

---

 ROLAND WAGNER-DÖBLER

## **„Wissenschaftskonjunkturen“ und ihre szientometrische Analyse – mit Beispielen aus Physik und Mathematik des 19. und 20. Jahrhunderts**

### *Dynamische Charakteristik von Forschungsgebieten*

Wie an Janos Wolfs Beispiel der Penicillin-Forschung (in diesem Band) nachzuvollziehen ist, entwickeln sich Forschung und Innovation häufig in Sprüngen. Es geschieht also z.B., dass kontinuierliche Forschungsarbeit im Extremfall sogar über Jahrhunderte hinweg getrieben wird, ohne dass sich eine Lösung oder ein Durchbruch abzeichnet, aber auch ohne dass die Arbeit erkennbar in eine Sackgasse gemündet wäre; oder, dass es kontinuierliche Arbeit an einem Problem gibt und sich ein plötzlicher Durchbruch auftut oder eine Entdeckung, die die Fruchtbarkeit der bisherigen Arbeit erweist und zugleich zu einer Expansion des betreffenden Forschungsgebiets führt; und schließlich, dass eine Entdeckung in einem „leeren“ Umfeld zur Etablierung und Expansion einer neuen Forschungsrichtung führt. Interessanterweise ist nur selten von Fällen die Rede, in denen ein florierender Forschungszeitweig auf *keinen* Durchbruch zurückblicken kann. Erwähnt werden sollte hier, dass insbesondere bei technologischen Forschungsgebieten entscheidende Impulse zur Expansion natürlich auch von außen kommen können.<sup>1</sup>

Typischerweise weist die Wissenschaftsgeschichte und weisen (vor allem retrospektive) Bibliographien diejenigen Forschungsgebiete aus, die auf einen „erfolgreichen“ und damit auch quantitativ in ihrer Literaturproduktion zu Buche schlagenden Verlauf zurückblicken. Damit haben wir gleich das Problem der Identifikation derjenigen Forschungsgebiete angesprochen, die Gegenstand einer szientometrischen Analyse werden sollen.

1 Siehe z.B. die Forschungsexpansion auf dem Gebiet des Alkoholtreibstoffs nach Jahrzehnten geringer Beachtung um 1970 herum. Vgl. S. K. Sen/R. Kundra: Bibliometrics of English language alcohol fuel literature. In: Scientometrics, Vol. 10 (1986), S. 43–54.

Denn bei der szientometrischen Nutzung von Bibliographien oder Literaturdatenbanken ist damit zu rechnen, dass die dort vorzufindenden Klassifikationssysteme eine Ex-post-Sicht der Dinge widerspiegeln. Nur die erfolgreichen Linien der Forschung, die sich – ausweislich zahlreicher Partizipation von Forschern – durchsetzen konnten, führen zu (neuen) Systemstellen einer Klassifikation.

Die angesprochenen Sackgassen verschwinden auf Nimmerwiedersehen. Und obwohl sie offenbar einen integralen Bestandteil der Wissenschaftsentwicklung bilden – nicht umsonst stellen manche Wissenschaftstheoretiker oder -forscher gerade Sackgassen, Irrtümer und Widerlegungen in den Mittelpunkt ihrer Analysen – bilden sie keineswegs einen integralen Bestandteil der Wissenschaftsgeschichtsschreibung, wobei einer der Gründe sicher diese retrospektive Unsichtbarkeit darstellt. Man kann dies an Klassifikationen desselben Gegenstands erkennen, die zu verschiedenen Zeitpunkten geschaffen wurden. Dies gilt auch in einer exakt definierenden Wissenschaft wie der mathematischen Logik, etwa wenn man die von A. Church durchgeführte Klassifikation der Logik aus den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts mit der Klassifikation der großen Omega-Bibliographie der mathematischen Logik aus den achtziger Jahren dieses Jahrhunderts vergleicht, Klassifikationen, die gebietsweise kaum vereinbar sind.<sup>2</sup> Dieser Umstand erschwert natürlich eine bibliometrische, auf Bibliographien und deren Klassifikationen gestützte Analyse und Diagnose, je gegenwartsnäher sie ausfallen sollen, und auch, je stärker solche Analysen unter dem Gesichtspunkt sogenannter „Wissenschaftsprospektion“<sup>3</sup> erfolgen sollen. Ich werde später noch einmal hierauf zurückkommen.

Betrachten wir noch einmal den Fall, dass eine Entdeckung scheinbar vollkommen überraschend geschieht, wie etwa im Fall der Röntgenstrahlung im 19. Jahrhundert oder als Beispiel einer mathematischen „Entdeckung“ die Theorie der fuzzy Mengen in unserem Jahrhundert. Explosionsartiges Interesse wurde beiden Phänomenen binnen kurzer Zeit zuteil, gemessen an der Zahl der hier jeweils erschienenen Publikationen. Auch in diesem „sprunghaften“ Fall bewegt sich die Entdeckung jedoch wie im graduellen Fall in einem Möglichkeitsraum, der, allgemein gesprochen, vom Gesamtzustand der disziplinären Entwicklung abhängt, bestimmt unter anderem durch folgende Faktoren: das technologische Entwicklungsniveau, das einer naturwissenschaftlichen Forschungsrichtung zur

2 Vgl. R. Wagner-Döbler/J. Berg: *Mathematische Logik von 1847 bis zur Gegenwart. Eine bibliometrische Untersuchung* (= Grundlagen der Kommunikation und Kognition). Berlin, New York: de Gruyter 1993.

3 Vgl. Arbeitsgruppe *Prospektion der Forschung: Pilotstudie zu einer Prospektion der Forschung anhand ausgewählter Gebiete*. Köln: Wissenschaftsrat 1998.

Verfügung steht und den Stand der experimentellen Methoden beeinflusst; das Niveau der theoretischen Durchdringung; die Menge der als Probleme erkannten oder formulierten Forschungsfragen; die Menge der als relevant betrachteten Forschungsfragen. Die Fragen, die ich im folgenden behandeln möchte, lauten: 1.) Gibt es allgemeingültige Muster der Dynamik von Forschungsgebieten oder gar ganzen Disziplinen, und zwar über die Beobachtung exponentiellen Wachstums hinausführend?<sup>4</sup> 2.) Welche quantitativen, szientometrischen Ansätze gibt es, entscheidende wissenschaftliche Durchbrüche sichtbar zu machen? Ich werde hierzu vor allem von den Ergebnissen eigener Analysen der Mathematik und Physik des 19. und 20. Jahrhunderts berichten. Im folgenden werde ich dabei einfach unterstellen, dass Zeitreihen sachgerecht klassifizierter Publikationen die Entwicklungsdynamik des betreffenden Forschungsgebiets widerspiegeln. Entscheidend ist nicht dies, sondern die zweite oben formulierte Frage, inwiefern auf dieser Grundlage Hinweise auf wissenschaftliche Durchbrüche zu erhalten sind.

### *Dynamische Charakteristik am Beispiel einer Familie von Forschungsgebieten in der Mathematik*

Jede Wissenschaftsdisziplin besteht aus einer Vielzahl von einzelnen Teilgebieten, auf deren Entwicklung einer der drei oben skizzierten Haupttypen zutrifft (Kontinuität der Forschung ohne Durchbruch, mit Durchbruch, Durchbruch ohne Kontinuität). Welche Gestalt nimmt nun der Entwicklungsverlauf einer größeren zusammengehörigen Gruppe solcher Teilgebiete an, wenn man die Entwicklungskurven der Publikationsaktivitäten all dieser einzelnen Gebiete sozusagen übereinanderlegt? Ich möchte dies am Beispiel der mathematischen Logik prüfen, eines der prosperierendsten Gebiete der modernen Mathematik. Die einschlägige und annähernd vollständige „Omega-Bibliographie zur mathematischen Logik“ weist mehrere zehntausend Publikationen nach, im wesentlichen aus der Sicht der zeitgenössischen, heutigen Logik klassifiziert. Wie bereits gesagt, widerspiegelt dies die retrospektive Sicht der Gewinner konkurrierender Forschungsprogramme, und wir haben es mit überwiegend sehr fruchtbaren Gebieten zu tun, deren Dynamik typischerweise drei Phasen durchläuft: Die anfängliche, nicht expansive Inkubationsphase, die expansive Phase und die Phase der Stagnation

4 Dies ist eine Fragestellung, die durchaus derjenigen H. Smalls ähnelt in seiner Untersuchung „Macro-level changes in the structure of co-citation clusters 1983–1989“ (Scientometrics 26 (1993), S. 5–20) – nur, dass der hier gewählte Untersuchungszeitraum wesentlich umfangreicher ist und Forschungsgebiete anders als bei Small klassifikatorisch identifiziert wurden.

bzw. des Rückgangs. Sehen wir, ob dies auch auf die mathematische Logik zutrifft.

Die Gesamtkurve der jährlichen Publikationen aller über 100 logischen Gebiete zusammengefasst ergibt offensichtlich die drei genannten unterschiedlichen Phasen, wobei eine klassische S-Wachstums-Kurve dem Verlauf nur sehr grob nahe kommt; eher handelt es sich um einen sehr langsam einsetzenden exponentiellen Aufschwung, der (Anfang der 70er Jahre) deutlich abbricht und in Fluktuationen übergeht.<sup>5</sup> Freilich sind auch innerhalb der Logik alle Extreme vertreten: Die friedlich vor sich hindümpelnde Forschung über Zahlentheorie ebenso wie ein abrupter Ausbruch wie etwa bei der Modallogik oder auch fuzzy Logik; letztere entsprang der insgesamt eher stagnierenden Mengentheorie Anfang der siebziger Jahre.<sup>6</sup> Und man kann sagen, dass die mathematische Logik insgesamt wiederum nur ein Beispiel der insbesondere seit dem 19. Jahrhundert exponentiell wachsenden neuzeitlichen Mathematik, und diese wiederum der gesamten Wissenschaft ist, so wie es D. Price herausgestellt und analysiert hat. Dieses exponentielle Wachstum ist bekannterweise ein beherrschender säkularer Trend. Sicherlich aber auch ein Trend mit einer differentiellen Bandbreite an Erscheinungsformen, ganz genauso wie wir es *innerhalb* der Logik beobachten: Von Forschungsrichtungen, die kaum noch Züge exponentiellen Wachstums tragen bis zu Gebieten mit hyperexponentiellem Wachstum. Soweit habe ich Ihnen sicher nichts Neues vorgetragen.

### *Wachstumstrends innerhalb der S-Kurve. Ausgleich der Schwankungen?*

Wir haben uns die Dynamik Hunderter einzelner wissenschaftlicher Forschungsgebiete aus der Logik, Mathematik und Physik von Beginn des 19. Jahrhunderts an einmal genauer angeschaut, um zu prüfen, wie sich ein allgemeiner, übergeordneter Wachstumstrend auf der Ebene einzelner Gebiete auswirkt; ein differentialdiagnostisches Interesse, wenn man so will. Ich komme zu den Methoden dieser Differentialdiagnostik und auf deren Ergebnisse noch zurück.

Was die einzelnen Gebiete der Logik angeht, bei der wir im Moment bleiben wollen, so weisen diese nicht nur unterschiedliche Wachstumstempi auf, sondern auch unterschiedliche Entstehungszeitpunkte.

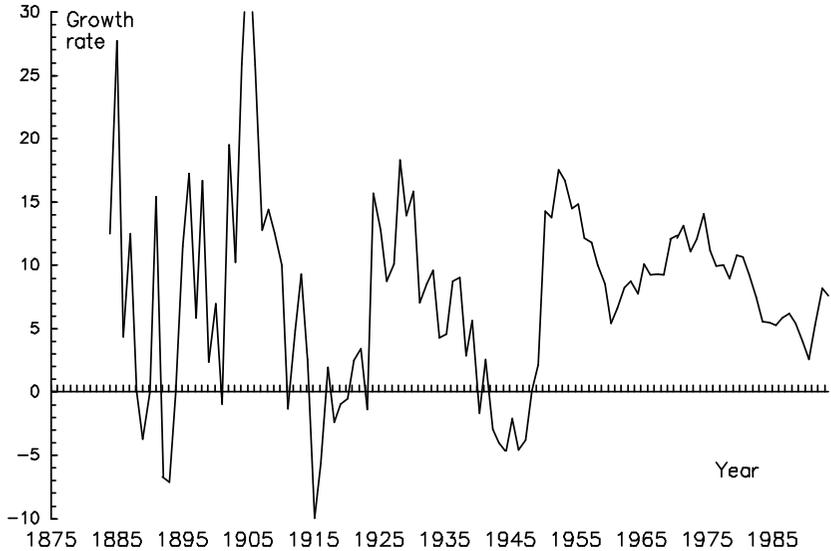
5 Siehe Wagner-Döbler und Berg, a.a.O., S. 64, Abb. 16; in diesem Buch findet sich auch eine ausführliche Darstellung der „Omega-Bibliographie“.

6 Sämtliche Zeitreihen finden sich bei Wagner-Döbler und Berg: Mathematische Logik..., a.a.O.

Man könnte nun meinen, dass, wenn man die Chronologie sämtlicher logischen Teilgebiete zusammenfaßt zur Gesamtchronologie der mathematischen Logik (ich spreche selbstverständlich in diesem Zusammenhang immer nur von quantitativen Gesichtspunkten), sich die auf der Ebene einzelner Untergebiete beobachtbaren Wachstumsschwankungen ausgleichen, dass wir es also dann mit einem kontinuierlichen Wachstum, einer insoweit kontinuierlichen oder zumindest nur stochastisch fluktuierenden Entwicklung zu tun haben.

Bezüglich der technologischen Entwicklung ist dies übrigens eine in der ökonomischen Literatur zu findende Vorstellung: Man konzidiert durchaus, dass technologische Durchbrüche jeweils auf verschiedenen Sektoren der technischen Entwicklung in ungleichmäßiger Form auftauchen, meint aber, dass sie in der Summierung diese Ungleichmäßigkeiten verschwänden bzw. lediglich stochastischer Natur seien. Damit wendet man sich gegen die Gültigkeit der sogenannten „Clusterhypothese“, derzufolge technologische Durchbrüche stets zu bestimmten Zeitpunkten massiert auftauchen. Übertragen auf die Wissenschaftsentwicklung heißt die Clusterhypothese: Wissenschaftliche Ereignisse herausragender Bedeutung treten massiert auf, und zwar unabhängig davon, auf welcher Aggregationsebene man sich bewegt – ob auf der Ebene einzelner Forschungsgebiete oder ganzer Disziplinen, oder sogar auf der Ebene sämtlicher wissenschaftlicher Leistungen.

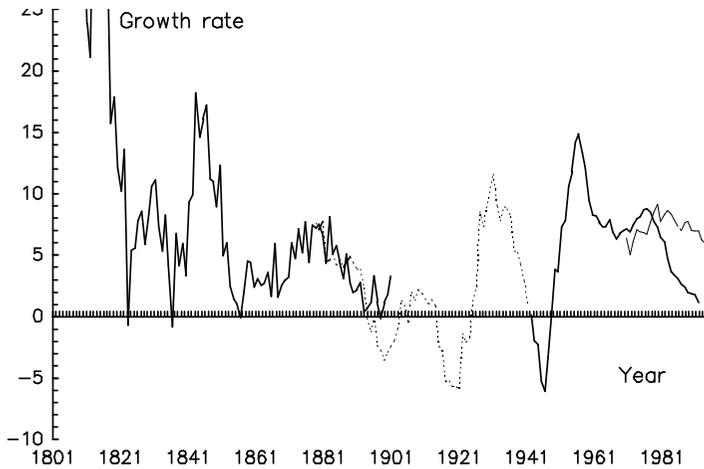
Schauen wir uns nun noch einmal die Dynamik der mathematischen Logik insgesamt von 1875 bis etwa 1990 an, und zwar nun in Form jährlicher prozentualer Wachstumsraten, welche die Schwankungen der Höhe des Wachstums widerspiegeln: Abb. 1 zeigt – im Gegensatz zur „Ausgleichs-Hypothese“ und in Übereinstimmung mit der Cluster-Hypothese – ausgeprägt wellenförmige Wachstumsschwankungen. Würde die Logik mit einer konstanten prozentualen Rate (und damit exponentiell) wachsen, würden die Jahreswerte um eine Regressionsgerade herum streuen, und unter der Annahme, dass exponentielles Wachstum stets einem Ende zustrebt, würde sich die Regressionsgerade nach unten neigen. Ich klammere zunächst einmal die Frage, ob es sich hierbei vielleicht nur um stochastische Schwankungen handelt, völlig aus; fest steht, dass es sich um Wachstumsschwankungen einer Größenordnung handelt, die derjenigen der Wachstumsschwankungen des Sozialprodukts der Industriestaaten ähnelt. Ich sprach im Zusammenhang mit der Clusterhypothese von wissenschaftlichen Durchbrüchen. Was aber haben Schwankungen des Literaturaufkommens der Logik mit Durchbrüchen in der Logik zu tun? Auch diese Frage klammere ich in diesem Moment aus; aber ich werde später einen sehr einfachen Zusammenhang behaupten und empirisch zu belegen versuchen. Der Zusammenhang lautet:



*Abbildung 1:* Prozentuale Wachstumsrate von ca. 55.600 Publikationen auf dem Gebiet der mathematischen Logik, Erscheinungsjahr 1874–1993. Jahreswerte in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten. Eigene Erhebungen in einer elektronischen Version der *W-Bibliography of Mathematical Logic* für die Jahre 1874–1970 und Online-Suchen in Mathematics (Datenbank der *Mathematical Reviews*, host ESA-IRS, für die Erscheinungsjahre 1961–1993). X-Achse: letztes Jahr eines 10-Jahres-Intervalls als Endpunkt. Einzelheiten in Wagner-Döbler: Wachstumszyklen (siehe Fn. 8).

Durchbrüche fallen in der Regel mit Höhepunkten von Wachstumswellen der Literatur zusammen.

Nun ist die mathematische Logik mit ihren über hundert Teilgebieten wiederum, wie schon gesagt, nur ein – wenn auch ein besonders fruchtbares und expansives – Gebiet der Mathematik insgesamt. Zeigt sich vielleicht auf der Ebene der gesamten Welt-Mathematik ein Ausgleich der Pulsationen ihrer rund 30–40 größeren Unterdisziplinen, von denen eine die mathematische Logik ist? Um eine empirische Antwort auf diese Frage zu erhalten – in Form einer Zeitreihe der Aktivitäten der Welt-Mathematik – betrieben wir beträchtlichen Aufwand; schließlich existieren Datenbanken der mathematischen Literatur erst für



*Abbildung 2:* Jährliche Wachstumsraten (in Prozent; gleitende 10-Jahres-Intervalle) von ungefähr 1,9 Mio. Veröffentlichungen der Mathematik, 1800-1993. Eigene Erhebungen in *Catalogue of Scientific Papers* (Subject Index 1800–1900, vol. 1: Mathematics, Cambridge 1908); Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik (Wachstumsraten von Abstract-Seiten, 1868–1941; jeder Band bezieht sich auf mathematische Erscheinungen eines Jahres; Compact-MATH CD-ROM (Datenbank von *Zentralblatt für Mathematik/ Mathematics Abstracts*, vols. 1-812, 1931–1995); Datenbank *Mathematics* (1959–1993). X-Achse: letztes Jahr eines 10-Jahres-Intervalls als Endpunkt. Aus: Wagner-Döbler: *Wachstumszyklen* (siehe Fn. 8), S. 140.

die Zeit ab etwa 1930.<sup>7</sup> Für die Zeit davor sind gedruckte Bibliographien statistisch auszuwerten.

Wie Abb. 2 zeigt, welche die prozentualen Wachstumsraten von insgesamt rund 2 Mio. mathematischen Publikationen von 1800 bis zur Gegenwart in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten verkörpert, ist dies keineswegs der Fall. Vielmehr sehen wir ebenso ausgeprägte Wachstumsschwankungen wie bei der Logik. Und: Die Wachstumsschwankungen der mathematischen Logik verlaufen im großen

7 Seit kurzem existiert eine digitalisierte Probeversion des „Jahrbuchs über die Fortschritte der Mathematik“, das von 1868 bis 1943 erschien; im Internet zugänglich unter der URL <http://www.emis.de/MATH/JFM/JFM.html>.

und ganzen isochron zu den Wachstumsschwankungen der gesamten Weltmathematik, d.h. im selben zeitlichen Muster. Um dies besser erkennbar zu machen, braucht man Abb. 1 und Abb. 2 nur maßstabsgerecht übereinanderzulegen.

Das Ergebnis widerspricht diametral der These vom Ausgleich unterschiedlicher Fluktuationen der Aktivitäten auf der subdisziplinären Ebene auf der Ebene der Gesamtdisziplin.

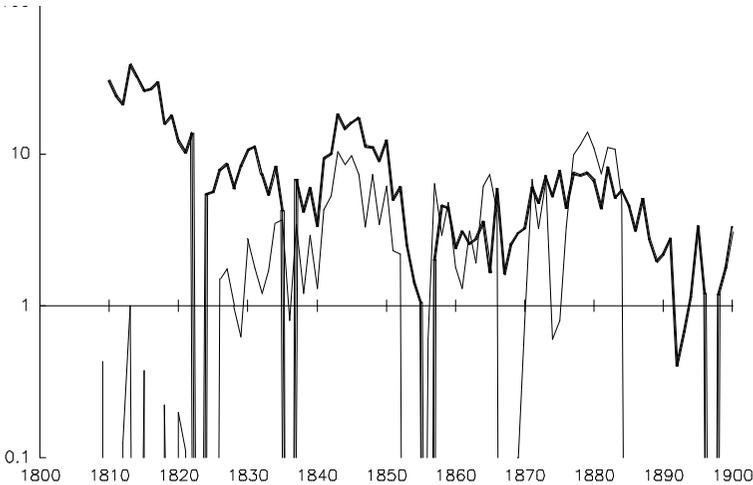
Die Graphiken zeigen Wachstumsraten in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten. Man meint, typische Schwankungslängen von 20 bis 25 Jahren erkennen zu können. Die visuelle Interpretation solcher Graphiken ist dabei nur ein erster Schritt, bei dem die Filtereffekte gleitender Mittelwerte zu beachten sind. Ich werde aus Zeitgründen die Thematik der Zeitreihenanalyse hier völlig ausklammern und beschränke mich auf den Hinweis, dass typische Frequenzspektren der Wachstumszyklen wissenschaftlicher oder technologischer Forschungsgebiete immer wieder Werte ergeben, die zu Zyklen von etwa 10, 20 bis 30 und 50 Jahren Dauer gehören.<sup>8</sup>

### *Zeitliche Verteilung entscheidender Entwicklungsimpulse*

Bisher habe ich lediglich darüber gesprochen, was die Analyse der Dynamik veröffentlichter Kommunikation ergibt. Was hat dies mit wissenschaftlichen – oder auch technologischen – Durchbrüchen zu tun, auf die sich die Cluster-Hypothese schließlich und endlich bezieht und von denen ja eingangs die Rede war? Wenn ein Forschungsfeld expandiert, lassen sich gewöhnlich einzelne Arbeiten identifizieren, die Ausgangspunkt für eine solche fruchtbare Entwicklung bildeten. In der Logik (bis Anfang der 30er Jahre unseres Jahrhunderts) sind es etwa die Arbeiten von Boole, de Morgan, Frege, Zermelo, Hilbert, Brouwer, Russell, Gödel und anderen. Sie alle haben der Logik entscheidende Impulse verliehen. Betrachten wir ihre zeitliche Verteilung, fällt folgendes auf: Eine große Anzahl dieser Arbeiten erschien offenbar gerade dann, wenn die Wachstumsraten der gesamten publizistischen Aktivitäten einen Höhepunkt erreichten, auf dem Gipfel von Wachstumswellen. Und dies entspricht dem oben angedeuteten Postulat der Korrelation zwischen fundamentalen und Routine-Leistungen, ein Postulat, das ich hier nicht weiter belege.<sup>9</sup> Ich habe unlängst einen weiteren, in dieser Form neuartigen Beleg eines Zusammenhangs zwischen dem Gesamtstrom

8 Näheres bei Wagner-Döbler: Wachstumszyklen technisch-wissenschaftlicher Kreativität. Eine quantitative Studie unter besonderer Beachtung der Mathematik. Frankfurt/M., New York: Campus-Verl. 1997.

9 Siehe Wagner-Döbler: Wachstumszyklen..., a.a.O.



*Abbildung 3:* Zahl der insgesamt etwa 6.000 neuen mathematischen Resultate, Formeln und Theoreme 1800 bis 1885. Differenzkurve in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten (dünne Linie). Statistische Auswertung von G. S. Carr: *Formulas and Theorems in Pure Mathematics*, 2nd ed., Chelsea, New York, N.Y., 1970. Zuerst 1886 u.d.T.: Carr, *A Synopsis of Elementary Results in Pure Mathematics* (nähere Angaben zu dieser Auswertung in Wagner-Döbler: *Rescher's principle of diminishing marginal returns of scientific research*, eingereicht in: *Scientometrics*, 1999). Zum Vergleich die Wachstumsraten der mathematischen Zeitschriftenliteratur 1800–1900 (vgl. auch oben Abb. 2); fette Linie. Die Y-Achse im logarithmischen Maßstab zum besseren Vergleich der Wachstumsschwankungen.

publizistischer Aktivitäten und herausgehobenen Errungenschaften gefunden – wieder auf dem Gebiet der Mathematik, die sich wegen präziserer Maßstäbe für „Neues“ besonders gut für derartige Untersuchungen eignet: Und zwar habe ich die zeitliche Verteilung von rund 6000 in der Mathematik des 19. Jahrhunderts gefundenen Formeln und Theoremen mit den Wachstumsschwankungen der mathematischen Weltliteratur verglichen, und das Ergebnis ist: Es herrscht eine offensichtliche direkte Korrelation der in beiden Fällen zu beobachtenden Schwankungen vor (Abb. 3).

Es gibt hierbei eine unmittelbare Brücke zu einem der Hauptbegriffe dieser Tagung, Innovation: Da fundamentale wissenschaftliche Errungenschaften fast immer auch mit der Entstehung des Neuen zu tun haben, sind es offensichtlich auch die Innovationen – wohlgermerkt hier in einem weiten, unspezifischen Sinn als Neuschöpfung aufgefasst – die der von mir beschriebenen Rhythmik ausgesetzt sind.

Ich will an dieser Stelle meine bisherigen Überlegungen zusammenfassen. Ich habe auf den typischen Entwicklungsverlauf fruchtbarer Forschungsgebiete hingewiesen, der in stark stilisierter Form einer S-Kurve ähnelt, wenn man jährliche Publikationszahlen heranzieht. Dies ist auf einer mikroskopischen Ebene von Forschungsgebieten ebenso beobachtbar wie auf einer makroskopischen Ebene ganzer Disziplinen. Bei näherer Betrachtung der Dynamik im Spiegel jährlicher Wachstumsraten stellt sich allerdings heraus, dass diese nicht konstant sind, sondern mehr oder weniger ausgeprägten, mehr oder weniger zyklischen Schwankungen unterliegen. Man könnte dies auch so ausdrücken: Der großräumige, säkulare exponentielle Wachstumstrend ist von einzelnen kleinräumigen Fluktuationen unterlegt, die nicht regellos sind, sondern zum Gleichklang tendieren.

Es sind solche Fluktuationen, Wachstumsschwankungen auf einer nicht zu groben Zeitskala, die von Ökonomen gelegentlich als Konjunkturzyklen bezeichnet werden.

### *Die Analyse von Wissenschaftskonjunkturen*

Es war meines Wissens der Wissenschaftsforscher A. Zloczower, der als erster von „Wissenschaftskonjunkturen“ oder genauer von „Konjunktur in der Forschung“ sprach.<sup>10</sup> Die plötzliche Beliebtheit eines Forschungsthemas – ein Thema, das „Konjunktur“ hat, wie man ja auch sagt – wird oft als Mode bezeichnet. Dies insbesondere, wenn man damit zugleich ein Werturteil über die Fruchtbarkeit der Bemühungen fällen möchte, und zwar ein eher negatives. Eine Wissenschaftskonjunkturwelle als reine Modeerscheinung abzutun, hat aber wohl stets vorläufigen Charakter: Als wie fruchtbar sich die Ergebnisse einer „Mode“ in historischer Perspektive darstellen, bleibt dem zeitgenössischen Betrachter wohl meist verborgen. Und weil, wie bereits gesagt, Wissenschaftsgeschichten und Bibliographien die „Gewinner“ bevorzugen, ist es auch gar nicht einfach,

10 A. Zloczower: Konjunktur in der Forschung. In: F. R. Pfetsch, A. Zloczower: Innovation und Widerstände in der Wissenschaft. Beiträge zur Geschichte d. dt. Medizin. Düsseldorf: Bertelsmann Univ.-Verl. 1973.

„Moden“ – also wissenschaftlich eher erfolglose und schnell verschwindende Arbeitsrichtungen und Themen – retrospektiv zu identifizieren.

Zumindest für diejenigen, die die Existenz von Modeströmungen in der Wissenschaft für eine Realität halten, mag es von Interesse sein, dass zwei Mitarbeiter des Instituts für Weltwirtschaft in Kiel potentiell chaotisches Verhalten einfacher Modelle von „Moden“ nachgewiesen haben. Dies sei jedoch nur am Rande vermerkt.<sup>11</sup>

Bis hierher haben wir bei unseren „Konjunkturanalysen“, wenn ich die Analyse der Wissenschaftsdynamik einmal so nennen darf, einfache deskriptive Indikatoren bemüht, nämlich die jährliche Zahl der Publikationen bzw. deren Wachstum. Gibt es weitere Indikatoren, insbesondere strukturelle Indikatoren, die uns mehr über die wissenschaftliche Fruchtbarkeit eines Gebietes sagen oder sogar dazu beitragen, einen wissenschaftlichen Durchbruch zu identifizieren? Es gibt sie, und um dies zu erkennen, braucht man sich nur in der Ökonomie umzuschauen. Ein charakteristisches Merkmal der Angebots- und Nachfragestruktur auf Märkten, aber auch von Kommunikationsnetzwerken ist beispielsweise die Verteilung von Ressourcen oder die Verteilung der Häufigkeit, mit der Teilnehmer eines Netzwerks ihre Chancen sich zu äußern nutzen. Solche Verteilungen können vollkommen symmetrisch sein, sie können aber auch sehr ungleich sein. Bekanntlich hat A. J. Lotka die Ungleichheit der Verteilung der Partizipationsintensität in der Wissenschaft demonstriert, zumindest insoweit sie sich in Publikationen oder Entdeckungen manifestiert, eine Regularität, die seitdem immer wieder bestätigt wurde. Sie ist jedoch ein Charakteristikum der Partizipationsstruktur von Forschungsgebieten und nicht etwa ein Maß der Verteilung wissenschaftlicher Fähigkeiten von Individuen, eher ein Maß der Allokation solcher Fähigkeiten. Darauf deutet verschiedenes hin, beispielsweise die Tatsache, dass die Verteilung der Beitragsintensität von dauerhaft wissenschaftlich Tätigen alles andere als „Lotka“-verteilt ist.<sup>12</sup> Es liegt fast auf der Hand: Diese Partizipationsstruktur kennzeichnet die oben skizzierten Entwicklungsphasen von Forschungsgebieten, genauer: die Entwicklungszyklen von For-

11 Siehe B. Hofman/M. Rauscher: Complex dynamics in fashion life cycles. Kiel: Institute of World Economics 1991; M. Rauscher: Keeping up with the Joneses. Chaotic patterns in a status game. *Economic Letters*, Vol. 40 (1992), S. 287–290.

12 R. Wagner-Döbler: Where has the cumulative advantage gone? Some observations about the frequency distribution of scientific productivity, of duration of scientific participation, and of speed of publication. In: *Scientometrics*, Vol. 32 (1995), S. 123–132. B. M. Gupta/C. R. Karisiddappa: Productivity of authors as reflected by duration of their scientific participation and speed of publication. In: *Scientometrics*, Vol. 39 (1997), S. 281–291.

schungsgebieten, denn diese können ja mehrere Wachstumszyklen hintereinander erleben.

### *Sechs Anwendungsfälle aus der Geschichte der Logik und Physik*

Im folgenden möchte ich exemplarisch sechs Gebiete einer „Konjunkturanalyse“ bezüglich ihrer Partizipationsstruktur unterziehen: Drei Gebiete kommen aus der Physik des 19. Jahrhunderts – ein Jahrhundert, in dem der Physik nicht nur zahlreiche Durchbrüche gelangen, sondern in dem auch die Grundlagen für die wichtigsten physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts gelegt wurden; drei Gebiete kommen aus der mathematischen Logik, die in den letzten 100 Jahren aus ihrem aristotelischen Dornröschenschlaf erwachte und sich zu einem sogar technologisch – nämlich in der Computerforschung – bedeutenden Zweig der modernen Mathematik entwickelte. Ich ziehe hier die Physik des 19. Jahrhunderts heran, um die Angemessenheit szientometrischer Methoden auch angesichts historischen Materials zu testen bzw. zu demonstrieren. Die Daten zur Physik des 19. Jahrhunderts beruhen auf der Auswertung des „Catalogue of Scientific Papers 1800–1900“, der zur Physik rund 75.000 Publikationen verzeichnet.<sup>13</sup>

Um die Partizipationsstruktur im Zeitablauf zu kennzeichnen, werden gleitende 10-Jahres-Mittelwerte der jährlichen Publikationen gebildet. Von diesen 10-Jahres-Intervallen wird der Lotka-Exponent bzw. der Gini-Index (in Form einer Treppenfunktion<sup>14</sup>) berechnet; der Lotka-Exponent kennzeichnet bekanntlich die Stärke einer Konzentration. Als Konzentrations-Index *rho* bezeichnen wir dabei den Kehrwert des Lotka-Exponenten,<sup>15</sup> so dass analog zum Gini-Index ein niedriger Wert niedrige Konzentration und ein hoher Wert hohe Konzentration anzeigt. Wir haben festgestellt, dass beide Werte in überraschend konformer Weise Konzentrations-Trends anzeigen. In den folgenden graphischen Darstellungen wird *rho* stets durch zwei dividiert, was, wie die Erfahrung zeigte, meist zu einer ungefähren numerischen Annäherung beider Konzentrationsindizes führt. *Rho* ist nicht ganz unabhängig von der Anzahl der Quellen oder Teilnehmer, während der Gini-Index, der normiert ist und ausschließlich Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann, davon unabhängig ist. Dass wir häufig diese zwei völlig unterschiedlich konzipierten Indizes benutzen, liegt in der Möglich-

13 R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics. A quantitative outline. In: *Scientometrics*, Vol. 47 (forthcoming).

14 Siehe Wagner-Döbler: *Wachstumszyklen...*, a.a.O.

15 J. Berg/R. Wagner-Döbler: A multidimensional analysis of scientific dynamics. Part 1. Case studies of mathematical logic in the 20th century. In: *Scientometrics*, Vol. 35 (1996), S. 321–346.

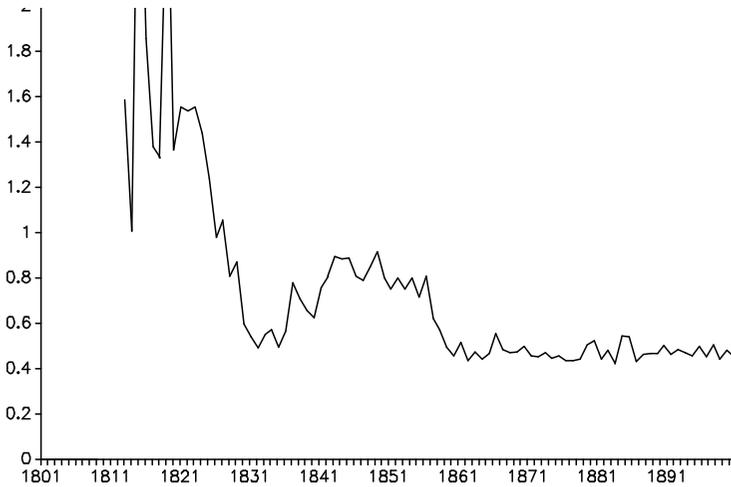
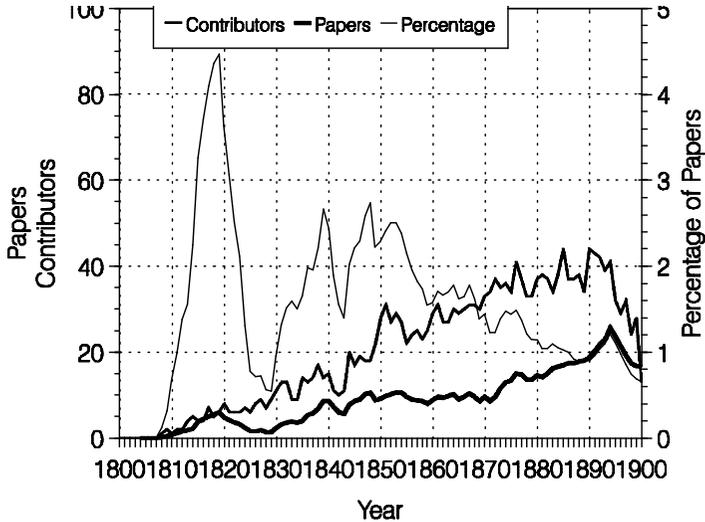


Abbildung 4: Forschungen auf dem Gebiet der Polarisation des Lichts (gemäß *Royal Catalogue*, Subject Index, Physics, 4000–4050). Konzentrations-Index  $\rho$  von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Zeitschriftenpublikationen 1801–1900. Für diese und sämtliche folgenden Graphiken gilt: Erhebungen und Berechnungen von Jan Berg und mir (dabei  $\rho$  stets von J.B., Gini-Index stets von R. W.-D.); Jahre der X-Achse sind stets Endpunkte der 10-Jahres-Intervalle.

keit zum Vergleich, hat aber auch einen weiteren Hintergrund: Jan Berg bevorzugt die Berechnung von  $\rho$ , weil davon andere, von uns für wichtig erachtete Begriffe wie z.B. das „Elite-Limit“ sowie das „Momentum“ einer Verteilung abhängen, während ich in gewissen Fällen aus pragmatischen Gründen die Berechnung des Gini-Index bevorzuge.<sup>16</sup> Ungewöhnlich an unserer Vorgehensweise ist sicher die Tatsache, dass wir Konzentrationsmessungen der anfänglich sehr geringen Forscherzahl zum Trotz schon im embryonalen Stadium eines neuen Gebiets durchführen.

Beginnen wir mit der physikalischen Erforschung der Polarisation des Lichts (Klassifikationscode im „Catalogue“: 4000–4050), einem wichtigen Gebiet der

16 Zu den Begriffen „Elite-Limit“ und „Momentum“ siehe J. Berg/R. Wagner-Döbler: A multidimensional analysis..., a.a.O. Beabsichtigt man eine informationstheoretische Interpretation der Verteilungen, lässt sich auch deren Entropie berechnen, die dann ebenfalls wie  $\rho$  nicht von der Zahl der Quellen unabhängig ist. Vgl. H. Grupp: Messung und Erklärung des Technischen Wandels. Grundzüge einer empir. Innovationsökonomik. Berlin (u.a.): Springer 1997, S. 234f.



*Abbildung 5:* Physik 1800-1900, Klassifikationscode 4000–4050: Polarisation. Anteil am Gesamtgebiet, Zahl der Artikel (in gleitenden 5-Jahres-Mittelwerten); jährliche Zahl der aktiv Beitragenden. Als aktiv beiträgend bezeichnen wir einen Forscher im Zeitraum vom Jahr der ersten bis einschließlich zum Jahr seiner letzten Publikation, unabhängig vom Ausmaß seiner Aktivität zwischen diesen beiden Jahren. Aus: R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics, a.a.O., Appendix, Fig. 18.

Physik des 19. Jahrhunderts. Höhepunkt der Konzentration der Partizipationsstruktur auf diesem Gebiet lag während bzw. kurz nach den Arbeiten von Thomas Young und É. L. Malus (der den Begriff Polarisation schuf) zu Beginn des 19. Jahrhunderts (siehe Abb. 4).<sup>17</sup>

Zurück zur Polarisation. In der Tat kam es nach längerer Stagnation, ja Rückschritten Anfang des 19. Jahrhunderts<sup>18</sup> zu einem wegweisenden Durchbruch,

17 Bei Datierungen, die ich im folgenden vornehme, muss man darauf achten, dass die Publikationsanteile überwiegend in gleitenden 5-Jahres-Mittelwerten dargestellt werden, während die Konzentrationsindizes sich auf 10-Jahres-Werte beziehen; nennenswerte Effekte auf die Hauptaussagen hat dies nicht. Grund für die unterschiedliche Darstellungsweise ist, dass ich die Abbildungen heterogen gestalteten Materialsammlungen entnehmen musste.

18 Vgl. K. Simonyi: Kulturgeschichte der Physik von den Anfängen bis 1990. 2., durchges. u. erg. Aufl. Thun, Frankfurt a.M.: Deutsch 1995, S. 350.



Abb. 6. Forschungen auf dem Gebiet der Interferenz des Lichts (*Royal Catalogue, Subject Index, Physics, 3600–3650*). Konzentrations-Index rho von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Zeitschriftenpublikationen 1800–1900.

der von der Korpuskulartheorie – die ja immerhin damals Autoritäten wie Newton hinter sich sah – zur Wellentheorie des Lichts führte.<sup>19</sup> Niemals war der Anteil der Publikationen auf diesem Gebiet an der gesamten Physik größer als in der Zeit zwischen 1810 und 1825 (siehe Abb. 5). Interessanterweise, vielleicht auch kurioserweise führt die Publikationsliste des Jahrhunderts auf diesem Gebiet der französische Physiker J. Biot an, der bis zu seinem Tod 1862 die neue, sich als richtig erweisende Wellentheorie des Lichts heftig bekämpfte.

Auch auf dem Gebiet der Interferenz des Lichts (3600–3650) ist ein Höhepunkt der Konzentration bald nach der Wende zum 19. Jh. festzustellen (Abb. 6). Und in der Tat war 1801 das Jahr, in dem Thomas Young die Interferenz des Lichts entdeckte, was auf seine Wellennatur hinwies; auch die fundamentalen Arbeiten von Jean Augustin Fresnel aus dieser Zeit wären hier zu nennen. Die Literaturliste des 19. Jahrhunderts auf diesem Gebiet wird übrigens von D. Brewster angeführt; auch er trug damals Grundlegendes bei, gefolgt von Lord Rayleigh. Was den Anteil der Publikationen an allen Publikationen der Physik des 19. Jahrhunderts angeht, so gilt das oben für die Polarisation Gesagte: Wieder

19 Simonyi, ebd.

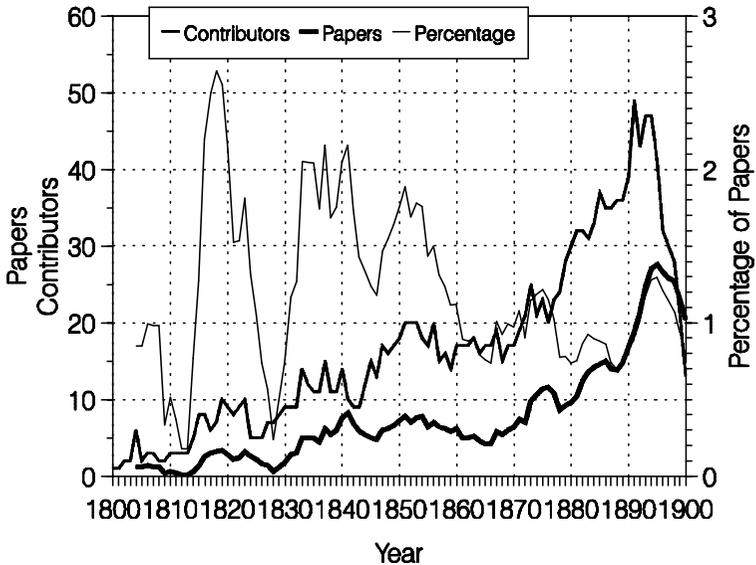


Abbildung 7: Physik 1800-1900, Klassifikationscode 3600–3650: Interferenz und Diffraction. Anteil am Gesamtgebiet, Zahl der Artikel (in gleitenden 5-Jahres-Mittelwerten); jährliche Zahl der aktiv Beitragenden. Aus: R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics, a.a.O., Appendix, Fig. 16.

erreicht der Anteil etwa von 1810 bis 1820 einen nie wieder erreichten Gipfel. Wie im Fall der Polarisation des Lichts erhielt dieses Gebiet in diesen Jahren seine entscheidenden Impulse (Abb. 7).

Aufschlussreich ist auch die Entwicklung auf dem Gebiet der Thermodynamik (2400–2495). Hier sehen wir – von mehr oder weniger ausgeprägten Fluktuationen abgesehen – einen deutlich ansteigenden Trend der Konzentration von Beginn des 19. Jahrhunderts an bis zu einem Höhepunkt etwa um 1850 bis 1865 (Abb. 8). Insgesamt bewegt sich die Konzentration aber auf einem deutlich niedrigeren Niveau als in den bisherigen Beispielen. Nichtsdestoweniger waren genau dies die goldenen Jahre der Thermodynamik, in denen R. Clausius (in den Annalen der Physik) seine bahnbrechende Arbeit „Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen“ veröffentlichte, William Thomson (der spätere Lord Kelvin) seine gerühmten und bewunderten Arbeiten zur Thermodynamik in der Monographie „On the dynamical theory of heat“ (1851) zusammenfasste, und L. Boltzmann und Clausius die Mathematisierung des Entropiebegriffs und die For-

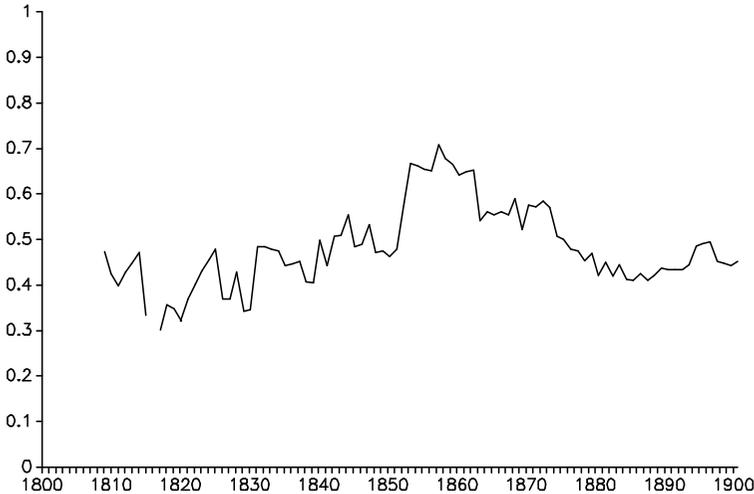


Abbildung 8: Forschungen auf dem Gebiet der Thermodynamik (*Royal Catalogue*, Subject Index, Physics, 2400–2495). Konzentrations-Index rho von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Zeitschriftenpublikationen 1800–1900.

mulierung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik gelangen (um 1865 herum). Auch aus dem Verlauf der Konzentrationskurve würde man schließen, dass in diesen Jahren die Thermodynamik einen zumindest in diesem Jahrhundert nicht wieder erreichten Höhepunkt erlangt hatte. Die Liste der in Zeitschriften Meistpublizierenden des Jahrhunderts auf diesem Gebiet wird übrigens von Clausius angeführt, gefolgt von W. J. M. Rankine (auch er spielte eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Thermodynamik), Lord Kelvin, P. Duhem, Boltzmann und J. P. Joule, auch die bisher noch nicht Erwähnten wahrlich keine unbekanntenen Namen. Auch in den Publikationsanteilen dieses Gebiets an der Gesamtphysik widerspiegelt sich die Entwicklung: Niemals im 19. Jahrhundert dominierten die Publikationen dieses Gebiets die Physik mehr als etwa von 1850 bis 1865 (Abb. 9).

Nun zu den drei Gebieten der mathematischen Logik des 19. bzw. 20. Jahrhunderts (letztes einbezogenes Intervall: 1976 bis 1985):

Der Anteil des Gebiets der Unentscheidbarkeit (Klassifikationscode D35) weist von einem einsamen ersten Höhepunkt um die Jahrhundertwende herum einen (fluktuierenden) Aufwärtstrend auf, der um 1940 herum kulminiert, also einige Jahre nach der berühmten Arbeit Gödels „Über formal unentscheidbare Sätze“ aus dem Jahre 1931.<sup>20</sup> Der Gini-Index zeigt einen Gipfel erst um 1950,

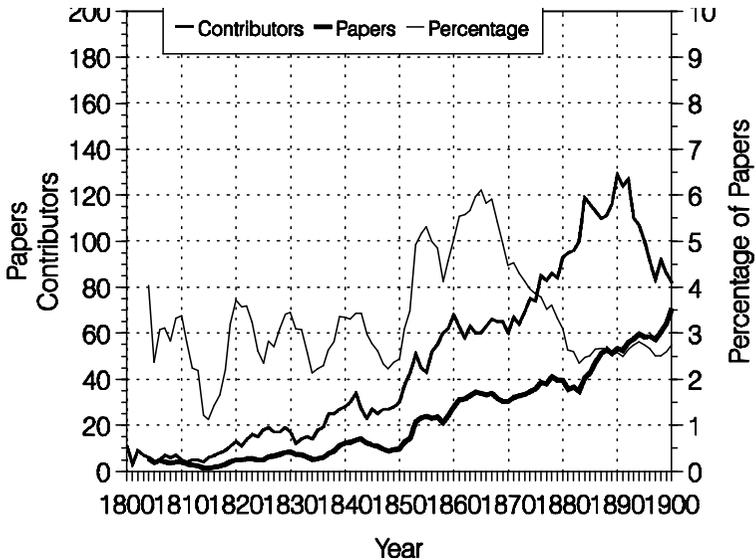


Abbildung 9: Physik 1800–1900, Klassifikationscode 2400–2495: Thermodynamik. Anteil am Gesamtgebiet, Zahl der Artikel und Zahl der aktiv Beitragenden in gleitenden 5[?]-Jahres-Mittelwerten. Aus: R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics, a.a.O., Appendix, Fig. 9.

daneben jedoch auch einen Gipfel kurz vor 1930 (Abb. 10). Die folgende Entwicklung zeigt, dass der Kulminationspunkt um 1950 herum unerreicht bleibt. Interessant bei diesem Beispiel ist, dass die Konzentration zu einem Zeitpunkt kulminiert, wo der Anteil der Publikationen auf diesem Gebiet an sämtlichen logischen Publikationen ein Tief erreicht, also um 1950 herum.<sup>21</sup> Die hohe Konzentration trotz geringen Anteils würde ich als Indiz dafür werten, dass trotz vergleichsweise eher geringer Publikationsaktivitäten auf diesem Gebiet in dieser Zeit Wichtiges passiert oder, etwas vorsichtiger, dass ein harter Kern von Forschern dieses Gebiet trotz möglicherweise kriegsbedingter Rückschläge voranbrachte.

Die konstruktive und intuitionistische Mathematik (F55) verdankt ihre Ausarbeitung vor allem dem Wirken L. E. J. Brouwers in der ersten Hälfte

20 R. Wagner-Döbler/J. Berg: Mathematische Logik..., a.a.O., S. 216.

21 R. Wagner-Döbler/J. Berg: Mathematische Logik..., a.a.O., S. 216 u.

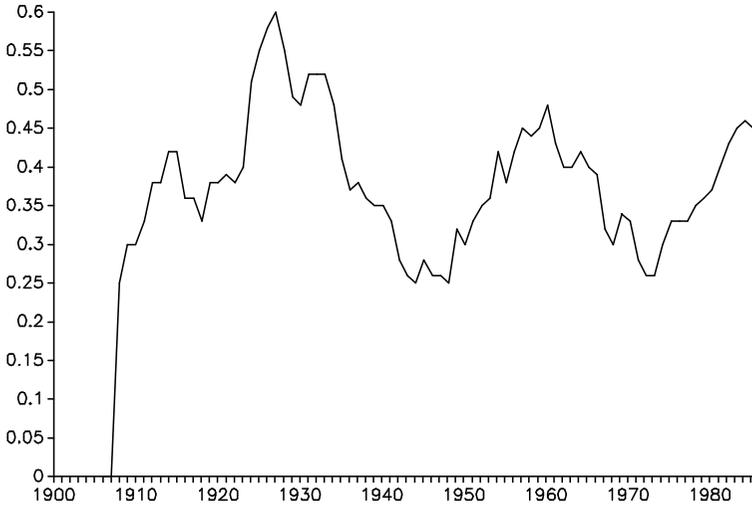


Abbildung 10: Forschungen auf dem Gebiet der Unentscheidbarkeit (Omega-Bibliographie, D35). Gini-Index von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Publikationen 1900–1985.

unseres Jahrhunderts. Der Gini-Index zeigt einen nicht mehr erreichten Höhepunkt der Konzentration um 1920 (im 10-Jahres-Intervall, das kurz nach 1915 beginnt; siehe Abb. 11), während die Kurve der Publikationsanteile erst ein Jahrzehnt später ihrem – auch in diesem Fall nicht mehr erreichten – Höhepunkt zustrebt (wenn man von einem „vorzeitigen“ früheren Ausbruch im 19. Jahrhundert absieht).<sup>22</sup> Obwohl der Publikationsanteil dann stark zurückfällt und die Zahl der überhaupt auf diesem Feld Aktiven sehr gering ist, weisen die Werte des Gini-Index auch nach der frühen Blütezeit mit einem Wert über 0,40 wenigstens zeitweise hohe Werte auf. Es ist schwierig zu entscheiden, ob dies als die Aktivitäten einer kleinen Kerngruppe in einem schrumpfenden Feld zu bewerten ist oder als – z.B. von S. C. Kleene angestoßene – Renaissance dieses für die Computerforschung ja nicht unbedeutenden Zweigs der mathematischen Logik. Für eine szientometrische Analyse wäre die Anwendung weiterer Indikatoren wünschenswert.<sup>23</sup>

22 Wagner-Döbler und Berg: *Mathematische Logik...*, a.a.O., S. 239.

23 Weitere Indikatoren werden entwickelt in J. Berg/R. Wagner-Döbler: *A multidimensional analysis...*, a.a.O.



*Abbildung 11:* Forschungen auf dem Gebiet der konstruktiven und intuitionistischen Mathematik (Omega-Bibliographie, F55). Gini-Index von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Publikationen 1900–1985.

Dem Gebiet der kategorialen Logik (G30) wird von führenden Logikern eine fruchtbare Zukunft vorausgesagt.<sup>24</sup> Wir betrachten die Gini-Werte in Abb. 12. Letztere zeigen einen – von Fluktuationen abgesehen – ununterbrochenen Aufwärtstrend an, wenn auch hier bei insgesamt niedrigem Niveau der Konzentration. Beide Indizes deuten auf einen ersten Höhepunkt im 10-Jahres-Intervall hin, das 1955 beginnt. Der Aufwärtstrend entspricht der lebhaften Entwicklung dieses Gebiets auch nach 1985, dem letzten Erhebungsjahr unserer Analyse.<sup>25</sup>

### *Eine Beobachtung zur Frühphase neuer Forschungsgebiete*

Ich möchte nun auf die wohl wichtigste Phase in der Entwicklung neuer Forschungsgebiete zu sprechen kommen, nämlich auf die für die „Entstehung des Neuen“ so wichtigen ersten Jahre einer neuen Idee. Im Mittelpunkt hier steht die Konzentration in den ersten 5 Jahren der insgesamt 113 Gebiete der mathematischen Logik (gemäß Omega-Bibliographie; bei dieser Auswertung habe ich ausschließlich Zeitschriftenpublikationen berücksichtigt). Ich habe sie mit Hilfe des

24 Vgl. J. Berg/R. Wagner-Döbler: A multidimensional analysis..., S. 339.

25 Vgl. J. Berg/R. Wagner-Döbler, ebd.

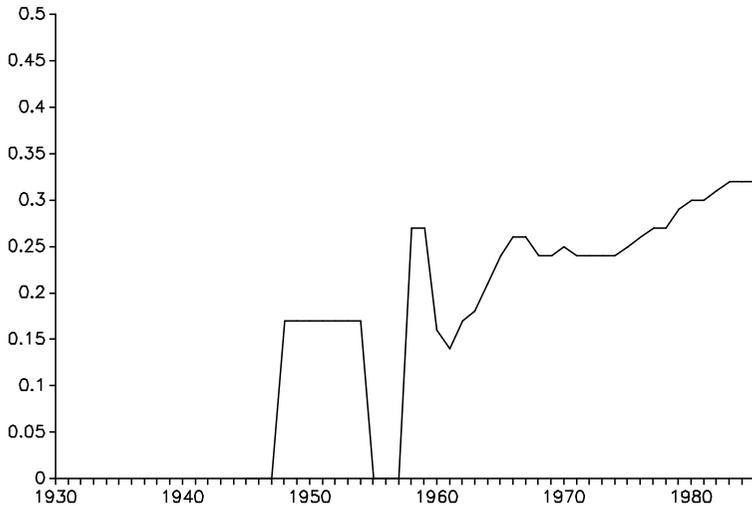


Abbildung 12: Forschungen auf dem Gebiet der kategorialen Logik (Omega-Bibliographie, G30). Gini-Index von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Publikationen 1930–1985.

Gini-Index berechnet: Die durchschnittliche Konzentration beträgt nur 0,06. 81 Gebiete weisen dabei eine Konzentration mit dem Wert Null auf, d.h. es herrscht vollständige Gleichheit im logischen Garten Eden, unter Einschluss des Falles, dass nur ein einziger Autor publizierte; nur zwei Gebiete überschreiten den Wert 0,3.

Dies ändert sich auch nicht nennenswert, wenn man eine Auswahl der rund 60 aus heutiger Sicht bedeutendsten Gebiete der Logik heranzieht:<sup>26</sup> Die durchschnittliche Konzentration beträgt hier lediglich 0,05.

Angesichts dieser Lage nimmt es nicht wunder, dass in den Anfangsphasen zahlreicher logischer Gebiete die Aktivitäten zeitweise vollständig zum Erliegen kommen. Da wir es hier mit letzten Endes doch erfolgreichen Gebieten zu tun haben, kann man hier nur darüber spekulieren, wieviele in ihrer Entstehungsphase nur schwach sichtbaren und nun wohl vollkommenen vergessenen Ansätze auf Nimmerwiedersehen vom Erdboden verschwanden.

Bis zur Wende zum 20. Jahrhundert weist die Omega-Bibliographie (d.h. von 1874 bis 1900) 79 Publikationen nach. In dieser Zeit entstanden – ausweislich der Omega-Bibliographie – nicht weniger als 31 der 113 insgesamt verzeichneten

26 Eine Aufstellung dieser Gebiete bei Wagner-Döbler/Berg: Mathematische Logik..., a.a.O.

logischen Gebiete. Bemerkenswert ist aber weniger die Zahl dieser Gebiete als die geringe Zahl der Publikationen, die diesen Reichtum an logischen Ideen enthält.

Dieser Reichtum der letzten 25 Jahre des 19. Jahrhunderts blieb den – übrigens hervorragend qualifizierten – Bearbeitern des mathematischen Sachindex des „Catalogue of Scientific Papers“ wohl weitestgehend verborgen, obwohl dieser Katalog von 1874 bis 1900 auch nicht weniger als 84 Einträge allein von Zeitschriftenartikeln auf dem Gebiet der „Philosophie“ der Mathematik verzeichnet, was unter anderem auch logische Fragen einschloss. Allerdings sind einige logische Arbeiten auch anderen Gebieten der Mathematik des 19. Jahrhunderts zugeordnet worden und dadurch recht verstreut verzeichnet. Ferner sind die Literaturnachweise beider Bibliographien keineswegs deckungsgleich.

### *Fazit*

Es zeigt sich, dass mit Hilfe des Indikators der Konzentration besonders bedeutende Entwicklungsphasen von Forschungsgebieten identifiziert werden können, während die jährliche Zahl der Publikationen eines Gebiets weniger aussagekräftig ist, ebensowenig wie die Zahl der überhaupt Beitragenden. Aussagekräftiger hingegen ist der Publikationsanteil eines Gebiets an der Gesamtheit der übergeordneten Disziplin. Da zu dieser übergeordneten Disziplin aber nicht selten Daten fehlen oder nur sehr schwer zu ermitteln sind, eignet sich der Konzentrationsindex für die Identifikation fruchtbarer Phasen in der Entwicklung eines Forschungsgebiets.

Aus meiner Sicht wird deutlich, dass man aus der Entwicklung des Lotka-Exponenten der Beitragshäufigkeitsverteilung eines Forschungsgebiets Aussagen über seinen Entwicklungsstand ableiten kann – wenn man über bibliometrische Daten verfügt. Der Lotka-Exponent lässt sich auf diese Weise als empirisch nutzbarer Ordnungsparameter eines Selbstorganisationsprozesses auffassen.

---

Gesellschaft für  
Wissenschaftsforschung



Siegfried Greif,  
Manfred Wölfling  
(Hrsg.)

**Wissenschaft und  
Innovation**

Wissenschaftsforschung  
Jahrbuch 1999

**Sonderdruck**

Mit Beiträgen von:

*Siegfried Greif • Christoph  
Grenzmann • Hans-Eduard Hauser •  
Frank Havemann • Gunter Kayser •  
Andrea Scharnhorst • Roland  
Wagner-Döbler • Manfred Wölfling •  
Janos Wolf*

Wissenschaftsforschung  
Jahrbuch **1999**

---

Wissenschaft und Innovation : Wissenschaftsforschung  
Jahrbuch 1999 / Siegfried Greif; Manfred Wöfling  
(Hrsg.). Mit Beiträgen von Siegfried Greif ... – Berlin : Gesellschaft für Wissenschaftsforschung 2001.

Das Werk ist in allen seinen  
Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede kommerzielle Verwertung ohne schriftliche  
Genehmigung des Verlages ist unzulässig. Dies gilt  
insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen,  
Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und  
Verarbeitung in Systeme(n) der elektronischen  
Datenverarbeitung.

© Gesellschaft für Wissenschaftsforschung,  
1. Auflage 2000  
Alle Rechte vorbehalten.

Verlag:  
Gesellschaft für Wissenschaftsforschung  
c/o Prof. Dr. Walther Umstätter  
Institut für Bibliothekswissenschaft der  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Dorotheenstr. 26, D-10099 Berlin

ISBN 3-934682-33-2

Preis: 13,00 €