausgaben der *Elemente* und der *Optik* von Euklid die Jahrhunderte überdauert haben.²² Als definitiver Schlusspunkt antiker Wissenschaften wird manchmal das Jahr 415 gesehen, in dem Hypatia, die Tochter des Theon und selbst Mathematikerin, die Kommentare zu Apollonius, Ptolemäus und Diophant verfasste, in Alexandria aus religiösen Gründen von fanatischen Christen ermordet wurde.

Da von dem erstaunlichen Reichtum hellenistischer Wissenschaften nur wenige, oft schwer zu datierende Texte und Fragmente erhalten geblieben sind, wird unsere Darstellung ihrer Grundzüge nicht immer einer chronologischen Linie folgen.²³ Schwerpunkte sind das 3. und 2. Jahrhundert v. Chr. Wo nur wenige Texte aus dieser Zeit vorhanden sind, werden jedoch auch spätere herangezogen. Texte aus der Kaiserzeit sind dabei jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da die wissenschaftliche Methode zu jener Zeit, wie wir sehen werden, schon deutliche Rückschritte gemacht hatte. Bei der Betrachtung bestimmter politischer und wirtschaftlicher Aspekte der wissenschaftlichen Revolution ist es unumgänglich, zwischen dem Zeitalter unabhängiger hellenistischer Staaten und der hellenistischen Tradition innerhalb des Römischen Reiches zu unterscheiden.

1.3 Wissenschaft

Jede oberflächliche, rein enzyklopädische Anordnung von Wissen läuft Gefahr, eine Vielfalt von Wissenschaften ins Leben zu rufen, die alle gleichwertig sind und sich durch ihr eigenes Untersuchungsgebiet definieren: Chemie, Computerwissenschaften, Ornithologie, Mathematik, Trichologie und andere. Bei diesem Modell reicht es aus, ein Forschungsgebiet zu definieren und einen Namen (möglichst griechischen Ursprungs) zu

²² Heiberg identifizierte Theons Ausgabe als die in fast allen Ausgaben der beiden Werke Euklids überlieferte Fassung. Diese Identifikation ist jedoch umstritten; siehe [Knorr: PsER], [Jones], [Knorr: WTE].

²³ Zu den erwähnenswerten Überblickswerken zur Geschichte der antiken Wissenschaften zählen [Enriques, de Santillana], das bis heute trotz zahlreicher veralteter Argumente eine interessante Lektüre ist; das knappe [Heiberg: GMNA], in dem die Inhalte überlieferter Werke zusammengefasst werden; [Farrington]; [van der Waerden: SA]; und die Vorlesungen in [Neugebauer: ESA], von denen die über Mesopotamien besonders hervorzuheben sind. [Pauly, Wissowa] ist ein unersätliches Nachschlagewerk zu den Wissenschaften der Antike und zur klassischen Zivilisation insgesamt, während [Sarton] eher wegen seiner bibliographischen Hinweise von Nutzen ist.

Als Quellensammlungen werden zitiert: [Cohen, Drabkin] und [Irby-Massie, Keyser].

Schnelle und verlässliche Informationen zu einzelnen Wissenschaftlern der Antike und der Neuzeit findet man bei [DSB].

wählen, um eine neue Wissenschaft ins Leben zu rufen. Eine Art Behältnis, in dem alle wahren Aussagen über das gewählte Objekt aufbewahrt werden. In manchen Fällen reicht sogar schon ein bisschen Griechisch, ganz ohne Forschungsgebiet. Auf diese Weise entstanden beispielsweise die Parapsychologie und die Ufologie.²⁴

Bei einem solchen Verständnis von Wissenschaft wäre die Geschichte der Wissenschaften lediglich eine Zusammenfassung aller Geschichten jeder einzelnen Wissenschaft, von denen jede sich als eine Chronologie der „Erlangung von Wahrheit“ auf ihrem besonderen Gebiet verstehen würde. Es liegt in der Natur der Sache, dass, wer ein solches Verständnis von Wissenschaften vertritt, an einer Geschichte der Wissenschaften nur wenig Interesse hat. Dies trifft auf viele Historiker zu, die für die Wissenschaften, wenn überhaupt, nur ein Kopfnicken oder eine kurze Erwähnung übrig haben.

Obwohl es durchaus vielschichtigere philosophische Ansätze gegeben hat, war dieses oberflächliche Modell zumindest bis in die ersten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts weit verbreitet. Dann jedoch ließ die andauernde und immer rascher werdende Veränderung wissenschaftlicher Prinzipien vor allem in der Physik das Verständnis von Wissenschaft als einer Sammlung unumstößlich wahrer Aussagen unhaltbar werden. Dies Verständnis hätte dazu geführt, dass alle überholten Theorien als unwissenschaftlich abgetan werden müssen. Solange es sich dabei vorrangig um Erkenntnisse früherer Jahrhunderte handelte, wurde diese Demontage meist klaglos akzeptiert. Die heutige Geschwindigkeit wissenschaftlicher Entwicklung jedoch, würde alle nicht gänzlich aktuellen Ergebnisse aus dem Reich der Wissenschaften verbannen. Diese Tatsache war für die Wissenschaftler nicht länger tragbar, vor allem wohl, weil es bedeutet hätte, dass auch ihre eigenen Erkenntnisse eines Tages unweigerlich als unwissenschaftlich gelten würden. Mit anderen Worten: Man erkannte, dass eine echte Definition von Wissenschaft selbst einander ausschließende Aussagen, wie z. B. die Grundsätze der klassischen und relativistischen Mechanik, als wissenschaftlich einstufen muss.

Gleichzeitig liegt der Sinn des Begriffs „Wissenschaften“ natürlich gerade in der Möglichkeit, wissenschaftliche Erkenntnisse von anderen gültigen Erkenntnisformen, wie beispielsweise historischen oder empirischen Erkenntnissen, zu unterscheiden. Wenn nun aber Wissenschaft sich von anderen Formen der Erkenntnisgewinnung nicht durch die absolute Gültigkeit ihrer wissenschaftlichen Ergebnisse unterscheidet, bleibt die Frage:

²⁴ Da UFO für „unbekannte fliegende Objekte“ steht, bedeutet das Wort Ufologie ungefähr „Wissen über unbekannt fliegende Objekte“, und steht damit für eine „Wissenschaft“, deren Inhalt per Definition gleich Null ist. Ähnliches gilt für die Parapsychologie.

Was ist Wissenschaft?

Auf den ersten Blick gibt es zwei Möglichkeiten, diese Frage zu beantworten: Entweder man beschreibt die Eigenschaften von Wissenschaft in ihrer historischen Entwicklung oder man nähert sich dem Problem von der theoretischen Seite. Bei näherem Hinsehen zeigt sich jedoch, dass jede der beiden Möglichkeiten die andere impliziert. Ohne zu wissen, wie sich die Wissenschaften im Laufe der Jahrhunderte entwickelt haben, d. h. ohne die Geschichte der Wissenschaften zu kennen, ist keine Definition wissenschaftlicher Methodik möglich.

Andersherum muss jeder Wissenschaftsgeschichte eine, in manchen Fällen vielleicht unausgesprochene oder sogar unbewusste Definition von Wissenschaft vorausgehen.

Die einzige Möglichkeit, diesen offensichtlichen Teufelskreis zu umgehen, ist wohl, zwischen diesen beiden Methoden hin und her zu springen, damit sie einander gegenseitig legitimieren.

Da unsere vorrangige Zielsetzung eher historischer als philosophischer Natur ist, und es außerdem besser ist, Annahmen offenzulegen statt sie im Verborgenen zu halten, werden wir in diesem Abschnitt eine Definition von Wissenschaft vorstellen, ohne ihre Gültigkeit zu diskutieren. Ziel dieser Definition ist es lediglich, den in den nächsten Kapiteln betrachteten Gegenstand festzulegen und die Auswahlkriterien für als wissenschaftlich angesehene Werke deutlich zu machen. Wenn diese Definition ihren Zweck erfüllt hat, und ein Korpus relativ homogener Werke ausgewählt worden ist, werden wir uns im 6. Kapitel, bei der Beschäftigung mit den Ursprüngen und Besonderheiten der hellenistischen wissenschaftlichen Methode in ihrer historischen Entwicklung, dem Problem der näheren Charakterisierung von Wissenschaft zuwenden. Ein besseres Verständnis der Methoden antiker Wissenschaftler ist auch von grundlegender Bedeutung für die Geschichte der modernen Wissenschaften (Beispiele dazu in späteren Kapiteln). Auch in der Diskussion um die heutige Wissenschaft kann sie zu neuen Einsichten führen, ein Aspekt, der jedoch über diese Arbeit hinausgeht.

Um zu einer Definition von Wissenschaft zu gelangen, beginnen wir mit der Beobachtung, dass einige Theorien, die allgemein als wissenschaftlich angesehen werden, wie die Thermodynamik, die Euklidische Geometrie und die Wahrscheinlichkeitstheorie, folgende grundlegende Eigenschaften gemein haben:

1. *Ihre Aussagen beziehen sich nicht auf konkrete Objekte sondern auf bestimmte theoretische Begriffe.* So machen z. B. die Euklidische Geometrie Aussagen über Winkel oder Segmente, die Thermodynamik über die Temperatur oder die Entropie eines Systems, obwohl es in der Natur weder Winkel noch Segmente, Temperaturen oder Entropien gibt.

2. *Die Theorie hat eine streng deduktive Struktur:* Sie besteht aus einigen grundlegenden Aussagen (Axiome, Postulate, oder Prinzipien genannt) über ihre eigenen theoretischen Gebilde und zeigt einheitliche und allgemein anerkannte Wege auf, mit deren Hilfe daraus eine unendliche Zahl von Folgerungen gezogen werden kann. Mit anderen Worten, die Theorie bietet allgemeine Methoden zur Lösung einer unbegrenzten Anzahl von Problemen. Bei diesen, im Rahmen der Theorie lösbaren Problemen handelt es sich daher eigentlich um „Übungsaufgaben“ in dem Sinne, dass sich die Fachleute über die Methoden zur Lösung dieser Probleme und ihrer Überprüfung einig sind. Grundlegende Methoden sind Beweise und Berechnungen. Auf diese Weise wird die „Wahrheit“ wissenschaftlicher Aussagen garantiert.

3. *Anwendungen auf die wirkliche Welt basieren auf Korrespondenzregeln zwischen theoretischen Gebilden und konkreten Objekten.* Anders als die internen Aussagen der Theorie enthalten die Korrespondenzregeln keine absolute Garantie. Die grundlegende Methode, um ihre Gültigkeit – und damit die Anwendbarkeit der Theorie – zu überprüfen, ist die experimentelle Methode. Der Bereich, in dem die Korrespondenzregeln gültig sind, ist in jedem Fall begrenzt.

Jede Theorie, auf die diese drei Aspekte zutreffen, wird im Folgenden eine wissenschaftliche Theorie genannt. Darüber hinaus verwenden wir diesen Begriff für Theorien „höherer Ordnung“. Sie unterscheiden sich von den oben betrachteten Theorien insofern, als dass sie keinen realen Objekten entsprechen, sondern lediglich auf andere wissenschaftliche Theorien anwendbar sind. Das gilt für die meisten Theorien der modernen Mathematik. Mag auch der ein oder andere, der in diesen höheren Sphären arbeitet, die Wirklichkeit gelegentlich aus den Augen verlieren, so ändert sich doch nichts Grundlegendes an dem Bezug zwischen Theorie und Wirklichkeit: Er ist weiterhin – wenn auch auf indirekte Weise – durch dieselben Mechanismen der Theorienbildung garantiert.

Als *exakte Wissenschaften* bezeichnet man in diesem Zusammenhang die Gesamtheit aller wissenschaftlichen Theorien.

Eine einfache Methode, um festzustellen, ob eine Theorie „wissenschaftlich“ ist oder nicht, wäre zu überprüfen, ob man Übungsaufgaben zu ihr erstellen kann. Ist das nicht der Fall, handelt es sich nicht um eine wissenschaftliche Theorie.

Der ungeheure Nutzen exakter Wissenschaften besteht darin, dass sie Modelle der Wirklichkeit liefern, mit deren Methoden man falsche Aussagen von richtigen unterscheiden kann. Wo die Naturphilosophie in ihrem Vorhaben, definitive Aussagen über die Welt zu machen, gescheitert ist, gelingt es den Wissenschaften, die Richtigkeit ihrer eigenen Behauptungen

tungen zu garantieren, wenn auch nur im Rahmen ihrer Modelle. Diese Modelle ermöglichen jedoch die Darstellung und Vorhersage natürlicher Phänomene, indem man sie mittels Korrespondenzregeln auf die theoretische Ebene überträgt, die so erhaltenen „Übungsaufgaben“ löst und die Lösungen auf die wirkliche Welt zurück überträgt. Darüber hinaus bieten sie jedoch noch eine andere, wesentlich interessantere Möglichkeit: Wissenschaftler können sich frei innerhalb einer Theorie bewegen und so zu Ergebnissen kommen, die keinerlei konkrete Entsprechung haben. Aus einem solchen Ergebnis innerhalb eines theoretischen Modells lässt sich in vielen Fällen eine entsprechende Wirklichkeit konstruieren und damit die wirkliche Welt modifizieren. (Siehe Abb. 1.1.)

Wissenschaftliche Theorien lassen sich daher – selbst wenn sie als Beschreibung natürlicher Phänomene entstanden sind – mit Hilfe der deduktiven Methode ausweiten. In der Folge entwickeln sie sich häufig zu Modellen aus dem Bereich der Technologie. Eine durch zielgerichtete Planung innerhalb der einen oder anderen wissenschaftlichen Theorie charakterisierte, *wissenschaftliche Technologie* ist von ihrer Natur her mit der methodologischen Struktur exakter Wissenschaften eng verbunden und kann nur in Zusammenhang mit dieser entstehen.

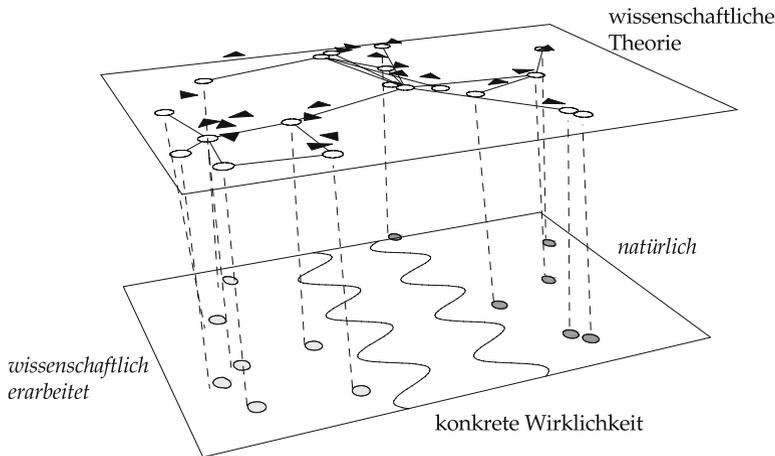


Abb. 1.1. Die Rolle wissenschaftlicher Theorien. Die *dunklen Punkte* auf der konkreten (*unteren*) Ebene stehen für Objekte aus der Natur oder aus der vorwissenschaftlichen Technologie. Ihre Gegenüber auf der theoretischen (*oberen*) Ebene sind durch logische Schlussfolgerungen (*Pfeile*) mit vielen anderen Konstruktionen verbunden, die nicht immer einem konkreten Gegenüber entsprechen. Einige dieser theoretischen Konstrukte lassen durch Korrespondenzregeln (*gestrichelte Linien*) neue konkrete Objekte entstehen (*helle Punkte* auf der unteren Ebene.)

Ein Ziel unserer Untersuchung hellenistischer Wissenschaften und Technologie ist es, diese These zu erhärten – die der allgemeinen Überzeugung widerspricht, die Wissenschaften der „Antike“ hätten keine technologischen Anwendungen gekannt. Darüber hinaus soll versucht werden, die bisher genannten, methodologischen Eigenschaften anhand der ersten wissenschaftlichen Theorien zu verdeutlichen, die im Zeitalter des Hellenismus aufkamen.

Jede wissenschaftliche Theorie lässt sich nur beschränkt anwenden. Im Allgemeinen kann sie lediglich Phänomene darstellen, die nicht „zu weit“ von denen entfernt sind, aus denen sie entstand. Theorien, die sich bei der Beschreibung neuer Phänomene als unzulänglich erweisen, müssen für diesen Zweck ersetzt werden. Sie bleiben jedoch wissenschaftliche Theorien nach unserer Definition und können innerhalb ihres eigenen Gültigkeitsbereichs weiterhin angewandt werden.

Die Struktur der Wissenschaften wird durch unterschiedliche Verknüpfung einzelner Theorien bereichert. In manchen Fällen umfasst eine Theorie eine andere, häufiger kommt es zu partiellen Überschneidungen zwischen den verschiedenen Anwendungsbereichen.

Zwei grundlegende, eng miteinander verknüpfte Aspekte exakter Wissenschaften sind ihre methodologische Einheit und ihre hohe Flexibilität bei der Betrachtung neuer Forschungsgegenstände. Die Wissenschaftlichkeit einer Disziplin ist unabhängig von ihren Untersuchungsgegenständen. Die Frage ist vielmehr, inwiefern die wissenschaftliche Theorie sich auf diese Gegenstände anwenden lässt. Diese Antwort kann nur historisch gegeben werden. So wurde beispielsweise die Erforschung chemischer Reaktionen, die jahrhundertlang rein empirisch durchgeführt worden war, zu einer exakten Wissenschaft, als man begann, das Problem mit Hilfe einer wissenschaftlichen Theorie anzugehen (die auf Postulaten wie wohldefinierten Elementen, ihrer quantitativen Erhaltung und ihrer Kombination in festgelegten Verhältnissen basierte).

Die wichtigsten Gebiete exakter Wissenschaften sind jedoch diejenigen, die nicht auf zu untersuchenden Phänomenen basieren, sondern auf den sie tragenden Theorien. Meist ist jede von ihnen auf eine ungeheure Menge von Phänomenen anwendbar, die scheinbar nichts miteinander gemein haben (außer eben durch diese Theorie).

Wissenschaft bedeutet für uns in erster Linie exakte Wissenschaft. Die so genannten empirischen Wissenschaften ähneln den exakten Wissenschaften in gewisser Weise. Sie unterscheiden sich von den verschiedenen Arten vorwissenschaftlicher Erkenntnis, da ihre Untersuchungen auf der experimentellen Methode basieren und von Fachleuten durchgeführt werden, deren Arbeit, anders als philosophische Spekulation einerseits und Auftragsarbeit andererseits, einzig der Erlangung von Wissen dient.