

Forschungsberichte und Spezialbibliographien

Franz Stuhlhofer

Unser Wissen verdoppelt sich alle 100 Jahre

Grundlegung einer „Wissensmessung“*

Summary: *Our knowledge is doubling every 100 years: Laying the foundation for the “measuring of knowledge”.* The slogan of the doubling of our knowledge every 15 years is well-known. But there are three methods leading consistently to a doubling period of 100 years (the 2nd and the 3rd method show, moreover, that modern science began in the 2nd half of the 15th century, and that there were several downs, with a particularly low one about 1705): The comparison of text books (of different age), the growing number of important discoveries per period of time (selected by authors of chronological tables) and the growing number of famous scientists (included by encyclopedias or mentioned in works on the history of science). (Books which are suitable as a basis for such research are compiled in a comprehensive bibliography.) The counting of research objects like chemical elements, animal and plant species, stars etc. shows very different results and is not very appropriate for measuring the speed of growth of knowledge; quite inappropriate for this purpose is measuring the number of all research workers and the whole scientific literature. We must make a distinction whether we want to measure the growth of science or that knowledge. Previous attempts to the “measuring of knowledge” are shortly summarized.

Stichwörter: (wissenschaftliche) Entdeckungen, (Anzahl der) Naturforscher, Sterne, Wissenschaftsentwicklung, Wissenschaftsmessung, Wissensmessung, Zeittafeln.

„Heute hat das Wissenschaftsvolumen, gemessen in Manpower oder in Publikationszahlen, eine Verdoppelungszeit von 10 bis 15 Jahren.“

Diese von Derek Price vertretene Behauptung¹ hat drei Konsequenzen:

- * Forschungsbericht. – Die im Rahmen einer „Wissensmessung“ betriebenen statistischen Untersuchungen sind nur als Ergänzung zur Arbeit des Wissenschaftshistorikers wirklich wertvoll. Die statistische Feststellung etwa, wann es Tiefpunkte gegeben hat, ist ja nur der erste Schritt; der zweite wäre die Ermittlung der Ursachen, und zur Lösung dieser Frage hätte der Wissenschaftshistoriker den besten Zugang: Er kennt den zeitgeschichtlichen Hintergrund, und er kennt die Entwicklung wenigstens *einer* naturwissenschaftlichen Disziplin. Andererseits kann eine statistische Untersuchung oft hilfreich sein, um intuitive Eindrücke zu bestätigen oder zu korrigieren.

1. Für die Vergangenheit der Wissenschaft: Die Beschäftigung mit der Geschichte der Wissenschaft ist nutzlos. Wenn sich unser Wissen alle 15 Jahre verdoppelt, dann kannten wir von unserem heutigen (1982) Wissen

im Jahre 1967 die Hälfte,
im Jahre 1952 ein Viertel,
im Jahre 1937 ein Achtel,
im Jahre 1922 ein Sechzehntel,
im Jahre 1907 ein Zweiunddreißigstel . . .

Wozu sollten wir uns damit beschäftigen, wie ein ganz winziger Bruchteil unseres heutigen Wissens zustandekam?

2. Für die Zukunft der Wissenschaft:

Nach Price² ist es offensichtlich, daß vor Ablauf der nächsten Menschengeneration die Wissenschaft den Verlust ihres traditionellen exponentiellen Wachstums erleiden muß und sich dem kritischen Punkt nähert, der Grenzgröße einer alt gewordenen Wissenschaft. [. . . Warum das? ³] Wir hätten zwei Wissenschaftler pro Mann, Frau, Kind und Hund der Bevölkerung und müßten doppelt so viel Geld ausgeben, als wir besäßen. [. . . Darum:⁴] Für die Wissenschaft steht also das Jüngste Gericht in weniger als einem Jahrhundert bevor.

3. Für die Gegenwart der Wissenschaft: Wenn der Erfolg der Wissenschaft anhand von *Manpower* (Zahl der in der Wissenschaft Beschäftigten) und Publikationszahlen gemessen wird, dann täuscht praktisch jede Erhöhung der Investition in die Wissenschaft vor, zu einem Wachstum des Wissens beizutragen: die Investition wird erhöht – mehr Personal wird für die Forschungsarbeit angestellt, und mehr Arbeiten können gedruckt werden –, unser Wissen wächst (scheinbar) analog zur erhöhten Investition. Es müßte klar sein, daß diese Maßstäbe keine geeignete Erfolgskontrolle darstellen. Wir wollen ja herausfinden, wieweit sich unsere Investitionen lohnen, und das ist nur möglich, wenn das Ergebnis mit einem Maßstab gemessen wird, der nicht notwendig direkt proportional zu den Investitionen ist. Faktor und Produkt dürfen doch niemals gleichgesetzt werden! Die Wissenschaftler sind Faktoren, die „Wissen“ produzieren sollen; ebenso gehört die Möglichkeit, Ergebnisse zu publizieren, zu den Faktoren – diese Möglichkeit soll ja die Kommunikation zwischen den Forschern erleichtern. In der Praxis hat eine Erhöhung der Investitionen für den Druck wissenschaftlicher Publikationen unter anderem zur Folge, daß auch mehr (weniger wichtige) Detail-Forschung veröffentlicht werden kann⁵. Das Aufwerfen von Fragen, das Aufstellen von Hypothesen, die durch andere wieder widerlegt werden – all das findet sich zum Teil auch in der gedruckten wissenschaftlichen Literatur. All das spiegelt den (mitunter mühsamen) Prozeß der Forschung wider. Aber kann die Menge dieser gedruckten Literatur als Maßstab für „unser Wissen“ gelten?

Manpower und *Literature*, wie sie von Derek Price in zahlreichen Untersuchungen gemessen wurden⁶, gehören zur *Wissenschaft*; insofern ist der Ausdruck „Wissenschaftsmessung“ dafür gerechtfertigt. Aussagen über das *Wissen* dürfen auf dieser Grundlage aber nicht ohne weiteres gemacht werden. Hier habe ich meine Aufgabe gesehen: Ich wollte den Weg weisen zu einer „Wissensmessung“.

Geschichte der Wissensmessung⁷

Wie bei der Anfangsentwicklung vieler anderer junger Spezialdisziplinen lassen sich auch hier die folgenden beiden Charakteristika erkennen:

1. Während längerer Zeit liefen Theorie, Vermutung, Schätzung einerseits und Praxis, Beschreibung, Materialsammlung andererseits nebeneinander her, ohne wechselseitige Beziehung.

2. Das Gebiet muß seine Identität erst finden, das heißt: das Fach existiert noch gar nicht bewußt; einige Tätigkeiten erscheinen erst im nachhinein als Ansätze in Richtung zu dem, was damals noch gar nicht als Ziel gesehen wird (angesichts dieses später dazugekommenen Zieles kommen diese Ansätze dem Historiker oft „kurzsichtig“ vor). Damit hängt auch zusammen: Die einzelnen Versuche bauen nur selten aufeinander auf, geschehen meistens spontan, ohne Wissen von dem vorhergegangenen (und ohne Ahnung von dem nachkommenden). Es sind Ansätze, die in verschiedenen Zusammenhängen auftauchen und die erst im nachhinein als zusammengehörig empfunden werden.

Zuerst soll das *theoretische Element* durch einige Beispiele aufgezeigt werden: Nachdem Thomas Robert Malthus wenig Chancen für die „Vervollkommnungsfähigkeit der Menschheit“ gesehen hatte, da doch die Bevölkerung im geometrischen Verhältnis zunehme, die Nahrungsmittel jedoch nur im arithmetischen Verhältnis anwüchsen⁸, wies Friedrich Engels 1844 auf die Möglichkeiten hin, die in der Wissenschaft liegen⁹:

Die Wissenschaft aber vermehrt sich mindestens wie die Bevölkerung; diese vermehrt sich im Verhältnis zur Anzahl der letzten Generation; die Wissenschaft schreitet fort im Verhältnis zu der Masse der Erkenntnis, die ihr von der vorhergehenden Generation hinterlassen wurde, also unter den allgewöhnlichsten Verhältnissen auch in geometrischer Progression – und was ist der Wissenschaft unmöglich?

Hier war also schon deutlich von exponentiellem Wachstum der Wissenschaft die Rede, allerdings nicht aufgrund statistischer Untersuchungen, sondern nur als Vermutung. Deshalb war es auch möglich, daß Engels später das Wachstum der Wissenschaft mit einer Parabel verglich¹⁰:

Aber von da [Copernicus] an ging auch die Entwicklung der Wissenschaften mit Riesenschritten vor sich und gewann an Kraft, man kann wohl sagen im quadratischen Verhältnis der (zeitlichen) Entfernung von ihrem Ausgangspunkt.

Henry Adams versuchte 1907 bereits eine konkrete Zahl zu schätzen¹¹:

Die Kohlenförderung der Erde verdoppelte sich zwischen 1840 und 1900 ungefähr alle zehn Jahre, wenn man die Nutzkraft berechnete, denn die Tonne Kohle lieferte 1900 drei- oder viermal soviel Kraft als 1840.

Früher war es aber noch nicht so schnell vor sich gegangen; so vermutete Adams¹² „für das 18. Jahrhundert eine Verdoppelung in je fünfzig oder selbst fünfundzwanzig Jahren“.

The science of science von Marja Ossowska und Stanislaw Ossowski¹³ war nur ein Programm; ein konkreter Beitrag zur Wissensmessung war darin nicht enthalten¹⁴.

Die *praktische*, empirische, zählende Richtung verläuft in mehreren Spuren. Verschiedene Gegenstände wurden verwendet, um das Phänomen „Wissenschaft“ quantitativ in den Griff zu bekommen. – Einer der Ansätze besteht darin, die gesamte wissenschaftliche Literatur zu zählen. Schon 1864 berechnete Karl Hessen anhand des *Thesaurus Literaturae Botanicae* von Georg August Pritzel, wieviele botanische Werke (aufgefächert auf die verschiedenen Zweige) während der einzelnen Jahrhunderte gedruckt wurden¹⁵ (die Verdopplungszeit läge¹⁶ etwa bei 70 Jahren). Cole und Eales brachten 1917 eine *Statistical Analysis of the Literature of Comparative Anatomy* für den Zeitraum von 1550 bis 1860¹⁷. Und LeRoy Charles Merritt veröffentlichte 1942 eine *World Book Production through 1940*¹⁸. Seine Zahlen begannen mit dem Jahr 1436 und wurden für die einzelnen Länder getrennt angegeben. Es würde sich dabei (im allgemeinen – die USA produzierten schneller, Italien langsamer) eine Verdopplungszeit von einem halben Jahrhundert ergeben. Henry Carrington Bolton stellte 1885 die wissenschaftlichen Zeitschriften in chronologischen Tafeln zusammen¹⁹. David Kronick beschäftigte sich 1962 ebenfalls mit dem Wachstum wissenschaftlicher Zeitschriften-Literatur; seine Angaben würden Verdopplungszeiten von etwa 20 Jahren ergeben²⁰. – Solche statistischen Aufstellungen bildeten die erste Phase der „Bücherzählung“; die zweite Phase wurde erreicht, sobald aufgrund

solcher Statistiken die Wachstumsbeschleunigung berechnet wurde. Diesen Schritt unternahm Fremont Rider 1944: Er untersuchte amerikanische Universitäts-Bibliotheken und stellte fest, daß sich ihr Umfang alle 16 Jahre verdoppelt²¹. Und 1951 sprach Derek Price davon, daß die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen mit einer Verdopplungszeit von einem Jahrzehnt wächst²².

Anstelle des Wachstums des ganzen Baumes der wissenschaftlichen Literatur kann man auch seine Verzweigung beobachten. Das tat Wyndham Hulme: *Tabular survey of the Divisions of Literature in the 16th, 17th and 18th centuries in Architecture and allied arts* [beziehungsweise: *in the Textile Industries*], *with entries of the first separately-printed monograph in each class*²³. Dabei wären die Verdopplungszeiten etwas höher als ein halbes Jahrhundert. Hulme untersuchte gleichzeitig (1923) auch das Wachstum der Zahl der Patente; seine Zahlen für die britischen Patente von 1561 bis 1921 würden eine Verdopplungszeit von etwa 25 Jahren ergeben²⁴.

Um die Jahrhundertwende kam die Einrichtung von wissenschaftshistorischen Zeit- tafeln auf. Teils erschien als Anhang mancher Bücher eine Liste ausgewählter Entdeckungen, teils wurden auch ganze Werke in Tabellenform zusammengestellt. Die Verwertung dieses Materials zu Zwecken der Wissenschaftsmessung geschah nur allmählich. 1923 brachte Felix Auerbach als Anhang zu seiner Physikgeschichte eine „Auswahl wichtiger Fortschritte, ihrer Urheber und ihrer Jahreszahlen“²⁵. Er verteilte diese Fortschritte dann auch auf 20-Jahres-Perioden (mit diesen Zahlen würde man auf eine Verdopplungszeit von einem halben Jahrhundert kommen). 1929 untersuchte Rainoff *Wave-like Fluctuations of Creative Productivity in the Development of West-European Physics in the Eighteenth and Nineteenth Centuries*²⁶ und benützte dazu die in Auerbachs 1910 erschienenen *Geschichtstafeln der Physik* angeführten Entdeckungen, die er zu je 5-Jahres-Perioden zusammenfaßte. 1937 betrachtete Pitirim Sorokin den Verlauf der Wissenschaftsentwicklung²⁷. Er benützte die Zeittafeln von Ludwig Darmstaedter und Fielding Hudson Garrison und zählte die Daten zu kürzeren Perioden (bis zu 10 Jahren hinunter) zusammen und skizzierte die Ergebnisse auf Diagrammen. Aus diesen Diagrammen könnte man konkrete Wendepunkte erkennen: einen Anstieg der Wissenschaft im 15. Jahrhundert, bei den Entdeckungen im 17. Jahrhundert, und ein starkes Tief um 1700. Sorokin teilte die bei Darmstaedter angeführten Daten nicht nur auf mehrere Zeitperioden auf, sondern auch auf die verschiedenen Länder und auf die einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer²⁸.

Es war ein wichtiger Fortschritt, daß Derek J. de Solla Price auf der Grundlage von Zeittafeln 1961 die Wachstumsgeschwindigkeit der Wissenschaft zu messen versuchte²⁹ und 1978 auf den Tiefpunkt um 1700 hinwies³⁰.

Ebenfalls um die Jahrhundertwende begann es mehr und mehr üblich zu werden, am Ende eines Buches ein Personenregister zu bringen. Gelegentlich wurden die Lebenszeiten in Klammern hinzugefügt. Aber auch unabhängig von Personenregistern findet man öfters Zusammenstellungen von berühmten Naturforschern und deren Lebensdaten. Derek Price erwähnte den Gedanken, eine Auswahl berühmter Naturforscher heranzuziehen und ihre Verdopplungszeit zu berechnen (die seiner Meinung nach etwa 20 Jahre betragen sollte)³¹, machte dazu aber keine näheren Angaben. 1980 untersuchte Sheldon auf der Basis chemiehistorischer Werke das Wachstum der Zahl bedeutender Forscher und bemerkte dabei unter anderem den auffallenden Tiefpunkt um 1700³².

Auch durch direkte Maßzahlen kann man versuchen, einen Eindruck von der Wachstumsgeschwindigkeit der Wissenschaft zu bekommen. Allerdings sind hier die Ergebnisse äußerst verschiedenartig; so verschiedenartig, wie die gemessenen Objekte selbst. 1852 berichtete Franz Unger über die Zunahme der Kenntnis fossiler Pflanzenarten von 1820 bis 1850³³. Seine Werte ergeben einen schönen exponentiellen Anstieg mit einer Verdopplungszeit von 7 ½ Jahren; Unger selbst errechnete jedoch ein arithmetisches Mittel („für je

5 Jahre eine Zunahme von nahe 400 Species“). 1864 gab Karl Hessen eine Aufstellung, wieviele Pflanzenarten und -gattungen zu verschiedenen Zeitpunkten bekannt waren³⁴. 1898 verglich Karl Möbius die Zahlen der zu seiner Zeit bekannten Tierarten je Stamm mit jenen Zahlen, die Linné 1758 angeführt hatte³⁵. Dieser Vergleich wurde später durch Rudolph Hesse³⁶ und Karl Koller³⁷ noch erweitert. 1980 benutzte Franz Stuhlhofer unter anderem diese Angaben und errechnete für das Wachstum unserer Kenntnis der Pflanzenarten eine Verdopplungszeit von 60 Jahren (von 1600 bis zur Gegenwart) und der Tierarten (von 1730 bis 1930) von 21 ½ Jahren³⁸.

Eine echte Pionier-Arbeit in der Verwertung direkter Maßzahlen leistete Henri Mineur 1934: Er untersuchte am Ende seiner Stellarastronomie-Geschichte in einem eigenen Abschnitt (*Les indices numériques du progrès astronomique*) das Wachstum unserer Kenntnis mehrerer astronomischer Objektarten durch die Neuzeit hindurch³⁹. Als Ergebnis seiner rechnerischen Auswertung gab er die Kehrwerte der Verzehnfachungszeiten an. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Exponentialkurve zur Gegenwart hin immer steiler wird; er beginnt manchmal mit (umgerechnet) Verdopplungszeiten von einem Jahrhundert und endet einige Male sogar bei Verdopplungszeiten von 5 Jahren⁴⁰.

Um 1950 herum entstanden gelegentlich Tabellen, in denen die Entdeckungsjahre der chemischen Elemente verzeichnet waren. 1963 versuchte Derek Price, auch diese Objekte seiner Verdopplungszeit von 20 Jahren einzufügen⁴¹; tatsächlich ergibt sich hier aber ein linearer Anstieg: alle 2 ½ Jahre wurde ein neues Element entdeckt⁴².

Eine weitere Möglichkeit bietet der Vergleich verschieden alter Lehrbücher, wie ihn Franz Stuhlhofer durchgeführt hat⁴³:

Anhand des Standardlehrbuches von W. H. Westphal: Physik. Berlin/Heidelberg/New York^{25/26} 1970, habe ich versucht abzuschätzen, wieviel (Seiten) davon zu früheren Zeitpunkten bereits bekannt waren (dazu kann man entweder ältere Lehrbücher oder physikhistorische Bücher verwenden). Es ergab sich eine Verdopplungszeit von ungefähr 80 oder 90 Jahren.

Diese Untersuchungsmethode soll nun auch den Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit bilden (ich beschränke mich dabei auf die Entwicklung der *Naturwissenschaften*).

Lehrbücher-Vergleich

Wenn ich behaupte, daß sich unser Wissen alle 100 Jahre verdoppelt, während andere von 45 (Dobrov)⁴⁴, 15 (Price)⁴⁵ oder noch weniger Jahren sprechen, so sollte wohl zuallererst die Frage geklärt werden, was denn eigentlich unter „unser Wissen“ zu verstehen ist. Betrachten wir einmal das erste Wort: „unser“ ist Mehrzahl; es handelt sich also um Wissen, das mehrere Menschen besitzen. Bei vielen Publikationen ist es nun (leider) so, daß der Autor zugleich auch der einzige Leser ist; aber selbst der Inhalt von (flüchtig) gelesenen Spezialarbeiten wird oft wieder vergessen, so daß man auch deren Inhalt nicht zu „unserem Wissen“ rechnen kann. Das Wissen, das eine größere Zahl von Menschen gegenwärtig hat, ist sicherlich viel geringer als alles, was je publiziert worden ist. Vielleicht könnte der Inhalt von Universitäts-Lehrbüchern eine recht sinnvolle Präzisierung des Begriffs „unser Wissen“ darstellen (natürlich entzieht sich dieser unscharfe Begriff einer *eindeutigen* Präzisierung). Spätere Forscher wissen insofern „mehr“ denn frühere, als es (später entdeckte) Formeln ermöglichen, (bereits früher bekannte) Einzel-Fakten kurz zusammenzufassen; außerdem bewirken spätere Theorien (wie die Atomtheorie) oft ein tieferes Verständnis für bereits früher bekannte Einzelheiten und Bereiche.

Um aber doch die Methode der Zählung aller wissenschaftlichen Literatur aufrechtzuhalten, könnte man allerdings versuchen, „unser Wissen“ folgendermaßen zu definieren: „Alles, was uns zugänglich ist – wir wissen es vielleicht nicht auswendig, aber es steht gedruckt in Bibliotheken“. Nach dieser Definition könnte für die Berechnung „unseres Wissens“ alles jemals Publizierte herangezogen werden. Also: „unser Wissen“ = „das uns

zugängliche Wissen“. – Diese Definition läßt sich aber gar nicht so einfach anwenden, wie sie aussieht. Durch die große Masse des bisher Publizierten ist das Aufsuchen einer bestimmten Information oft eine recht langwierige Angelegenheit; mitunter so langwierig, daß ein Neu-Entdecken sogar noch schneller erfolgt⁴⁶. Unter „dem uns zugänglichen Wissen“ kann man dann schließlich alles verstehen, was wir einmal erforschen werden; „zugänglich“ ist uns doch nicht nur eine Bibliothek, sondern auch die Natur.

Nun zur „Lehrbuch-Methode“: Versuchen wir abzuschätzen, wieviel vom Inhalt eines Universitäts-Lehrbuches zu früheren Zeitpunkten bereits bekannt war (praktisch: wieviele Seiten bekannt waren), so ergibt sich eine Verdopplungszeit von einem knappen Jahrhundert. Nehmen wir zum Beispiel die *Allgemeine Zoologie* von Ernst Hadorn/Rüdiger Wehner (Stuttgart ²⁰1978; begründet von Alfred Kühn), und vergleichen wir sie mit älteren Lehrbüchern der Zoologie: dem *Grundriß der allgemeinen Zoologie* von Alfred Kühn (Leipzig ⁴1931) und dem *Lehrbuch der Zoologie* von Carl Claus (Marburg ⁶1897; eventuell auch mit dem im gleichen Jahr erschienenen *Lehrbuch der Zoologie* von Richard Hertwig, Jena ⁴1897). Versucht man nun abzuschätzen, wieviele Seiten von Hadorn/Wehner schon 1931 oder 1897 bekannt waren, so sind allerdings drei Fragen zu beachten:

1. Ist das alte Lehrbuch ausführlich genug? – Der *Grundriß* von Kühn ist eine frühere Ausgabe dessen, was heute die *Allgemeine Zoologie* von Hadorn/Wehner ist, insofern eignet er sich für einen Vergleich sehr gut, weil doch manches vom Aufbau noch ähnlich ist. Der Umfang der früheren Ausgabe ist aber wesentlich geringer, und außerdem hat Kühn noch ausführlicher erklärt, während seine Nachfolger die Informationsdichte immer mehr komprimiert haben. Kühn enthält also insgesamt viel weniger Fakten; wenn etwas bei ihm fehlt, was bei Hadorn/Wehner steht, so ist es gut möglich, daß es dennoch auch 1931 schon bekannt war.

2. Waren im alten Lehrbuch die Erkenntnisse all jener Fächer schon eingebaut, die im heutigen Lehrbuch aufgenommen sind? – 1897 wußte man schon recht viel auf biochemischem Gebiet, aber dieses Wissen war von den damaligen Lehrbüchern der Zoologie noch kaum berücksichtigt worden.

3. War der Inhalt von damals fehlenden Zweigen noch völlig unbekannt, oder waren die Erkenntnisse bloß verstreut, noch nicht zusammengefaßt? – Es gab etwa um 1897 bereits einzelne Beobachtungen auf ökologischem Gebiet, aber die damaligen Lehrbücher bringen kein zusammenfassendes Kapitel über *Ökologie*. Überhaupt lag das Schwergewicht damals noch ganz eindeutig bei der *Speziellen Zoologie*; anatomische und physiologische Beobachtungen wurden größtenteils bei den einzelnen Tiergruppen gebracht, nicht im Rahmen der zusammenfassenden *Allgemeinen Zoologie*.

Mit diesem Ergebnis einer Verdopplungszeit von einem knappen Jahrhundert deckt sich jedenfalls auch der oben zitierte Vergleich mehrerer Physik-Lehrbücher.

Astronomische Objekte

Die Astronomie beschäftigt sich mit verschiedenartigen Objekten; mit Sternen, mit veränderlichen Sternen, mit Planetoiden, mit Kometen usw. Die Kenntnis von diesen Objekten hat im Laufe der Zeit stark zugenommen. Es liegt nahe zu untersuchen, wie rasch die Anzahl der bekannten Objekte gewachsen ist. Das hat Henri Mineur bereits 1934 getan⁴⁷. Das Schlußkapitel seiner *Histoire de l'astronomie stellaire* lautet: „Les indices numériques du progrès astronomique“. Er verfolgt das Wachstum der Kenntnis der Zahl der katalogisierten Sterne, der Eigenbewegungen, der Radialgeschwindigkeiten, der Parallaxen, der Veränderlichen Sterne und die Abnahme des mittleren Beobachtungsfehlers. Dabei kommt er auf Verdopplungszeiten von 5 bis 20 Jahren, zumindest für die letzten sechzig Jahre⁴⁸. – Hier sind wir bereits bei der ersten Einschränkung: Mineurs Tabellen zeigen

zum größten Teil einen Anstieg, der noch rascher zunimmt als bloß exponentiell: „jusqu'à présent le progrès astronomique a cru plus vite qu'une exponentielle“.⁴⁹ Die von Mineur als Ergebnis angegebenen Zahlen beziehen sich immer auf den letzten, steilsten Abschnitt. In früheren Abschnitten sind auch durchaus Verdopplungszeiten von einem Jahrhundert möglich: bis zum 17. Jahrhundert bei den katalogisierten Sternen, bis zum 19. Jahrhundert beim mittleren Beobachtungsfehler („Observations courantes de position“); ein halbes Jahrhundert zeigt sich bei den Veränderlichen Sternen bis zum 18. Jahrhundert. – Die erste Einschränkung lautet also: Der extrem rasche Anstieg ist eine Erscheinung, die nicht für die ganze Neuzeit gilt, sondern frühestens (auf einigen Gebieten) seit 1700.

An diese Einschränkung knüpft sich sofort eine zweite an: Mineur hat nur Gebiete der *Stellarastronomie* untersucht; seine Schlußfolgerung beansprucht aber, die *ganze* Astronomie zu betreffen: „le progrès astronomique . . .“. Hätte er andere Gebiete untersucht, wie zum Beispiel die Kometen, so wäre er auch auf wesentlich langsames Wachstum gestoßen. Bei der Zahl der bekannten Kometen in der Zeit von 2500 v. Chr. bis 1963 n. Chr. ergeben sich Verdopplungszeiten zwischen 200 und 850 Jahren; in der Neuzeit von durchschnittlich 400 Jahren⁵⁰.

Die dritte Einschränkung betrifft den Erkenntniswert einer weiteren Entdeckung: Dieser Erkenntniswert nimmt nämlich ab, je höher die Zahl der bereits entdeckten Objekte ist. Konkret: Die ersten zehn entdeckten Planetoiden brachten einen größeren Zuwachs an „astronomischer Erkenntnis“ als die zehn mit Nr. 1001 bis 1010. Das Wachsen der Zahl der bekannten Objekte einer Art darf also nicht gleichgesetzt werden mit dem Wachsen wissenschaftlicher Erkenntnis.

Diese drei Einschränkungen muß man beachten, wenn man versucht, aus Wachstumsraten astronomischer Objekte auf das Wachstum der gesamten Astronomie rückzuschließen; diese Wachstumsraten sind oft wirklich beeindruckend – man könnte etwa noch die Planetoiden anführen, bei denen sich eine Verdopplungszeit von rund 15 Jahren ergibt⁵¹. Auch die moderne Technik verzeichnet auf manchen Gebieten extrem schnelle (meßbare) Fortschritte. Über das gesamte Fach kann man aber nur Aussagen machen, wenn man die genannten drei Einschränkungen berücksichtigt; das bedeutet: Entweder alle wesentlichen Zweige der Gegenwart müssen herangezogen werden – nicht nur jene, wo ein zahlenmäßiger Fortschritt meßbar ist – auf manchen Gebieten bleibt die Zahl der Objekte (oder: die Genauigkeit, die Energie . . .) gleich, dennoch schreitet die Erkenntnis voran –; oder einige Zweige werden durch die gesamte Neuzeit hindurch verfolgt – dabei wechseln sich Phasen großer Geschwindigkeit ab mit langsameren und bewirken ein ausgeglichenes Ergebnis. Außerdem muß noch berücksichtigt werden, daß der wirkliche Erkenntnisfortschritt nicht völlig identisch ist mit dem Wachstum einer Zahl (von Objekten, von Energiebeträgen, von Größen usw.). All das zu berücksichtigen, ist enorm kompliziert; andererseits aber sagen die (völlig verschiedenartigen) Verdopplungszeiten verschiedener Objekte alleine noch nichts aus über die Wachstumsgeschwindigkeit unseres Wissens.

Anzahl wichtiger Entdeckungen

Naturwissenschaftliche Lehrbücher bringen manchmal eine kurze Zeittabelle, die helfen soll, das Werden der Naturwissenschaft zu veranschaulichen, indem die Zeitpunkte besonders wichtiger Entdeckungen angeführt werden. Diese Zeittabellen sind aber im allgemeinen zu knapp, um zu statistischen Zwecken dienen zu können. Anders ist es mit den von Wissenschaftsgeschichtsbüchern gebotenen Zeittafeln, die oft umfangreicher sind; besonders ideal sind schließlich Werke, die zur Gänze aus solchen Zeittafeln bestehen. Die von den Herstellern solcher Zeittafeln getroffene Auswahl ist sicherlich subjektiv; hinter jenen Ergebnissen aber, die bei verschiedensten Zeittafeln (verschiedener Hersteller und völlig unterschiedlichen Umfangs) in gleicher Weise aufscheinen, dürften aber doch wohl objektive Tatbestände stehen.

Die erste Frage, die uns interessiert, ist jene nach der Geschwindigkeit der Zunahme unseres Wissens. Ich habe mich dabei auf die Zeit von 1500 bis 1900 beschränkt (einige Zeittabellen brechen auch schon vor 1900 ab). Für die Berechnung habe ich als ersten Punkt die Zahl der Entdeckungen bis zum Jahr 1500 genommen und dann den Zwischenstand nach jeweils einem weiteren Jahrzehnt betrachtet; die weiteren Punkte stellen also die gesamte Zahl der bis zum Jahr 1510, 1520, 1530 usw. bekannten Entdeckungen dar; der letzte (= 41.) Punkt liegt dann beim Jahr 1900. Die Punkte liegen ungefähr auf einer Exponentialkurve; daraufhin werden die Zahlen der Entdeckungen (oder der im Buch für die Entdeckungen beanspruchte Raum, gemessen in Zeilen oder in cm) logarithmiert – danach liegen die Logarithmen der Zahlen der Entdeckungen als Funktion der Zeit (1500 bis 1900) ungefähr auf einer Geraden. Der genaue Anstieg der Geraden wird ermittelt, indem eine Ausgleichsgerade gelegt wird; das ist jene Gerade, bei der die Summe der Quadrate der Abstände (von den Punkten zur Geraden) ein Minimum sind (Gaußsche Methode der kleinsten Quadrate). Daß es gerechtfertigt ist, von einer Exponentialkurve zu sprechen, zeigt sich daran, daß der Korrelationskoeffizient sehr hoch ist; er beträgt im Durchschnitt 0,98⁵². Die jeweilige Steigung der Geraden wird am besten dadurch veranschaulicht, daß man sie umrechnet in die Zahl der Jahre, die für die Verdopplung der

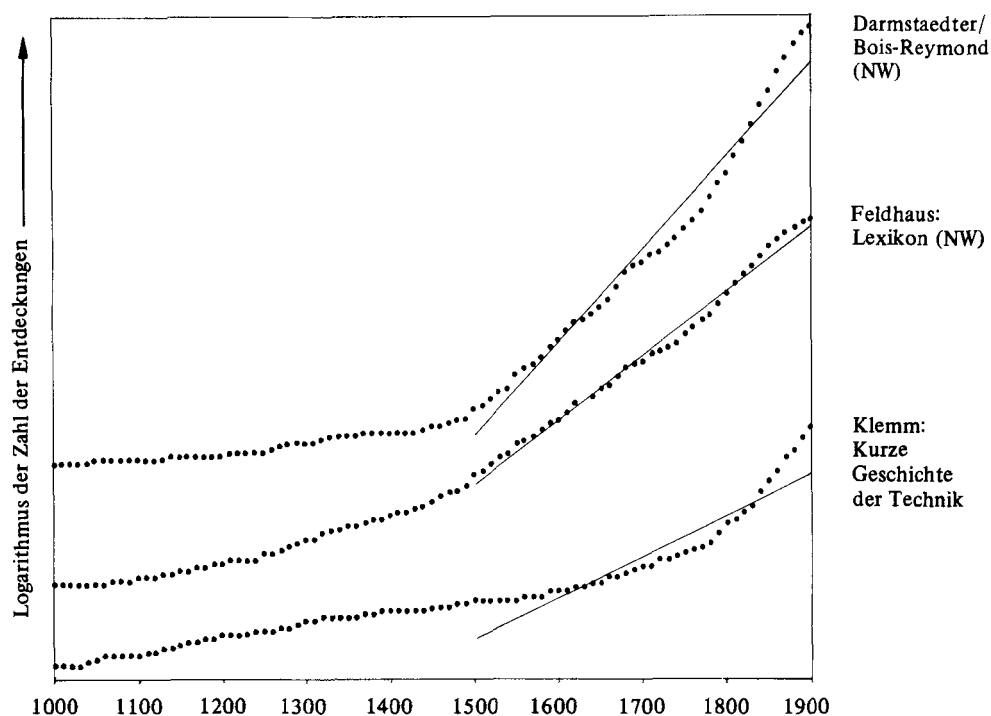


Abb. 1. Zahl der (in den Zeittafeln von Klemm: Kurze Geschichte der Technik, Feldhaus: Lexikon (NW) und Darmstaedter/Du Bois-Reymond (NW) angeführten) Entdeckungen als Funktion der Zeit. Bei Darmstaedter/Du Bois-Reymond und auch bei Feldhaus läßt sich in der 2. Hälfte des 15. Jahrhunderts ein Aufschwung erkennen (die Verdopplungszeit für das davorliegende halbe Jahrtausend [1000 bis 1500] beträgt bei Darmstaedter/Du Bois-Reymond 1000 Jahre, bei Feldhaus gar 5000 Jahre!). Diese beiden Zeittafeln ergeben überhaupt einen recht ähnlichen Kurvenverlauf. – Die Kurven sind der besseren Übersicht wegen einfach übereinandergesetzt worden, so daß sie einander nicht überschneiden.

Gesamtzahl der Entdeckungen, also für die Verdopplung des Wissens, benötigt werden⁵³. Im einzelnen ergaben sich bei den untersuchten Zeittabellen folgende Werte (die genaueren Angaben über die Werke sind aus der Bibliographie – unter „Zeittafeln“ – zu sehen):

Verdopplungszeit (in Jahren):

Darmstaedter (NW) ⁵⁴ (Abb. 2)	85
Darmstaedter/Du Bois-Reymond (NW) (Abb. 1)	110
Feldhaus: Lexikon (NW) (Abb. 1)	159
Walden (Chemie)	127
Klemm: Technik	230
Klemm: Kurze Geschichte der Technik (Abb. 1)	262
Feldhaus: Die Technik	139 (reicht nur bis 1790)
Smith (Mathematik) ⁵⁵	413 (reicht nur bis 1850)

Zwei Werke, die keine „Vorgeschichte“ (nämlich Altertum und Mittelalter) bringen, sondern erst mit der Neuzeit einsetzen:

Lippmann (Organische Chemie)	47 (von 1500 bis 1890)
Koller (Zoologie)	58 (von 1550 bis 1900)

Im Schnitt wird man wohl sagen können, daß die Verdopplungszeit etwa ein Jahrhundert oder etwas mehr beträgt. Der Spielraum ist allerdings recht groß: von 50 Jahren bis zu 400 Jahren. – Wenn ich von *hundert* Jahren Verdopplungszeit spreche, meine ich nur die Größenordnung: 10^2 Jahre (und nicht 10^1 oder 10^3 Jahre).

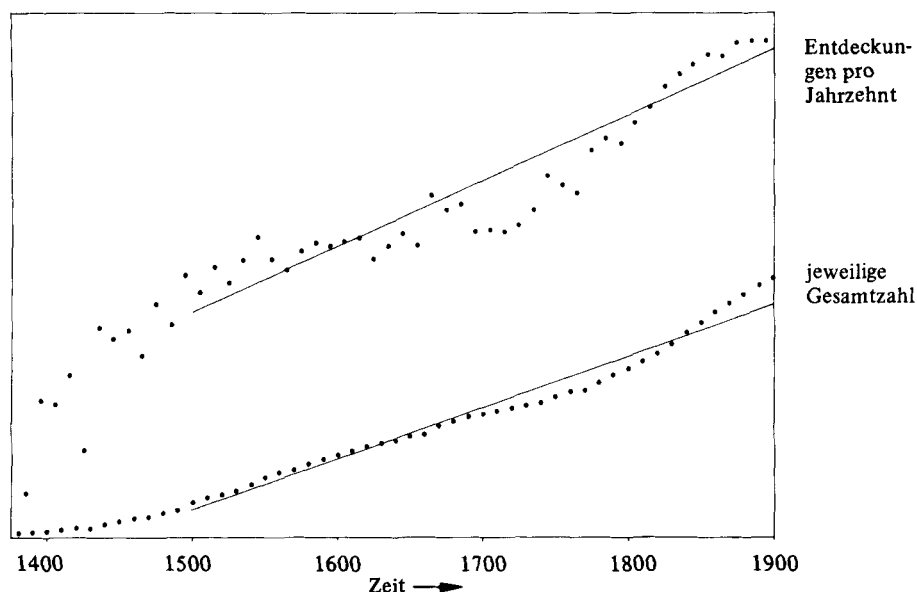


Abb. 2. Zahl der in Darmstaedters Handbuch (NW) angeführten Entdeckungen als Funktion der Zeit. Wenn man die jeweilige Summe von Entdeckungen bis zu bestimmten Zeitpunkten festhält, kann man den Aufschwung in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts erkennen. Trägt man jedoch die pro Jahrzehnt gemachten Entdeckungen jeweils gesondert auf, erkennt man Tiefpunkte (wie jenen um 1705) deutlicher. Die Verdopplungszeiten sind hier (wie auch sonst meistens) unterschiedlich: Beim Rechnen mit den Summen beträgt sie 85 Jahre, beim Trennen der Jahrzehnte 70 Jahre.

Hier kann man auch gut sehen, wie stark Derek Price auf die Verdopplungszeit von wenigen Jahrzehnten vorgeprägt ist. Als Verdopplungszeit für „wichtige Entdeckungen“⁵⁶ beziehungsweise für „ausgewählte große wissenschaftliche Entdeckungen“⁵⁷ gibt er 20 Jahre an. Und eine „solche subjektive Liste ‚wichtiger‘ Entdeckungen wie die von Ludwig Darmstaedter“ soll (ab 1660) eine Verdopplungszeit von 30 Jahren ergeben⁵⁸. Wie wir jedoch oben festgestellt haben, beträgt die Verdopplungszeit bei Darmstaedter (ab 1500) 85 Jahre; ab 1660 würde sie etwa 70 Jahre ausmachen. Auf 30 Jahre Verdopplungszeit kann man nur kommen, wenn man die Entdeckungen bis 1660 vollständig vernachlässigt; so, als ob um 1660 noch überhaupt nichts bekannt gewesen wäre und damals erst die Forschung begonnen hätte. Das Weglassen der „Vorgeschichte“ (das, wie wir soeben bei Lippmann und Koller gesehen haben, zu großen Beschleunigungen führt) ist ein von Price mehrmals angewandtes Mittel, um die Verdopplungszeit herabzudrücken; auch bei der Entdeckung der chemischen Elemente hat er dieses Mittel gebraucht, um eine schöne Gerade⁵⁹ wenigstens für die Anfangsstrecke in eine Exponentialkurve zu verwandeln. Nach den Tabellen bei Gutmann/Hengge, Ihde und Sachtleben/Hermann (siehe Bibliographie: „Entdeckung der chemischen Elemente“) ergibt sich im Durchschnitt eine Zunahme von einem Element in 2,54 Jahren (bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,98 [!] – es kann also nicht bezweifelt werden, daß es gerechtfertigt ist, eine Ausgleichsgerade zu legen und von einem linearen Anstieg zu sprechen). Derek Price führt jedoch die „Anzahl der bekannten chemischen Elemente“ unter jenen Gebieten an, die eine Verdopplungszeit von 20 Jahren aufweisen⁶⁰ – als ob man bei den chemischen Elementen überhaupt von einem exponentiellen Wachstum sprechen könnte!

Die Tabellen der Entdeckung der chemischen Elemente bei Gutmann/Hengge, Ihde und Sachtleben/Hermann stimmen nicht in allen Einzelheiten überein; bei einigen Elementen ist es nämlich umstritten, welcher Zeitpunkt als jener der „Entdeckung“ gelten soll. Dennoch: Solche individuellen Verschiedenheiten gleichen sich insgesamt wieder aus; alle drei Tabellen ergeben einen ähnlichen Anstieg. Das ist zu beachten bei solchen statistischen Untersuchungen: Die Unterlagen müssen nicht absolut fehlerlos sein; im allgemeinen spielen bunt verstreute Fehler keine nennenswerte Rolle. – Franz Maria Feldhaus schrieb rückblickend auf die beiden 1904 erschienenen Zeittafeln (sein *Lexikon der Erfindungen und Entdeckungen auf den Gebieten der Naturwissenschaften und Technik* und das Werk von Darmstaedter/Du Bois-Reymond)⁶¹:

Als mein Buch erschien, hatte eine ähnliche Arbeit des Berliner Autographensammlers Ludwig Darmstaedter ‚4000 Jahre Pionier-Arbeit‘ die Presse gerade verlassen. Diese beiden Bücher, die das gleiche Thema in gleicher Form behandelten, widersprechen sich fast in jedem Datum!

Dennoch: Die beiden Kurven zeigen einen äußerst ähnlichen Verlauf (siehe Abb. 1), und auch die Verdopplungszeiten sind nicht allzu verschieden: 110 Jahre bei Darmstaedter/Du Bois-Reymond, und 159 Jahre bei Feldhaus.

Anzahl berühmter Naturforscher

Wissenschaftsgeschichtsbücher, deren Kapitel durch die Namen großer Naturforscher überschrieben sind, bringen im Inhaltsverzeichnis auch oft die Lebenszeiten dieser Naturforscher in Klammer. Eine solche chronologische Anordnung eignet sich gut dazu, die Vermehrung der Zahl berühmter Naturforscher festzustellen⁶². Je länger eine solche Liste ist, desto mehr werden Zufälle eliminiert und treten statistische Gesetzmäßigkeiten hervor. Leider findet sich selten eine so lange Liste wie bei Krafft/Meyer-Abich (NW). – Auch jene Personenregister, welche die Lebenszeiten beinhalten, sind brauchbar; und schließlich auch Lexika.

Unser erstes Ziel ist es auch hier, die Verdopplungszeit zu erkennen. Allerdings muß folgende Unterscheidung beachtet werden: Man kann die Zeit für die Verdopplung *des*

Wissens messen, oder aber die Zeit für die Verdopplung der Wissensproduktionsgeschwindigkeit. Als wir die Zahl der jeweils bis zu einem bestimmten Zeitpunkt gemachten Entdeckungen betrachteten, haben wir gemessen, wie schnell sich unser gesamtes Wissen verdoppelt. Hätten wir dagegen untersucht, wieviele Entdeckungen es innerhalb von kürzeren Intervallen (zum Beispiel von jeweils einem Jahrzehnt) gab, und daraufhin berechnet, wie lange es dauert, bis innerhalb eines Intervalls doppelt so viele Entdeckungen gemacht werden wie in einem früheren Intervall, so hätten wir damit die Geschwindigkeit gemessen, mit der die Wissensproduktion zunimmt (vgl. Abb. 2). Wenn wir nun darauf achten, wieviele Forscher zu einer bestimmten Zeit lebten (die früheren, bereits gestorbenen werden vernachlässigt), so messen wir damit auch die Geschwindigkeit der Wissensproduktion. Wenn wir dagegen untersuchen, wieviel des Inhalts eines Lehrbuches zu einer früheren Zeit bereits bekannt war, so messen wir die Verdopplung des Wissens.

In unserem Zusammenhang ist diese Unterscheidung weniger bedeutend; wenn (und nur wenn) die Geschwindigkeit der Wissensproduktion exponentiell zunimmt, so nimmt auch das Wissen exponentiell zu. Wichtiger wird diese Unterscheidung, wenn wir daran gehen, Phasen des Rückganges der Geschwindigkeit zu erkennen – diese werden leichter erkannt, wenn man die Wissenszunahme pro Jahrzehnt gesondert betrachtet. Wenn wir aber wissen wollen, wann eigentlich das begonnen hat, was wir heute als „moderne“ oder „neuzeitliche“ Naturwissenschaft bezeichnen, so ist es günstiger, die gesamte Menge zu betrachten, die bis zu bestimmten Zeitpunkten bekannt war.

Ich bin so vorgegangen, daß ich den gesamten Zeitraum unterteilt habe in Jahrzehnte, die untereinander aufgetragen wurden. Die Lebenszeit der Naturforscher wurde durch einen Strich markiert, der sich über seine gesamte Lebenszeit erstreckt, wobei am Beginn und am Ende, wenn es sich um angefangene Jahrzehnte handelt, die Zahl jener Jahre eingetragen wurde, die in das betreffende Jahrzehnt fallen. Angefangene Jahre werden

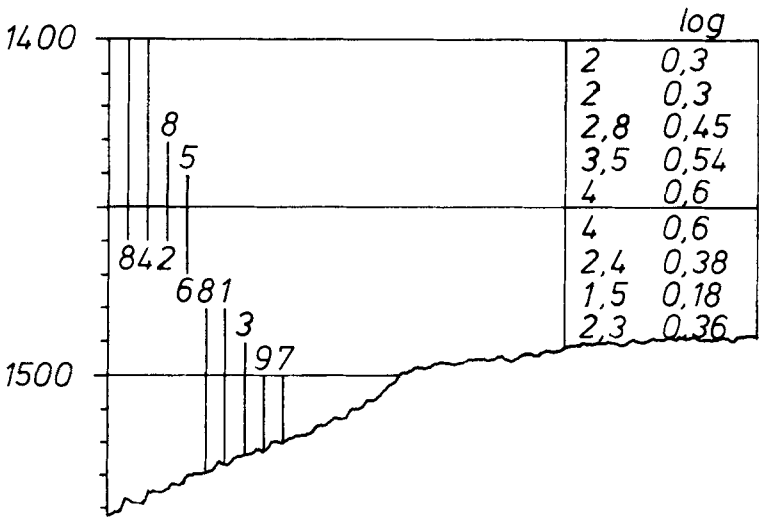


Abb. 3. Ein Ausschnitt aus der „Vorarbeit“: Die Lebenszeiten werden (am besten auf kariertem Papier) aufgetragen; anschließend werden die Summen der Forscher je Jahrzehnt gebildet, und diese Summen werden logarithmiert.

ganz mitgerechnet (irgendwo muß man schließlich runden). Zum Schluß werden für jedes Jahrzehnt die darin lebenden Naturforscher addiert (zwei halbe ergeben dabei einen ganzen usw.) und logarithmiert (vgl. Abb. 3). Die Werte, die sich daraus ergeben, werden in einem Diagramm aufgetragen, und zwar jeweils genau in der Mitte des betreffenden Jahrzehnts (es ergeben sich also 40 Punkte, von 1505 bis 1895). Als Ergebnis kommt eine Reihe von Punkten heraus, die man (ungefähr) durch eine Ausgleichsgerade erfassen kann; der Korrelationskoeffizient betrug im Durchschnitt 0,93. Im einzelnen sehen die Ergebnisse so aus (Reihung nach der Zahl der Forscher):

Von 1500 bis 1900:	Forscher	Verdopplungszeit
Asimov (NW) (Abb. 4)	879	79
Krafft/Meyer-Abich (NW) (Abb. 3)	298	105
Hermann: Geschichte der Physik	243	78
Sigerist (Medizin)	51	128

Von 1500 bis 1850:

Bei vielen Büchern habe ich nur die Zeit bis 1850 berücksichtigt, weil sich sonst am Ende bereits eine Abschwächung ergeben würde. Es könnte natürlich sein, daß zur Gegenwart hin tatsächlich eine Verlangsamung der Forschungstätigkeit erfolgt; ich habe aber

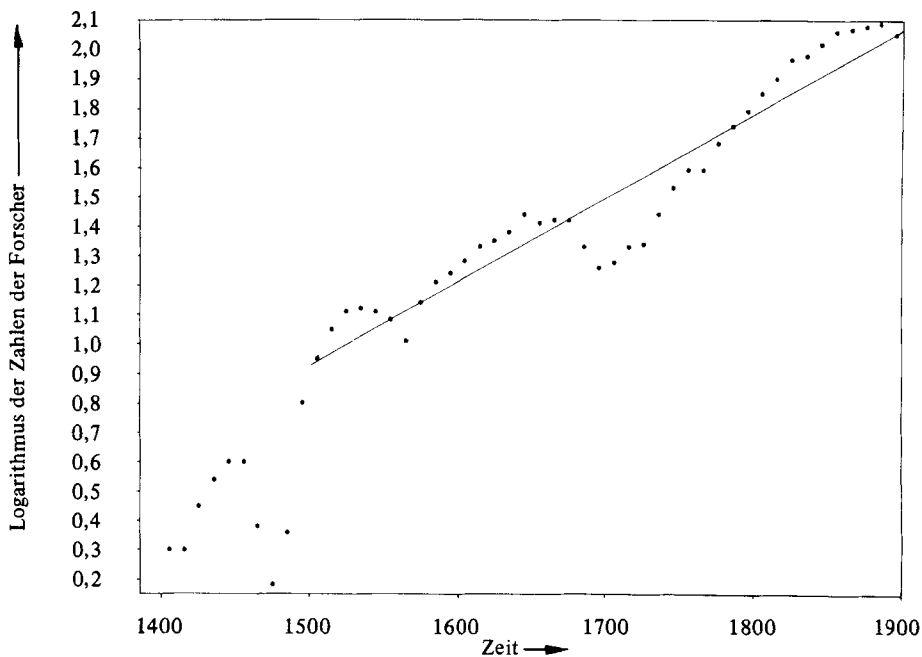


Abb. 4. Zahl der von Krafft/Meyer-Abich (NW) ausgewählten Forscher als Funktion der Zeit. Im 15. Jahrhundert ist ein steiler Anstieg erkennbar; außerdem Tiefpunkte am Ende des 15. und am Ende des 16. Jahrhunderts (außer jenem um 1705).

doch eher angenommen, daß es einfach daran liegt, daß viele Forscher, die später einmal sehr berühmt sein werden, heute deshalb noch nicht so bekannt sind, weil man die Bedeutung ihrer Ergebnisse noch nicht voll abschätzen kann.

Mason (NW) (Abb. 4)	594	128
Koller (Zoologie)	223	75
Sedgwick/Tyler/Bigelow (NW)	166	162
Zekert (Pharmazie)	120	64
Ley (Astronomie)	96	96
Bugge (Chemie)	61	85
Lenard (NW)	60	89

Viele Bücher habe ich hier nicht angeführt, weil sie zu stark gegenwartsorientiert sind. Bei ihnen zeigt sich ein exponentielles Wachstum nur über ein oder zwei Jahrhunderte hinweg; für diese Zeit ist dann die Zunahme natürlich sehr schnell (Verdopplungszeiten von einem halben Jahrhundert oder noch schneller). Für den gesamten Zeitraum von 1500 bis 1900 wäre die Zunahme wieder bedeutend langsamer; aber es ist fraglich, ob es sinnvoll wäre, bei einer geringen Korrelation überhaupt eine „Verdopplungszeit“ anzugeben. Deshalb habe ich zum Beispiel Hermann: Große Phyiker, Hentschel/Wagner (Zoologie), Sachtleben/Hermann (Chemie), Becker (Astronomie), Faber (Chemie), Heinig (Chemie) und Gerlach (NW) nicht angeführt. Außerdem habe ich nur Werke angegeben, die mindestens 50 Forscher beinhalten; es zeigte sich nämlich, daß erst ab einer ungefähr so großen Zahl Gesetzmäßigkeiten sichtbar werden.

Der Rahmen, innerhalb dessen die Verdopplungszeiten schwanken, ist zwar wesentlich kleiner als bei den Zeittafeln, beträgt aber doch noch ungefähr ein Jahrhundert. Läßt man allerdings das höchste und das niedrigste Ergebnis (Sedgwick: 162, und Zekert: 64) weg,

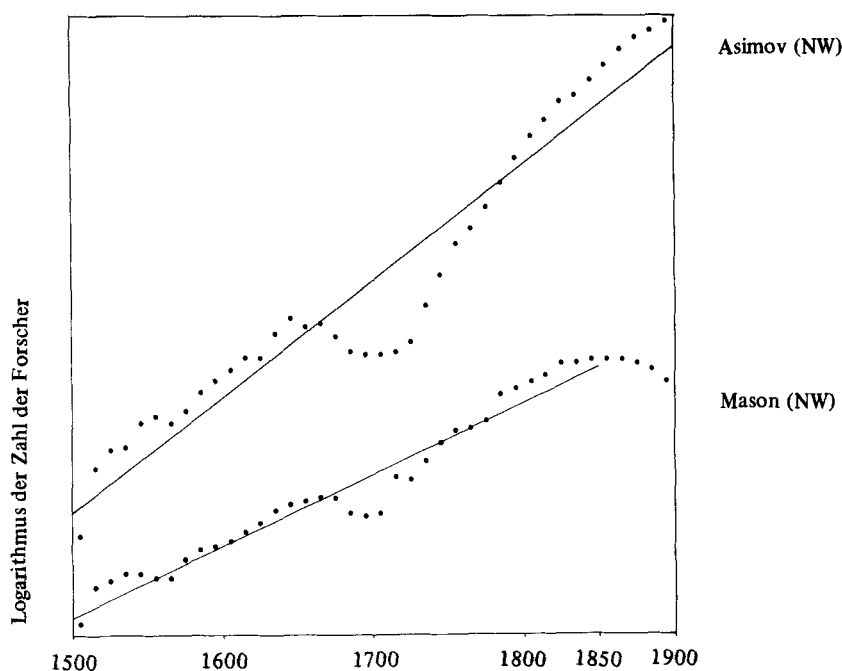


Abb. 5. Zahl der von Mason (NW) und Asimov (NW) ausgewählten Forscher als Funktion der Zeit.

so schwanken die Resultate nur noch innerhalb eines halben Jahrhunderts – man könnte zusammenfassen: *Verdopplungszeit = 1 Jahrhundert \pm $\frac{1}{4}$ Jahrhundert.*

Unter der „Verdopplungszeit 20 Jahre“ führt Derek Price auch „große Physiker“ an⁶³; leider wird keine Definition für „groß“ gegeben. An einer anderen Stelle wird Price aber konkreter⁶⁴:

Nimmt man zum Beispiel aus gängigen biographischen Handbüchern oder anderen Quellen, die nur eine kleine Elite beschreiben, eine ausgewählte Gruppe von offensichtlich hervorragenden modernen Wissenschaftlern in irgendeinem großen Teilgebiet, so ist die Verdopplungszeit etwa 20 Jahre.

Genau diese von Price vorgeschlagene Vorgangsweise habe ich befolgt; das Ergebnis habe ich oben angeführt; es weicht doch recht stark von der Behauptung Prices ab. Der Unterschied wird noch klarer bewußt, wenn man so rechnet: Gibt es heute doppelt so viele berühmte Forscher wie vor 100 Jahren, oder gibt es heute 32 mal so viele? Oder, wenn man auf eine Angabe von Price zurückgreift⁶⁵:

Meßgrößen für den Umfang der Wissenschaft mit dieser Verdopplungsperiode sollten sich also seit 1660 auf das Millionenfache vergrößert haben.

Bei meiner Verdopplungszeit ergibt sich bloß eine *Verachtfachung*.

Aus der Verdopplungszeit der Wissenschaftler wird ein weiteres Schlagwort abgeleitet⁶⁶:

Das bedeutet, daß von 8 Wissenschaftlern heute 7 leben, also 87 $\frac{1}{2}$ %; das wollen wir den Koeffizienten der Gegenwartskonzentration nennen.

Wie schnell sich tatsächlich die Zahl der in der Forschung Beschäftigten vermehrt, kann ich nicht sagen; es scheint mir auch nicht so repräsentativ zu sein für die Vermehrung unseres Wissens, sondern bloß für die Erhöhung staatlicher oder wirtschaftlicher Investitionen. Inwiefern sich diese vermehrten Investitionen auch wirklich bezahlt machen, ist eine andere Frage. Eine Frage, die mir eher beantwortet scheint durch die Betrachtung der Vermehrung der Zahl jener Wissenschaftler, deren Tätigkeit fühlbare Spuren hinterlassen hat im Hinblick auf den Bestand unseres Wissens; jener Wissenschaftler, deren wir auch heute noch durch die Anführung in Lexika und in Wissenschaftsgeschichtsbüchern gedenken. Daß die durch solche Werke getroffene Auswahl repräsentativ ist, wird noch durch mehrere Beobachtungen erhärtet:

1. Trotz der Verschiedenheit der Subjekte (Autoren der Werke) und der Objekte (gesamte Naturwissenschaften oder verschiedene Einzel-Disziplinen) sieht das Endergebnis doch immer wieder ziemlich ähnlich aus: Die Verdopplungszeit schwankt um 100 Jahre herum.

2. Das Endergebnis hängt auch nicht davon ab, wie groß die Zahl der ausgewählten Forscher ist. Nachdem die Ergebnisse entsprechend dem Umfangreichtum der Auswahl gereiht sind, läßt sich das auf den ersten Blick erkennen; es besteht kein Zusammenhang zwischen der Größe der Auswahl und der Verdopplungszeit.

3. Abgesehen von einem ähnlichen Anstieg der Ausgleichsgeraden zeigen die Kurven auch sonst einen ähnlichen Verlauf, insbesondere einen gemeinsamen Tiefpunkt um 1705. – Diese Berechnungsmethode scheint also recht viel Objektivität zu besitzen.

In diesem Zusammenhang finden wir auch (wie bei den chemischen Elementen) ein weiteres Beispiel dafür, wie eine lineare Funktion zu einer exponentiellen wird⁶⁷:

Für hervorragende Wissenschaftler könnte man etwa als Kriterium die Aufforderung nehmen, Beiträge für bestimmte Veröffentlichungen zu liefern oder Medaillen und andere Auszeichnungen zu erhalten, wie den Nobel-Preis. Auf diese Art kommt die übliche Art exponentiellen Wachstums heraus, aber die Verdopplungszeit ist wesentlich länger als zehn Jahre.

Wenn man den Erhalt des Nobel-Preises, der einmal jährlich an eine gleichbleibende Zahl von naturwissenschaftlichen Fächern (Physik, Chemie, Medizin/Physiologie) vergeben

wird, als Kriterium verwendet, wird man kaum auf etwas anderes als auf eine lineare Funktion kommen!⁶⁸

Trotz dieser methodischen Mängel wird dieses Schlagwort Prices häufig angeführt. An die Stelle des Priceschen Schlagwortes soll nun ein besseres Schlagwort gesetzt werden (ich befürworte statistische Versuche, auch wenn ihnen manche Unvollkommenheiten anhaften): Eine Verdopplungszeit von einem Jahrhundert für die bedeutenden Wissenschaftler (wie sie durch Lexika oder wissenschaftshistorische Werke ausgewählt werden) läßt schlußfolgern, daß ein *Drittel* aller (später) berühmten Wissenschaftler in der Gegenwart lebt. Ich schließe hier die ganze Lebenszeit ein, nicht nur die aktive Schaffenszeit. Das bedeutet natürlich: Der größte Teil dieses Drittels ist noch überhaupt nicht berühmt, und ein Teil weiß selbst noch gar nicht, daß er einmal Wissenschaftler sein wird. Als Beispiel für diesen Anteil (ein Drittel) sei nur Krafft/Meyer-Abich angeführt: Dort findet man eine Liste von etwa 350 Forschern; 1900 lebten davon 35 %. Die Schlußfolgerung auf unsere Gegenwart ist einfach eine Hochrechnung – in der Vergangenheit war es so, daß (im allgemeinen) ein Drittel der berühmten Forscher in der jeweiligen Gegenwart lebte.

Die „Ergebnisse“ der Wissenschaftsmessung (Verdopplungszeit 15 Jahre usw.) könnten dazu verführen, die Beschäftigung mit der weiter zurückliegenden Geschichte der Wissenschaft für belanglos zu halten. Diese „Verführung“ ist unsachlich; auch die Wissenschaftsgeschichte vor 1900 ist bedeutend (schließlich wurde mehr als die Hälfte unseres gegenwärtigen Wissens vor 1900 erworben).

Beginn und Unterbrechungen des exponentiellen Wachstums

Die wissenschaftshistorische Literatur weist manchmal darauf hin, daß der bewundernswerte Höhenflug der neuzeitlichen Naturwissenschaft auch gelegentlich unterbrochen wurde durch Phasen, wo das Wachstum merklich zurückging. So stellt Stephen Finney Mason fest⁶⁹:

... die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts stellt sich uns verglichen sowohl mit der vorangegangenen als auch mit der folgenden Periode als eine recht unergiebigste Epoche [a singularly bleak period] in der Geschichte des wissenschaftlichen Denkens dar.

Und John Desmond Bernal schrieb ein Kapitel über „The Early Eighteenth-Century Pause 1690–1760“.⁷⁰ Andere Historiker erwähnen die schädliche Wirkung des Dreißigjährigen Krieges: Rudolf Burckhardt⁷¹ spricht von der

Verwüstung Mittel- und Nordeuropas durch den Dreißigjährigen Krieg, wodurch die wissenschaftliche Produktion auf Jahrzehnte stillgelegt war ...

und Paul Walden beobachtet „ein Absinken nach den Zerstörungen des 30jährigen Krieges“.⁷²

Wir wollen uns nun fragen, ob sich solche Eindrücke auch statistisch erhärten lassen. Wenn wir die Diagramme betrachten, die sich aus den Zeittafeln und den Lebenszeiten ergeben, so springt vor allem eine Flaute um 1705 ins Auge (Derek Price nannte sie „a post-Scientific Revolution slump“⁷³). 1705 gibt lediglich den durchschnittlichen Tiefpunkt an; insgesamt erstreckt sich das Tal über eine Breite von bis zu einem halben Jahrhundert. Diese Flaute ist bei praktisch allen Diagrammen zu erkennen. Bei Zeittafeln kann man solche Tiefpunkte übrigens dann besser herausfinden, wenn man die Entdeckungen pro Jahrzehnt betrachtet – dabei fallen Rückgänge im Erfolg der Forschungstätigkeit viel deutlicher auf (vgl. Abb. 2). Dieses Ergebnis würde Masons und Bernals Beobachtung bestätigen – und doch etwas korrigieren: Nicht erste Hälfte des 18. Jahrhunderts, sondern um 1705.

Zu anderen Zeitpunkten stimmen die Lebenszeiten eigenartigerweise nicht überein mit den Zeittafeln: um 1475 und um 1565 zeigen die Lebenszeiten kleinere Flauten, die bei den Zeittafeln jedoch kaum bemerkbar sind. Schließlich, was den Dreißigjährigen Krieg betrifft: sowohl Lebenszeiten als auch Zeittafeln zeigen zum Teil kleinere Flauten um 1620 oder um 1660. Das könnte Waldens und Burckhardts Eindrücke (schwach) bestätigen.

Es wäre leicht, *mögliche* Ursachen für diese Flauten zu nennen; weniger leicht ist es allerdings, eindeutig die „wahre(n)“ Ursache(n) aufzuzeigen. Besonders eindrucksvoll wäre es, sollte es gelingen, eine Ursache zu finden, die zur Zeit aller Flauten (und nur zu dieser Zeit) gegeben war. Ein solcher Fund wäre wohl auch für die gegenwärtige Wissenschaftsplanung wichtig.

Eine Hilfe bei der Ermittlung der Ursachen könnte eine Aufgliederung Sorokins sein, worin die (von Darmstaedter ausgewählten) Entdeckungen nicht nur auf 25-Jahres-Perioden, sondern auch auf die Länder und auf die Fächer aufgeteilt wurden⁷⁴.

Mit Hilfe solchen Tabellen-Materials können noch weitere Fragen in Angriff genommen werden, so zum Beispiel: Wann begann das Zeitalter der modernen, neuzeitlichen Naturwissenschaft? – Betrachten wir zuerst die Register mit Lebenszeiten: Bei einigen davon (Sedgwick, Mason, Krafft/Meyer-Abich) ergibt sich das Bild, daß es im 15. Jahrhundert einen sehr steilen Anstieg gab und dann gemäßigtes, gleichmäßiges (exponentielles) Wachstum (vgl. Abb. 4). Recht einheitlich bei allen Listen mit Lebenszeiten hat man den Eindruck, daß die Überwindung des gelegentlichen Rückfalls in Flauten (vor allem 1705, aber auch 1475 und 1565) eine entscheidende Voraussetzung für das phänomenale Wachstum darstellt. Bei mehreren Zeittafeln findet sich in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts ein deutlicher Aufschwung; so bei Feldhaus: Lexikon (NW), Smith (Mathematik), Darmstaedter (NW) und Darmstaedter/Du Bois-Reymond (NW) (vgl. Abb. 1 und 2). In einzelnen Disziplinen dürfte der eigentliche Wendepunkt erst in späterer Zeit liegen, vielleicht im 17. oder 18. Jahrhundert; so in der Technik (laut Klemm-Zeittafeln) und in der Chemie (laut Lebenszeit-Listen). Zusammenfassend: *Die moderne, neuzeitliche Naturwissenschaft beginnt in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts. Wesentlich beteiligt an der weiteren Beschleunigung war dann noch die Überwindung des gelegentlichen Rückfalls in Flauten und der Start einiger Nachzügler-Disziplinen.*

Ein solches Ergebnis dient als Fingerzeig für den Wissenschaftshistoriker: Es ist nun seine Aufgabe zu untersuchen, ob sich diese auffälligen Entwicklungsphasen tatsächlich ereignet haben (und was deren Ursachen sein könnten), oder ob uns diese Phasen nur vorgetäuscht werden – falls nämlich die durch Wissenschaftshistoriker getroffene Auswahl (für Lexika, Zeittafeln usw.) unsachlich ist (im letzteren Fall würde dieses Ergebnis Anstoß zu einer Revision der wissenschaftshistorischen Auswahl sein).

Schlußfolgerungen

Ich habe mit der weithin akzeptierten These, daß sich unser Wissen in 10 oder 15 Jahren verdoppele, begonnen und dabei die Konsequenzen dieser These für Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft aufgezeigt. Welches sind nun die Konsequenzen meiner These einer Verdopplung unseres Wissens in 100 Jahren?

1. Für die Vergangenheit der Wissenschaft: Die Erkenntnis, wie schnell unser Wissen wächst und wodurch das Wachstum der Wissenschaft gefördert bzw. gehemmt werden kann, ist nur durch das Heranziehen der Wissenschaftsgeschichte möglich. Die Wissenschaftsgeschichte ist überhaupt geeignet, Material zu bieten für sehr viele (auch gegenwartsbezogene) Fragestellungen.

2. Für die Zukunft der Wissenschaft: Die bisherige Wachstumsbeschleunigung kann durchaus noch lange weitergehen, auch wenn die Vermehrung des wissenschaftlichen Personals und der wissenschaftlichen Literatur nicht mehr so schnell erfolgen kann.

3. Für die Gegenwart der Wissenschaft: Kurzfristige Erfolgskontrollen sind nicht möglich; denn die Zahl der in der Forschung Beschäftigten und der wissenschaftlichen Publikationen sagt nichts aus über die tatsächliche Wissensvermehrung. Langfristige Erfolgskontrollen und das Erkennen von fördernden Faktoren müssen unter Berücksichtigung längerer Zeiträume erfolgen.

- 1 D. J. de Solla Price: *Little Science, Big Science*. Von der Studierstube zur Großforschung. Frankfurt 1974 (ursprünglich New York 1963), S. 17.
- 2 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 34.
- 3 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 30.
- 4 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 30.
- 5 K. O. May: *Growth and Quality of the Mathematical Literature*. *Isis* 59 (1968), 363–371, unternahm den Versuch, die Literatur einer mathematischen Disziplin (Determinanten) in mehrere Kategorien einzuteilen und deren Wachstum zu untersuchen. Dabei zeigte sich, daß ein zeitweise rasches Anwachsen der Literatur auf die Zunahme unbedeutender Arbeiten zurückgeht, während die Zahl der wirklich originellen, neuen Forschungsergebnisse wesentlich gleichmäßiger und langsamer zunimmt (Figure 3).
- 6 Die vollständigste Zusammenfassung seiner Ergebnisse findet sich in D. J. Price (wie Anm. 1).
- 7 Zusammenfassende Lehrbücher über die Wissenschaftsforschung (zu der ja auch die „Wissensmessung“ gehört) hat verfaßt G.M. Dobrov (a): *Wissenschaftswissenschaft*. Einführung in die allgemeine Wissenschaftswissenschaft. Berlin 1969, und derselbe (b): *Wissenschaft: ihre Analyse und Prognose*. Stuttgart 1974. – Eine äußerst umfangreiche Bibliographie enthält I.-S. Spiegel-Rösing: *Wissenschaftsentwicklung und Wissenschaftssteuerung*. Einführung und Material zur Wissenschaftsforschung. Frankfurt 1973; ebenso Roger Hahn: *A Bibliography of Quantitative Studies on Science and its History*. Berkeley 1980; und auch A. Pritchard: *Bibliometrics. A bibliography and index*. Vol. 1, 1981.
- 8 Th. R. Malthus: *An Essay on the Principle of Population*. 1798.
- 9 F. Engels: *Umriss zu einer Kritik der Nationalökonomie*. In: *Deutsch-Französische Jahrbücher*. 1844. In der Gesamtausgabe: K. Marx/F. Engels: *Werke*. Bd. 1, Berlin 1956, S. 521.
- 10 F. Engels: *Dialektik der Natur*. Veröffentlicht erst 1925; in der Gesamtausgabe: K. Marx/F. Engels: *Werke*. Bd. 20, Berlin 1962, S. 313.
- 11 H. Adams: *The education of Henry Adams*. New York 1931 (frühere Auflagen 1907 und 1918), Chapter 34: „A law of acceleration“ (1904), S. 490. Deutsche Übersetzung: *Die Erziehung des Henry Adams*. Zürich 1953, Kap. 34: „Ein Gesetz der Beschleunigung“, S. 767.
- 12 H. Adams (wie Anm. 11), engl. S. 491, dt. S. 769.
- 13 M. Ossowska/St. Ossowski: *The science of science*. *Organon, International Review* 1 (1936), 1–12. Deutsche Übersetzung in: *Minerva* 3 (1964), 72–82, oder in: H. Krauch/W. Kunz/H. Rittel (Hrsg.): *Forschungsplanung*. München/Wien 1966, S. 11–21.
- 14 Sehr stark gegenwartsbezogen war J. D. Bernal: *The Social Function of Science*. London 1939. Das Buch enthält aber viele Anregungen und kann mittlerweile auch schon als Quellenwerk verwendet werden, da es viele statistische Daten für die Zeit des Erscheinens bringt.
- 15 K.F.W. Hessen: *Botanik der Gegenwart und Vorzeit in kulturhistorischer Entwicklung*. Leipzig 1864 (Mass. 1948), S. 461–464: Statistik der botanischen Literatur.
- 16 Der Gebrauch des Konjunktivs bedeutet (hier und im folgenden), daß diese Schlußfolgerung vom Autor selbst noch nicht gezogen wurde, sondern lediglich von mir aufgrund seiner Angaben berechnet wurde.
- 17 T. J. Cole/N.B. Eales: *Statistical Analysis of the Literature of Comparative Anatomy*. *Science Progress* (1917). Die Abbildung wird auch wiedergegeben von E. W. Hulme: *Statistical Bibliography in relation to the growth of modern civilization*. London 1923, Chart 4 (am Ende des Buches).
- 18 L.R.Ch. Merritt: *The Administrative, Fiscal, and Quantitative Aspects of the Regional Union Catalog*. In: R. B. Downs (Hrsg.): *Union Catalogs in the United States*. Chicago 1942, Part, 1, Table 29, S. 79–82.

- 19 H. C. Bolton: A Catalogue of Scientific and Technical Periodicals. 1665–1895. Together with Chronological Tables and a Library Checklist. Washington ²1897 [Nachdruck 1965], S. 1017–1123; Chronological Tables (1. Auflage: Washington 1885).
- 20 D. A. Kronick: A History of Scientific and Technical Periodicals. The Origins and Development of the Scientific and Technical Press 1665–1790. New York 1962, zum Beispiel Tables 1, 3, 9. – D. J. Price (wie Anm. 1, S. 18) führt die wissenschaftlichen Zeitschriften zwar unter *15 Jahren* an, aber das dürfte mit seiner Tendenz, die Verdopplungszeiten möglichst klein zu gestalten, zusammenhängen; denn er sagt selbst, daß wir heute 50.000 periodische wissenschaftliche Zeitschriften kennen, deren Gründungen 1665 beginnen (wie Anm. 1, S. 19). Bis 1963 vergingen 3 Jahrhunderte, und 50.000 entspricht $2^{15,6}$; in 300 Jahren erfolgten also 15,6 Verdoppelungen, das ergäbe 19 Jahre für eine Verdoppelung.
- 21 F. Rider: The Scholar and the Future of the Research Library. A Problem and Its Solution. New York 1944, Chapter 1, S. 6.
- 22 D. J. de Solla Price: Quantitative Measures of the Development of Science. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 4 (1951) [= *Archeion* 30], 85–93; ebenso in: Actes du VI^e Congrès International d'Histoire des Sciences (Amsterdam 1950). Paris 1951 (Collection du travaux de l'académie internationale d'histoire des sciences 6), S. 413–421.
- 23 E. W. Hulme (wie Anm. 17), S. 24 f. bzw. S. 26 f.
- 24 E. W. Hulme (wie Anm. 17), Chart 2 (am Ende des Buches).
- 25 F. Auerbach: Entwicklungsgeschichte der modernen Physik, zugleich eine Übersicht ihrer Tatsachen, Gesetze und Theorien. Berlin 1923, S. 311–324.
- 26 *Isis* 12 (1929), 287–319.
- 27 P. A. Sorokin: Social and Cultural Dynamics. Vol. 2: Fluctuation of Systems of Truth, Ethics, and Law. London 1937, Chapter 3: "Movement of Scientific Discoveries and Technological Inventions" (S. 125–180).
- 28 P. A. Sorokin (wie Anm. 27), Table 9, S. 150 und Table 5, S. 134 f.
- 29 D. J. de Solla Price: Science Since Babylon. New Haven 1961, S. 119.
- 30 D. J. de Solla Price: Ups and Downs in the Pulse of Science and Technology. *Sociological Inquiry* 48 (1978), 3–4; The Sociology of Science (hrsg. von J. Gaston). San Francisco 1978, S. 167; fast unverändert abgedruckt auch als: The Analytical (Quantitative) Theory of Science and its Implications for the Nature of Scientific Discovery, in: M. D. Grmek/R. S. Cohn/G. Cimino (Hrsg.): On Scientific Discovery. 1980, S. 184, 187.
- 31 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 49 f.
- 32 J. C. Sheldon: A Cybernetic Theory of Physical Science Professions: The Causes of Periodic Normal and Revolutionary Science between 1000 and 1870 AD. *Scientometrics* 2 (1980), 147–167.
- 33 F. Unger: Versuch einer Geschichte der Pflanzenwelt. Wien 1852, S. 218, Anm.
- 34 K.F.W. Hessen (wie Anm. 15), S. 460 f.
- 35 K. Möbius: Über den Umfang und die Einrichtung des zoologischen Museums zu Berlin. *Sitzungsberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* (1898), S. 363 f.
- 36 R. Hesse: Bericht über das „Tierreich“. *Sitzungsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften* (1929), S. XLII.
- 37 G. Koller: Daten zur Geschichte der Zoologie. Bonn 1949, S. 52–54.
- 38 F. Stuhlhofer: Strukturen der wissenschaftlichen Betätigung und das zeitlich exponentielle Wachstum der neuzeitlichen Naturwissenschaft. *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 3 (1980), 118–120.
- 39 H. Mineur: Histoire de l'astronomie stellaire jusqu'à l'époque contemporaine. Paris 1934 (Actualités scientifiques et industrielles, 115 Exposés d'astronomie stellaire, 1), S. 50–57.
- 40 Im Abschnitt „Astronomische Objekte“ bespreche ich Mineurs Arbeit näher.
- 41 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 18.
- 42 Das wird im Abschnitt „Anzahl wichtiger Entdeckungen“ genauer erklärt.
- 43 F. Stuhlhofer (wie Anm. 38), S. 125 f., Anm. 44.
- 44 G. M. Dobrov (wie Anm. 7a), S. 31 f., und (wie Anm. 7b), S. 35.
- 45 D. J. Price (wie Anm. 1), 1. Kapitel: Prolog zu einer Wissenschaftswissenschaft.
- 46 J. D. Bernal sagte 1954, daß es tatsächlich leichter sei, eine neue Tatsache zu entdecken als nachzuweisen, daß diese noch nicht entdeckt oder entwickelt worden ist (Science in History; angeführt von G. M. Dobrov [wie Anm. 7/b], S. 36).
- 47 H. Mineur (wie Anm. 39).
- 48 Mineur rechnet nicht mit Verdopplungszeiten, sondern mit Verzehnfachungszeiten; außerdem gibt er diese nicht direkt an, sondern deren Kehrwerte (K). Um auf die Verdopplungszeiten zu kommen, muß man rechnen:

$$\text{Verdopplungszeit} = \frac{\log 2}{K}$$

- 49 H. Mineur (wie Anm. 39), S. 55.
- 50 Die Zahlen für die einzelnen Zeitabschnitte finden sich bei K. Schaifers/G. Traving: Meyers Handbuch über das Weltall. Mannheim ⁵ 1973, S. 260 f. Dort wird F. Baldet benutzt.
- 51 Die Zahlen für die einzelnen Zeitabschnitte findet man bei K. Stumpff (Hrsg.): J.J.v. Littrow: Die Wunder des Himmels. Gemeinverständliche Darstellung des astronomischen Weltbildes. Bonn ¹¹ 1963, S. 383–385. D. J. Price (wie Anm. 1), S. 18, gibt 10 Jahre an; aber dabei dürfte seine Tendenz in Richtung kurze Verdopplungszeit an der Berechnung beteiligt gewesen sein.
- 52 Je näher der Korrelationskoeffizient bei +1 (oder –1) liegt, desto besser ist die Korrelation (Abhängigkeit, Zusammenhang). Werte um 0 herum würden zeigen, daß überhaupt keine Korrelation besteht.
- 53 Dazu wird der Logarithmus von 2 ($\log 2 = 0,301$) dividiert durch den Anstieg pro Jahrzehnt.
- 54 „NW“ ist die Abkürzung für „Naturwissenschaft“ – ein solcher Zusatz bedeutet, daß das angeführte Werk keine spezielle Richtung, sondern die ganze Naturwissenschaft umfaßt. – Diese eingeklammerten Zusätze sollen das Auffinden des Werkes in der Bibliographie erleichtern.
- 55 D. E. Smith unterteilte die Entdeckungen in drei Klassen, die ich dann mit einer unterschiedlichen Zahl von Punkten bewertet habe: Mathematical names and events (= jeweils 1 Punkt), *Important mathematical names and events* (= jeweils 3 Punkte), *Mathematical names and events of greatest importance* (= jeweils 5 Punkte).
- 56 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 18.
- 57 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 50. Beide Male wird die Qualität der Entdeckungen nicht näher definiert.
- 58 D. J. Price (wie Anm. 29), S. 119. Bis 1660 soll die Verdopplungszeit etwa 120 Jahre betragen. Der entscheidende Umschwung liegt aber nicht um 1660 herum, sondern in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts (siehe Abschnitt „Beginn und Unterbrechungen des exponentiellen Wachstums“).
- 59 Das läßt sich ersehen aus den Diagrammen, die abgebildet werden bei D. J. Price (wie Anm. 1), S. 40; demselben: A Calculus of Science. *International Science and Technology* Heft 15 1963, S. 37; F. Stuhlhofer (wie Anm. 38), S. 121.
- 60 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 18.
- 61 F. M. Feldhaus: Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker. Leipzig/Berlin 1914, S. VIII.
- 62 J. C. Sheldon (wie Anm. 32) führte eine solche Untersuchung auf der Basis chemiehistorischer Werke durch.
- 63 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 18.
- 64 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 49 f.
- 65 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 19.
- 66 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 23.
- 67 D. J. Price (wie Anm. 1), S. 49.
- 68 An einer anderen Stelle bringt Price das selbst zum Ausdruck: D. J. Price (wie Anm. 1), S. 67, Anm. 13.
- 69 St. F. Mason: Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen. Stuttgart ² 1974, Kap. 24, S. 334 [englisches Original: New York 1953, S. 223]. Dort heißt es außerdem: „Zeitlich scheint dieses Nachlassen der wissenschaftlichen Anstrengungen in die Periode zwischen der Ausweitung des Handels im 16. und 17. Jahrhundert einerseits und der landwirtschaftlichen und industriellen Revolution andererseits zu fallen.“ Ähnlich heißt es in Kap. 26, S. 360 (engl. S. 241): „... Stagnation in der Naturforschung, die sich gegen Ende des 17. Jahrhunderts bemerkbar zu machen begann, ...“
- 70 J. D. Bernal: Science in History. Vol. 2, Chapter 8.1.
- 71 R. Burckhardt: Geschichte der Zoologie. Leipzig 1907, S. 58.
- 72 P. Walden: Chronologische Übersichtstabellen zur Geschichte der Chemie von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1952, S. VI.
- 73 D. J. Price (wie Anm. 30); J. C. Sheldon (wie Anm. 32) erkennt bei seiner Untersuchung denselben Tiefpunkt.
- 74 P. A. Sorokin (wie Anm. 27), S. 150 (Table 9) und S. 134 f. (Table 5).

Bibliographie

(Diese Bibliographie soll die Durchführung weiterer statistischer Untersuchungen erleichtern; das angeführte Material könnte etwa als Basis für die Analyse der Entwicklung einzelner naturwissenschaftlicher Disziplinen dienen.)

Zeittafeln wichtiger Entdeckungen

Abkürzungen (jeweils am Ende der Angaben zum ersten Buch einer [alphabetisch geordneten] Gruppe in Klammern hinzugefügt):

- (A) bedeutet: Diese Zeittafeln eignen sich für statistische Untersuchungen am besten.
- (B) bedeutet: Diese Zeittafeln beschränken sich auf die Erscheinungsjahre wichtiger *Bücher*.
- (C) bedeutet: Diese Zeittafeln bringen Entdeckungsjahre und Lebensdaten von Entdeckern durcheinandergemischt.
- (D) bedeutet: Diese Zeittafeln bringen Entdeckungsjahre vermischt mit allgemeinesgeschichtlichen Ereignissen.
- (E) bedeutet: Diese Zeittafeln bringen Entdeckungsjahre sowohl mit (einigen) allgemeinesgeschichtlichen Ereignissen als auch mit Lebensdaten von Forschern vermischt.
- (F) bedeutet: Bei diesen Zeittafeln sind jeweils mehrere Entdeckungen zu kürzeren Abschnitten zusammengefaßt.

Naturwissenschaften (Allgemein)

- Arabella B. Buckley: A short history of natural science and of the progress of discovery from the time of the greeks to the present day. New York ⁴1902, S. 483–496 (A).
- Ludwig Darmstaedter/René Du Bois-Reymond: 4000 Jahre Pionier-Arbeit in den exakten Wissenschaften. Berlin 1904.
- Ludwig Darmstaedters Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik. Berlin ²1908 (1960).
- Maurice Dumas (Hrsg.): Histoire de la science. 1957, S. 1706–1753.
- Franz Feldhaus: Lexicon der Erfindungen und Entdeckungen auf den Gebieten der Naturwissenschaften und Technik. Heidelberg 1904.
- Felix Müller: Zeittafeln zur Geschichte der Mathematik, Physik und Astronomie bis zum Jahre 1500. Leipzig 1892.
- Friedrich Dannemann: Vom Werden der naturwissenschaftlichen Probleme. Leipzig 1928, S. 355–364 (C).

Astronomie

- Oswald Thomas: Astronomie. Salzburg/Stuttgart ⁷1956, S. 976–980 (A).
- Karl Schaifers/ Gerhard Traving: Meyers Handbuch über das Weltall. Mannheim ⁵1973, S. 708–734 (C).
- Rudolph Wolf: Handbuch der Astronomie, ihrer Geschichte und Literatur. Bd. 1, Zürich 1890/91, S. 697–712 (D).

Biologie

- Gottfried Koller: Daten zur Geschichte der Zoologie. Bonn 1949, S. 9–45 (A).
- Werner Plesse/ Dieter Rux (Hrsg.): Biographien bedeutender Biologen. Berlin 1977, S. 367–373.
- Christopher Upham Murray Smith: The problem of Life. London 1976, S. 311–314.
- Eduard Strasburger: Lehrbuch der Botanik. Stuttgart/New York ³¹1978, S. 1 f.
- Robert Zander: Geschichte des Gärtnerturns mit Zeittabellen vom Jahre 30–1935. Stuttgart 1952, S. 97–112.
- Wilhelm E. Mühlmann: Geschichte der Anthropologie. Bonn 1948, S. 250–257 (B).
- L. C. Miall: History of Biology. New York/London 1911, S. 183–191 (E).

Chemie und Pharmazie

- Edmund Oscar von Lippmann: Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie. Berlin 1921 (A).
 H. Valentin: Geschichte der Pharmazie und Chemie in Form von Zeittafeln. Stuttgart ³ 1950.
 Paul Walden: Drei Jahrtausende Chemie. Berlin 1944, S. 261–288.
 Georg Edmund Dann: Einführung in die Pharmaziegeschichte. Stuttgart 1975 (E).
 Paul Walden: Chronologische Übersichtstabellen zur Geschichte der Chemie. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1952 (F).

Geowissenschaften

- Viktor Wolfgang von Hagen: Südamerika ruft. Berlin/Frankfurt/Wien 1959, S. 169 f. (A).
 Heinrich Harrer/ Heinrich Pleticha: Entdeckungsgeschichte aus erster Hand. Würzburg 1968, S. 409 f.
 J. Löwenberg: Geschichte der Geographischen Entdeckungreisen. Leipzig 1880, S. 419 ff. (*reicht nur bis 1800*).
 Fernand Salentiny: Das Lexikon der Seefahrer und Entdecker. Tübingen/Basel 1974, S. 441–492.
 Kirtley F. Mather/ Shirley L. Mason: A Source Book in Geology. New York/London 1939 (1964), S. 683–691 (*zuerst nach Themen, dann chronologisch geordnet*) (B).
 Carl Christoph Beringer: Geschichte der Geologie und des Geologischen Weltbildes. Stuttgart 1954, S. 147–152 (C).

Mathematik

- Carl B. Boyer: A History of Mathematics. New York/London/Sydney 1968, S. 683–695 (A).
 David Eugene Smith: History of Mathematics. Boston/London 1951 und New York 1958, Bd. 1, S. 549–570.

Medizin

- Marielene Putscher: Geschichte der medizinischen Ausbildung von 1600 bis zur Gegenwart. München 1972, S. 187–192 (B).
 Fielding Hudson Garrison: An Introduction to the History of Medicine (with medical chronology, suggestions for study and bibliographic data). Philadelphia/London ⁴ 1929 (1960), S. 809–879 (E).
 Ludwig Aschoff/ Paul Diepgen/Heinz Goerke: Kurze Übersichtstabelle zur Geschichte der Medizin. Berlin/Göttingen/Heidelberg ⁷ 1960 (F).

Physik

- Felix Auerbach: Geschichtstafeln der Physik. Leipzig 1910 (A).
 Felix Auerbach: Entwicklungsgeschichte der modernen Physik, zugleich eine Übersicht ihrer Tatsachen, Gesetze und Theorien. Berlin 1923, S. 311–324.
 Felix Auerbach: Geschichtstafeln der Physik. Leipzig 1910, S. 111–128 (B).
 Ernst Gerland: Geschichte der Physik. Leipzig 1892, S. 328–345.
 Ferdinand Rosenberger: Die Geschichte der Physik in Grundzügen mit synchronistischen Tabellen der Mathematik, der Chemie und beschreibenden Naturwissenschaften sowie der allgemeinen Geschichte. Braunschweig 1882 (1. Teil, S. 150–169), 1884 (2. Teil, S. 368–397), (Hildesheim 1965) (C).

Technik

- Edward de Bono: Buchers Illustrierte Geschichte der Erfindungen vom Rad zum Computer. Luzern/Frankfurt a. M. 1975, S. 233–237 (A).
 Thomas Kingston Derry/Trevor Illtyd Williams: A short history of technology. Oxford 1960, S. 714–749.
 Percy Dunsheath: A History of Electrical Engineering. London 1969, S. 347–357.
 Franz Maria Feldhaus: Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker. Leipzig/Berlin 1914, S. XII–XV; München ² 1965, S. 9–12.
 Karl Erich Haeberle: 10 000 Jahre Waage. Aus der Entwicklungsgeschichte der Wägetechnik. Jugenheim a.d.B. 1967, S. 267–272.
 Harry Harper: The Evolution of the Flying Machine. Philadelphia 1930, S. 261–281.

- Friedrich Klemm: Technik. Eine Geschichte ihrer Probleme. Freiburg/München 1954, S. 399–404.
 Friedrich Klemm: Kurze Geschichte der Technik. Freiburg 1961, S. 176–183.
 Conrad Matschoss: Geschichte der Dampfmaschine. Berlin 1901, S. 433–441.
 Alois Nedoluha: Kulturgeschichte des technischen Zeichnens. Wien 1960, S. 182–186.
 Hans Straub: Die Geschichte der Bauingenieurkunst. Basel/Stuttgart ³ 1975, S. 297–299.
 Gerhard Wissmann: Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart. Berlin ⁴ 1975, S. 513–527.

Lebenszeiten berühmter Naturforscher

- (G) bedeutet: Die Namen und die Lebenszeiten folgen (fast) unmittelbar aufeinander und sind chronologisch nach dem Geburtsdatum geordnet (das ist die für statistische Untersuchungen günstigste Anordnung).
 (H) bedeutet: Lexika mit chronologischer Anordnung (Vorteil: chronologische Reihenfolge; Nachteil: das ganze Lexikon muß durchgeblättert werden, um die Lebenszeiten herauszuschreiben).
 (I) bedeutet: Personenregister mit eingeklammerten Lebenszeiten (Nachteil: alphabetische Anordnung – die verschiedensten Jahrhunderte folgen aufeinander; Vorteil: unmittelbare Aufeinanderfolge, wodurch ein oftmaliges Umblättern erspart bleibt) und andere nicht-chronologische Aufstellungen.

Lexika mit alphabetischer Anordnung wurden nicht berücksichtigt.

Naturwissenschaften (allgemein)

- Ludwig Darmstaedter: Naturforscher und Erfinder. Bielefeld/Leipzig 1926, S. V f. (G).
 Betina Holzapfel/Heinz Balmer: Antlitze großer Schöpfer. Basel 1961, S. 5.
 Philipp Lenard: Große Naturforscher. München ⁴ 1941, ⁶ 1943, S. 13 f.
 Fritz Krafft/ Adolf Meyer-Abich (Hrsgg.): Große Naturwissenschaftler. Biographisches Lexikon. Frankfurt a. M. 1970, S. 340–342.
 William Thompson Sedgwick/Harry Walter Tyler/Robert Payne Bigelow (Hrsgg.): A short history of science. New York 1917, S. 449–457; 1939, S. 472–486 (*eigentlich eine Zeittafel, die aber hauptsächlich Lebenszeiten bringt*).
 Isaac Asimov: Biographische Enzyklopädie der Naturwissenschaften und der Technik. Freiburg/Basel/Wien 1973 (H).
 Walter Gerlach (Hrsg.): Der Natur die Zunge lösen. Leben und Leistung großer Forscher. München 1967.
 Albert Bettex: Die Entdeckung der Natur. München/Zürich 1965, S. 378–380 (I).
 Floyd L. Darrow: Masters of Science and Invention. New York 1923, Chapter 29, S. 326–343.
 Maurice Daumas (Hrsg.): Histoire de la science, 1957, S. 1767–1848.
 Stephen Finney Mason: Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen. Stuttgart ² 1974, S. 719–728.
 Humphrey Thomas Pledge: Science Since 1500. A short history of mathematics, physics, chemistry, biology. New York 1959 und London 1966, S. 345–357.
 Charles Singer: A short history of science. Oxford 1946, S. 393–399.
 Charles Singer: A short history of scientific ideas to 1900. Oxford 1959, S. 517–525.
 René Taton (Hrsg.): Histoire générale des sciences. Paris 1958 (Tome 2, S. 729–761), 1961 (Tome 3, Vol. 1, S. 673–715), 1964 (Tome 3, Vol. 2, S. 957–1027).
 William D. Wightman: The Growth of Scientific Ideas. New Haven 1951, S. 481–488.
 Trevor Illtyd Williams (Hrsg.): A biographical dictionary of scientists. London 1969, S. 577–592.

Astronomie

- Friedrich Becker: Geschichte der Astronomie. Mannheim/Zürich ³ 1968, S. 155; Mannheim/Wien/Zürich ⁴ 1980, S. 156 (G).
 Willy Ley: Die Himmelskunde. Eine Geschichte der Astronomie von Babylon bis zum Raumzeitalter. Düsseldorf/Wien 1965, S. 569–573.

- Johann Heinrich von Mädler: *Geschichte der Himmelskunde*. Bd. 2, Braunschweig 1873, S. 519–554.
 Giorgio Abetti: *The History of Astronomy*. London 1954, S. 329–345; *Storia dell'Astronomia*. Firenze 1963, S. 433–453 (I).
 Arthur Berry: *A Short History of Astronomy*. New York 1961, S. 417–424.
 Alexandre Koyré: *La révolution astronomique. Copernic–Kepler–Borelli*. Paris 1961, S. 521–525;
The Astronomical Revolution. Copernicus–Kepler–Borelli. London 1980, S. 529–531.

Biologie

- Ernst Almquist: *Große Biologen. Eine Geschichte der Biologie und ihrer Erforscher*. München 1931, S. 7 (G).
 Werner Plesse/Dieter Rux (Hrsgg.): *Biographien bedeutender Biologen*. Berlin 1977, S. 5–7.
 Charles Singer: *The Story of Living Things*. New York/London 1931, S. X–XV (A History of Biology. ³1959, S. XI–XVI).
 Emily Eveleth Snyder: *Biology in the making*. New York/London 1940, S. 451–469.
 Hans Stubbe: *Kurze Geschichte der Genetik bis zur Wiederentdeckung der Vererbungsregeln Gregor Mendels*. Jena 1963; S. XI f.; ²1965, S. XII f.
 Beatrice Flad-Schnorrenberg: *Die Entdeckung des Lebendigen*. Weinheim 1978, S. 229–231 (I).
 Erwin Hentschel/ Günther Wagner: *Tiernamen und zoologische Fachwörter*. Stuttgart/New York 1976, S. 465–487.
 Gottfried Koller: *Daten zur Geschichte der Zoologie*. Bonn 1949, S. 46–61.
 William A. Locy: *The Story of Biology*. New York 1925, S. XI–XIV.
 Walther May: *Große Biologen*. Leipzig/Berlin 1914, S. 197–200.
 Werner Plesse/Dieter Rux (Hrsgg.): *Biographien bedeutender Biologen*. Berlin 1977, S. 380–384.
 Karl E. Rothschuh: *Physiologie. Der Wandel ihrer Konzepte, Probleme und Methoden vom 16. bis zum 19. Jahrhundert*. Freiburg/München 1968, S. 367–387.
 Charles Singer: *The Story of Living Things*. London/New York ¹1931, S. 569–572; *A History of Biology*. ³1959, S. 574–580.
 Marius Jacob Sirks/ Conway Zirkle: *The Evolution of Biology*. New York 1964, S. 366–376.
 Gerhard Venzmer: *Das Buch von der Entdeckung des Menschen*. Stuttgart 1959, S. 310–312.
 Herbert Wendt: *Auf Nochs Spuren. Die Entdeckung der Tiere*. 1967, S. 493–508.

Chemie und Pharmazie

- Günther Bugge (Hrsg.): *Das Buch der großen Chemiker*. Berlin 1929 (Bd. 1, S. V), 1930 (Bd. 2, S. V) (G).
 Gerhard Jaffe: *Crucibles: The story of chemistry. From ancient Alchemy to Nuclear Fission*, New York 1957, S. 7.
 Georg Lockemann: *Geschichte der Chemie*. Berlin 1950 (Bd. 1, nach S. 142), 1955 (Bd. 2, S. 4).
 Henry Marshall Leicester/ Herbert S. Klickstein: *A source book in chemistry 1400–1900*. New York/Toronto/London 1952, S. XI–XVI.
 Otto Zekert: *Berühmte Apotheker*. Stuttgart 1955 (Bd. 1, S. 7 f.), 1962 (Bd. 2, S. V f.).
 Eduard Faber (Hrsg.): *Great Chemists*. New York/London 1961 (H).
 Rudolf Sachtleben/ Armin Hermann: *Große Chemiker. Von der Alchemie zur Großsynthese*. Stuttgart 1960, München ³1969.
 Karl Heinig (Hrsg.): *Biographien bedeutender Chemiker*. Berlin 1968, S. 303–312 (I).
 Edvard Hjelt: *Geschichte der Organischen Chemie*. Braunschweig 1916, S. 540–556.
 Carl Schorlemmer: *Ursprung und Entwicklung der organischen Chemie*. Leipzig 1979, S. 245–254.
 Mary Elvira Weeks: *Discovery of the Elements*. Easton ⁵1945, S. VII–XIV.

Geowissenschaften

- Hanno Beck: *Große Reisende. Entdecker und Erforscher unserer Welt*. München 1971, S. 5–9 (G).
 Frank Debenham: *6000 Jahre mußten vergehen . . . Entdeckung und Erforschung unserer Erde von den Anfängen bis heute*. Stuttgart 1960, S. 213–236.
 Paul Heinrich Groth: *Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften*. Berlin 1926 (Wiesbaden 1970), S. 241–256.
 Kirtley F. Mather/ Shirley L. Mason: *A Source Book in Geology*. New York/London 1964 (1939), S. XIII–XXII.
 Leo Bagrow: *Die Geschichte der Geographie*. Berlin 1951, S. 329–371 (I).
 Leo Bagrow/Raleigh Ashlin Skelton: *Meister der Kartographie*. Berlin ⁴1973, Sp. 466–552.

- Hanno Beck: *Geographie. Europäische Entwicklung in Texten und Erläuterungen*. Freiburg/München 1973, S. 480–499.
- John G. Burke: *Origins of the Science of Crystals*. Berkeley/Los Angeles 1966, S. 195–198.
- Thomas W. Freeman/Marguerita Oughton/Philippe Pinchemel (Hrsg.): *Geographers. Bibliographical Studies*. London 1977 (Vol. 1, S. 119–121), 1978 (Vol. 2, S. 143–145), 1979 (Vol. 3, S. 165–167 und 169 f.).
- Hans Harms: *Künstler des Kartenbildes*. Oldenburg 1962, S. 242–246.
- Preston E. James: *All Possible Worlds. A history of geographical ideas*. Indianapolis 1972, S. 583–612.
- Karl Schneider-Carius: *Wetterkunde, Wetterforschung. Geschichte ihrer Probleme und Erkenntnisse in Dokumenten aus drei Jahrtausenden*. Freiburg/München 1955, S. 399–414.

Mathematik

- Eric Temple Bell: *Die großen Mathematiker*. Düsseldorf/Wien 1967, S. 547–552 (G).
- Gerhard Kowalewski: *Große Mathematiker. Eine Wanderung durch die Geschichte der Mathematik vom Altertum bis zur Neuzeit*. München/Berlin 1938, S. 7 f.
- Herbert Westren Turnbull: *The great mathematicians*. New York 1961, S. XV.
- Oskar Becker/Josef Ehrenfried Hofmann: *Geschichte der Mathematik*. Bonn 1951, S. 263–340 (I).
- Oskar Becker: *Grundlagen der Mathematik in geschichtlicher Entwicklung*. Freiburg/München 1954, S. 415–419.
- Joseph Ehrenfried Hofmann: *Geschichte der Mathematik*. Berlin 1953 (Bd. 1, S. 156–198), 1957 (Bd. 2, S. 95–103; Bd. 3, S. 84–98); ²1963 (Bd. 1, S. 192–242).
- Gerhard Kropf: *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*. Mannheim 1969, S. 192–194.
- Kenneth O. May: *Bibliography and Research Manual of the History of Mathematics*. Toronto 1973, S. 47–391.
- Dirk Jan Struik: *A concise history of mathematics*. New York 1948, S. 289–299; *Abriß der Geschichte der Mathematik*. Berlin 1961, S. 220–229; ⁶1976, S. 243–255.
- Heinrich Wieleitner: *Geschichte der Mathematik*. Leipzig 1911 (T. 2, 1. Hälfte, S. 246–261) und Berlin/Leipzig 1921 (T. 2, 2. Hälfte, S. 185–191); Berlin/Leipzig 1922/23 oder Berlin 1939 (Bd. 1, S. 131–135; Bd. 2, S. 147–152).
- Hans Wußing/Wolfgang Arnold: *Biographien bedeutender Mathematiker*. Berlin 1975, S. 521–532.
- Hans Wußing: *Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik*. Berlin 1979, S. 346–365.

Medizin

- Henry Ernest Sigerist: *The Great Doctors. A Biographical History of Medicine*. New York 1958, S. IX–XI; *Große Ärzte*. München ⁵1965, S. 13 f. (G).
- Werner Leibbrand: *Heilkunde. Eine Problemgeschichte der Medizin*. Freiburg/München 1954, S. 414–424 (I).
- Charles Singer/Edgar Ashworth Underwood: *A short history of medicine*. Oxford ¹1962, S. 797–817.

Physik

- Felix Auerbach: *Geschichtstafeln der Physik*. Leipzig 1910, S. 129–133 (G).
- Felix Auerbach: *Entwicklungsgeschichte der modernen Physik, zugleich eine Übersicht ihrer Tatsachen, Gesetze und Theorien*. Berlin 1923, S. 324–327.
- Armin Hermann: *Weltreich der Physik. Von Galilei bis Heisenberg*. Eßlingen am Neckar 1980, S. 371–380 (*primär thematisch und sekundär chronologisch gereiht*).
- Dorothy M. Diamond/Roy Innes: *Three hundred scientists. Part. 3: Physicists*. London 1961, S. 7–90 (H).
- Dorothy M. Diamond/Roy Innes: *Three hundred scientists. Part. 3: Physicists*. London 1961, S. 96–101 (I).
- Armin Hermann: *Große Physiker. Vom Werden des neuen Weltbildes*. Stuttgart 1959, ²1960 (H).
- Andreas Kleinert: *Die allgemeinverständlichen Physikbücher der französischen Aufklärung*. Aarau 1974, S. 183–187 (I).
- Shmuel Sambursky (Hrsg.): *Der Weg der Physik. 2500 Jahre physikalischen Denkens. Texte von Anaximander bis Pauli*. Zürich/München 1975; München 1978, S. 709–718.

Technik

- Hans Straub: Die Geschichte der Bauingenieurkunst. Basel/Stuttgart ³ 1975, S. 300 (G).
 Thomas Kingston Derry/Trevor Illtyd Williams: A short history of technology. Oxford 1960, S. 772–782 (I).
 Herbert Klauser/ Robert Polt: Vom Höhlenmenschen zum Weltraumforscher. München 1959, S. 347–351.
 Charles Singer/ Eric John Holmyard/Alfred Rupert Hall/Trevor Illtyd Williams (Hrsgg.): A history of technology. Oxford 1957 (Bd. 3, S. 723–738), 1958 (Bd. 4, S. 683–701; Bd. 5, S. 849–865).

Entdeckung der Chemischen Elemente

- Am günstigsten ist es, wenn die Elemente in der Reihenfolge ihrer Entdeckung, also *chronologisch*, angeordnet sind:
 Aaron J. Ihde: The Development of modern Chemistry. New York 1964, S. 747–749.
 Emma Pilgrim: Entdeckung der Elemente. Stuttgart 1950, S. 402–404.
 Beeinträchtigte Übersicht durch die *Vermischung mit Lebenszeiten* von Chemikern:
 Mary Elvira Weeks: Discovery of the Elements. Easton ⁵ 1945, S. 552–564; hrsg. von Henry Marshall Leicester, ⁶ 1956, S. 886–898; ⁷ 1968, S. 860–872.
 Anordnung nach der *Ordnungszahl* im Periodensystem:
 Hans Eduard Fierz–David: Die Entwicklungsgeschichte der Chemie. Basel ¹ 1945, S. 393–402; ² 1952, S. 399–410.
 Rudolf Sachtleben/ Armin Hermann: Von der Alchemie zur Großsynthese. Große Chemiker. München ³ 1969, S. 60–67.
 Anordnung nach dem *Alphabet*:
 Viktor Gutmann/Edwin Hengge: Allgemeine und anorganische Chemie. 1971, S. 343–347; ² 1975, S. 379–383.
 Hermann Römpp: Chemie-Lexikon. Stuttgart ¹ 1947/48, S. 1368 f.; ³ 1953, Bd. 2, S. 2083 f.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Franz Stuhlhofer
 Krottenbachstraße 122/20/5
 A–1190 Wien