

R. WAGNER-DÖBLER

TU München

Alter und intellektuelle Produktivität: Das Beispiel von Mathematikern, Logikern und Schachmeistern

Age and intellectual achievement: The case of mathematicians, logicians and chess masters

Zusammenfassung: Mißt man die intellektuelle Produktivität von Logikern im Verlauf ihrer Karriere anhand der Zahl ihrer Veröffentlichungen, zeigen sich für zwei bis drei Jahrzehnte Fluktuationen; ein Rückgang ist hingegen nicht erkennbar. Dasselbe Bild ergibt sich, wenn man den Anteil der Logiker nach Karriereabschnitten betrachtet, die besonders bedeutende Arbeiten beitragen. Dasselbe gilt für die Mathematiker des 19. Jahrhunderts. Eine Untersuchung von A. E. Elo über die Spielstärke von Schachmeistern bestätigt, daß die intellektuelle Leistungsfähigkeit nach Erreichen eines Gipfelpunktes bei etwa 35 Jahren in den folgenden drei Jahrzehnten nur sehr langsam sinkt. Die hier erhaltenen Resultate widerlegen die populäre Meinung, daß mathematische Höchstleistungen jungliches Alter voraussetzen.

Abstract: If one measures intellectual achievement in the career of logicians by publication output for two to three decades, fluctuations are observed; a decline is not recognizable, however. The same holds true if one calculates the percentage of logicians of a certain career age who contributed outstanding work. The same is valid for 19th-century mathematicians. A. E. Elo's investigation of the play strength of chess masters confirms that the intellectual performance after a peak at approximately 35 years declines only very slowly. These results defeat the popular opinion that outstanding mathematical achievements require young age.

Keywords: Mathematician, Chess Master, Scientific Productivity, Intellectual Achievement, Creativity, Age

1. Lebensalter und wissenschaftlich-kreative intellektuelle Produktivität: Ein vernachlässigtes Thema

Die Bereiche unserer Gesellschaft, auf die sich der Altersstrukturwandel auswirkt, erfahren sehr unterschiedliche Aufmerksamkeit. Zeitungsbekannt sind etwa Auswirkungen auf die Sozialversicherungssysteme, diskutiert werden beispielsweise Auswirkungen auf das Bildungssystem oder auf Marketingstrategien von Unternehmen. Man kann aber auch über tiefer liegende Auswirkungen des Wandels der Altersstruktur mutmaßen. Wenn man – wie D. K. SIMONTON (1988) – davon ausgeht, daß die intellektuelle und kreative Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter abnimmt, wird dies nicht ohne Wirkungen beispielsweise auf Wissenschaft und Technologie bleiben. Genau dies hat Simonton angenommen: In bezug auf das wissenschaftliche Potential der USA prophezeit er mit einem resignativen Beiklang ei-

nen altersstrukturbedingten Verfall. Forschungspolitische Implikationen solcher Einschätzungen liegen auf der Hand.

Angesichts dieser massiven Problematik ist es überraschend, wie wenig wissenschaftliche Aufmerksamkeit ihr im deutschen Sprachraum gewidmet wird. Zu den wenigen Ausnahmen gehört F. WEINERT, dessen Analysen zur menschlichen Kreativität auch das Thema der Lebensspanne berührten (WEINERT, 1990).

Zahlreich sind die Versuche, Indikatoren in Kreativitätstests zu finden, mit deren Hilfe zukünftige Kreativität der Probanden vorausgesagt werden soll, aber eher entmutigend die Ergebnisse. Das Entstehen von Kreativität scheint von den Randbedingungen und insbesondere Lernprozessen des «real life» nicht zu lösen sein – und dementsprechend wirkungslos bleiben Weinert zufolge im großen und ganzen die en vogue gewordenen «Crash»-Kurse in Sachen Kreativität, von eher kurzzeitigen Stimmungsaufbesserungen abgesehen. Umso wichtiger

scheint es daher, umfassende Feldstudien durchzuführen, aus denen zumindest grobe Hinweise auf den Verlauf von intellektueller Leistungsfähigkeit und Kreativität zu erhalten sind.

Moderne Datenbanksysteme erleichtern eine neue Art von historischer «Feldstudie» in der Wissenschaftsforschung. Hierbei werden zeitlich und räumlich umfassende Kataloge und Bibliographien computergestützt ausgewertet. Dies ist deshalb von besonderem Interesse, weil wissenschaftliche Aktivität wohl als Prüfstein intellektueller, kreativer Betätigung gelten kann – ganz besonders auf dem Gebiet der Mathematik. Die folgenden Ausführungen beruhen überwiegend auf solchen elektronischen Auswertungen von Bibliographien und Handbüchern. Als erstes wird der Intensitätsverlauf wissenschaftlicher Betätigung am Beispiel von Logikern aufgezeigt, und zwar anhand ihrer Publikationsaktivität. Die Frage ist jedoch, ob auch besonders herausragende wissenschaftliche Leistungen – nicht nur «gewöhnliche» Publikationen – in allen Altersgruppen zu finden sind. Deshalb differenziere ich anschließend – gestützt auf eine Expertenbewertung – nach besonders bedeutenden und innovativen und weniger bedeutenden Arbeiten in der Logik. Dasselbe Verfahren wende ich dann auf 20 der herausragendsten Mathematiker des 19. Jahrhunderts an. Zum Schluß vergleiche ich die Ergebnisse mit der Beziehung von Alter und Leistung auf dem Gebiet eines der Mathematik verwandten «Geistesports», dem Schachspiel.

2. Die unterschiedlichen Ergebnisse von Kohorten- und Mischanalyse

Die Ergebnisse der Forschung über den Zusammenhang zwischen Alter und intellektueller Produktivität möchte ich, grob vereinfacht, drei Gruppen zuordnen.

Immer dann, wenn man älteren Probanden in Laborversuchen kognitive Leistungen eher reproductiven Charakters abverlangte, fielen die Leistungen im Vergleich zu jüngeren Probanden deutlich ab. Dies betrifft beispielsweise Gedächtnisleistungen, die Geschwindigkeit, mit der Assoziationen oder Lösungsversuche produziert werden und weitere Arten von Intelligenztests verlangten Leistungen.

Die zweite Gruppe von Ergebnissen hat folgenden Tenor. Betrachtete man die intellektuellen Leistungen, wie sie tatsächlich im Verlauf des Lebens von kreativen Menschen zu Tage traten, stellte sich in der Regel etwas anderes heraus. Es zeigte sich, daß die intellektuelle – oder auch künstlerische – Produktion nach Aufnahme einer kreativen Tätigkeit typischerweise relativ schnell anstieg zu einem Gipfel. Zwar folgt auch hier mit zunehmendem Alter oft ein Absinken; dies vollzieht sich aber nicht abrupt, sondern eher langsam und kontinuierlich.

Bezog man in die Untersuchungen nur extraordinary und besonders innovative Leistungen ein und nicht Leistungen, die man gewissermaßen dem beruflichen Standard zuzurechnen hat, zeigte sich nach Erreichen eines Gipfels – meist in den frühen Jahren einer Karriere – ein ziemlich deutliches und schnelles Sinken der Häufigkeit des Auftauchens solcher Leistungen zu späteren Karrierezeitpunkten. Dies ist das Charakteristikum einer dritten Gruppe von Ergebnissen.

Zwei Probleme bei diesen Feststellungen liegen auf der Hand. Zum ersten ist es schwierig zu definieren, was als intellektuelle Leistung gelten soll, und noch schwieriger zu definieren, was man als extraordinary Leistung gelten lassen will. Hierauf werde ich noch zurückkommen.

Zum zweiten wurde eingewandt, daß die Alterszusammensetzung der untersuchten Gruppen zu Trugschlüssen verleite. Wenn nämlich die Partizipation Älterer geringer ausfällt als die entsprechende Partizipation Jüngerer, muß die Häufigkeit bedeutender Leistungen dieser zweiten Gruppe allein aufgrund der Partizipationsstruktur eines Gebiets größer sein, ohne daß daraus per se Aussagen über die intellektuellen Kapazitäten von Altersgruppen ableitbar wären.

Offensichtlich muß man unterscheiden zwischen dem (kreativen) Output von Forschern einer gemischten Alterszusammensetzung, wie sie in einem bestimmten historischen Zeitintervall zu finden ist, und den kreativen Kapazitäten einer Alterskohorte (J. G. ROMANIUK & M. ROMANIUK, 1981). Das Fehlen dieser Unterscheidung – die allerdings differenzierter statistischer Daten bedarf – führte immer wieder zu Mißverständnissen und Fehlinterpretationen.

H. C. LEHMAN hat sich in seinem «Age and Achievement» auf Analysen des ersten Typs konzentriert. Anhand vielfältigster Daten aus den verschiedensten Bereichen geistigen Schaffens gelangte er zur Feststellung, daß wissenschaftliche und künstlerische Leistungen in frühen oder mittleren Jahren stark kulminieren. Die Frage danach, wie die Entwicklung der Produktivität unter der Voraussetzung gleicher Partizipationsdauer verlaufen würde, wies er in seinem – mit 64 Jahren veröffentlichten – Pionierwerk als sinnlose Spekulation zurück (LEHMAN, 1953: 14f.). Zwar stehen aus soziologischer Perspektive die tatsächlichen Altersverteilungen im Vordergrund; aus dem Blickwinkel der (Alters-) Psychologie jedoch ist die Frage nach den Kapazitäten verschiedener Altersgruppen sicherlich ebenso legitim.

Zu unterscheiden sind «Karriere-Alder» und Lebensalter; zwischen beidem besteht eine hohe Korrelation, wenn auch der Beginn des Karrieralters von Betätigungsgebiet zu Betätigungsgebiet schwankt und im Fall der Logik oder Mathematik wohl früher als in anderen Gebieten anzusetzen ist (vgl. SIMONTON, 1988).

3. Die Publikationsintensität von Logikern im Verlauf ihrer Karriere

Wissenschaftlich tätig zu sein, bedeutet unter anderem, neue Erkenntnisse zu gewinnen und zu publizieren. Selbstverständlich ist dies eine grob vereinfachte und idealisierte Sicht des Zusammenhangs zwischen Erkenntnissen und ihrer Verbreitung.

Allerdings steht mittlerweile fest, daß man in der Zahl der Publikationen für statistische Zwecke und unter Beachtung einer Reihe von Kautelen einen groben Indikator für wissenschaftliche Leistungen sehen kann. Die Betonung liegt hier auf statistische Zwecke: In Einzelfällen kann es sich ganz anders verhalten. Statistisch gesehen aber zählen sehr viele der besonders viel publizierenden Forscher auch zu den bedeutenden – im Urteil der einschlägigen Fachöffentlichkeit (vgl. D. PRICE, 1974, bes. S. 51; WAGNER-DÖBLER & BERG, 1993, S. 56f.). Man hat zudem festgestellt, daß das durchschnittliche Publikationsverhalten von Wissenschaftlern – entgegen immer wieder geäußerten

Eindrücken – kaum vom Schlachtruf des «publish or perish» beeinflußt wurde, mit anderen Worten: Wissenschaftler publizieren heute **im Durchschnitt** nicht nennenswert mehr als früher. Nachweisbar ist dies beispielsweise auf Gebieten wie Germanistik, Anglistik und mathematischer Logik sowie auf Gebieten der Biologie. (Für Germanistik, Anglistik/Amerikanistik, Orientalistik ergibt sich dies aus Tabellen bei WEINGART u. a., 1993. Die dort dargelegten Verhältnisse bei Geschichte allerdings sind uneinheitlich. Für mathematische Logik: WAGNER-DÖBLER & BERG (1993), S. 65ff. Biologische Gebiete: GOFFMAN & WARREN (1980), passim. Zu beachten ist auch, daß die Extremwerte der Verteilungen sich ändern können trotz gleichbleibender Durchschnitte.) Freilich gibt es mehr Wissenschaftler denn je, so daß das gesamte Publikationsvolumen trotzdem beträchtlich anschwillt. In der nun folgenden Betrachtung der Leistungen einer Reihe bedeutender Logiker im Zeitablauf werden jedenfalls Publikationen als quantitative Indikatoren ihrer intellektuellen Produktivität verwandt.

Die Mathematik ist deshalb ein besonders lohnendes Untersuchungsobjekt für unsere Fragestellung, weil es nur wenige Wissenschaften gibt, die zugleich durch methodische Strenge, große Autonomie und geringe Abhängigkeit von technologischen Arbeits- oder Experimentiermitteln charakterisiert werden können. Es handelt sich hier in gewisser Weise tatsächlich um die Tätigkeit des «reinen Geistes».

In die Mitte des 19. Jahrhunderts fallen die Gründerjahre der mathematischen Logik, die zunächst ein esoterisches Feld der damals aufblühenden reinen Mathematik blieb, das von einer Handvoll von Pionieren wie Boole, Frege, Cantor, Dedekind, De Morgan und anderen behandelt wurde. Niemand konnte ahnen, daß dieses Gebiet bis heute mit rund 15.000 Wissenschaftlern mehr Forscher anzog als die ganze (reine) Mathematik des 19. Jahrhundert, an der sich immerhin einige tausend Autoren beteiligten. Den Aufschwung der mathematischen Logik begünstigten besonders seit den 50er Jahren dieses Jahrhunderts vielfache Anwendungsmöglichkeiten in der Computerwissenschaft und Informatik.

Datengrundlage für die folgenden Erhebungen ist die elektronische Version der « Ω -Biblio-

graphy of Mathematical Logic» (1987), welche die Literatur der mathematischen Logik von 1874 bis 1990 erfaßt. (Einzelheiten zu dieser Bibliographie in WAGNER-DÖBLER & BERG, 1993.)

Als erstes habe ich festgestellt, wie sich die Zahl der Veröffentlichungen von bedeutenden Logikern dieses Jahrhunderts im Laufe ihrer Tätigkeit entwickelte. Kriterium für die Auswahl dieser Logiker waren das Vorhandensein von mindestens 20 Beiträgen zur Logik und eine Mindestdauer der Aktivität auf diesem Gebiet. Als Dauer der Betätigung wurde der Zeitraum von der ersten bis zur letzten Veröffentlichung betrachtet. Die Anforderungen an die Mindestdauer der Aktivität wurden von mir mit der Absicht jeweils geringfügig variiert, eine bewältigbare Zahl von Logikern zu erhalten. Ich betrachte drei Gruppen von Logikern, die sich lediglich im Beginn ihrer Aktivität auf diesem Gebiet unterscheiden.

Die Logiker der ersten Gruppe begannen ihre Karriere zwischen 1920 und 1930 – durchschnittlich 28,6 Jahre alt – und waren 36 Jahre oder länger aktiv: Ackermann, Bernays, Car-

nap, Church, Curry, Gödel, Heyting, Kalmar, Kuratowski, Lukasiewicz, Tarski.

Abbildung 1 zeigt die durchschnittliche Zahl der Publikationen in jedem Jahr der Karriere dieser Autoren in gleitenden 3-Jahres-Intervallen. Offensichtlich unterliegt diese Zahl größeren Fluktuationen; deutlich ist auch ein Rückgang während der Zeit des Zweiten Weltkrieges. Insgesamt sind diese Autoren jedoch ohne erkennbaren Rückgang auch in fortgeschrittenem Alter tätig; ihre Produktivität ist mit etwa 60 Jahren so groß wie in den ersten Jahren ihrer Beteiligung. Die durchschnittliche jährliche Publikationsrate pro Autor innerhalb der Logik während des betrachteten Zeitraums beträgt 1,04; hierbei ist zu bedenken, daß viele dieser wie der folgenden betrachteten Autoren nicht nur auf Gebieten der Logik, sondern beispielsweise auch in der sonstigen Mathematik und in der Philosophie tätig waren.

Betrachten wir nun eine zweite Gruppe jener 13 Logiker, die zwischen 1945 und 1949 zu publizieren begannen, im Mittel 28,2 Jahre alt, wobei diese Zahl nur einen Anhaltspunkt geben

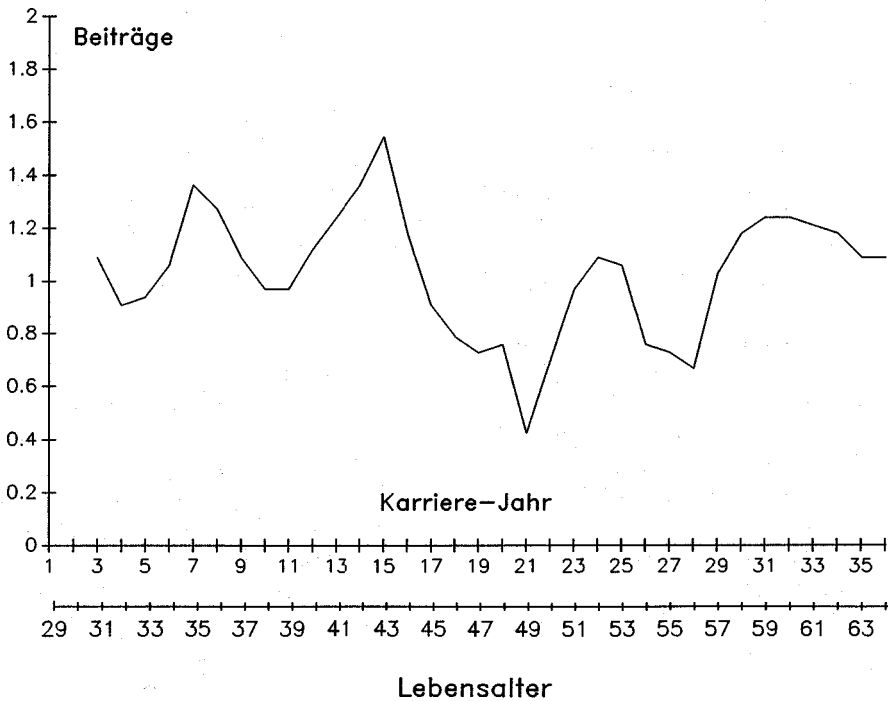


Abbildung 1: Durchschnittliche Zahl der Beiträge von 11 Logikern vom 1. bis zum 36. Jahr der Aktivität in gleitenden 3-Jahres-Intervallen (Ackermann, Bernays, Carnap, Church, Curry, Gödel, Heyting, Kalmar, Kuratowski, Lukasiewicz, Tarski); erstmalige Publikation 1920–1930.

kann, da nur bei sechs Autoren das Geburtsdatum ermittelt werden konnte. Hauptquelle für die Ermittlung von Geburtsdaten war hier «The National Union Catalog» der USA. Diese 13 Logikern waren mindestens 37 Jahre lang aktiv. Eine dritte Gruppe von elf Logikern begann zwischen 1955 und 1959, im Mittel 27,0 Jahre alt – diese Zahl beruht auf lediglich vier Geburtsdaten; in der Abbildung wurde der Mittelwert beider Gruppen herangezogen. Die elf Logiker waren mindestens 32 Jahre lang aktiv. Auch hier wird die durchschnittliche Produktivität, d. h. Beiträge pro Logiker, jahresweise dargestellt. Im ersten Fall ist ein leichter Abwärtstrend ersichtlich, im zweiten ein leichter Aufwärtstrend (siehe Abbildung 2).

Beiden Gruppen gemeinsam ist eine «midlife crisis» nach rund 20 Jahren Aktivität. (Bei den Logikern aus den 20er Jahren fällt dies mit dem Zweiten Weltkrieg zusammen und ist deshalb nicht diagnostizierbar.) Diesem Einbruch folgt jedoch ein neuer Aufschwung. Nach insgesamt

rund 30 Jahren Aktivität endlich fällt die durchschnittliche jährliche Publikationsrate deutlich ab. Insgesamt beträgt sie 1,27 in der ersten, 1,30 in der zweiten Gruppe.

Faßt man die zweite und dritte Gruppe zusammen, zeigt sich: Die Publikationsrate ist insgesamt etwas höher als bei den Logikern aus den 20er Jahren; etwa um das 20. Karrierejahr herum wird ein schwach ausgeprägter Gipfel erreicht. Dem anschließenden Absinken folgt noch einmal ein Aufschwung.

Insgesamt zeigt sich, daß in einer Disziplin, der generell der Ruf des jugendlichen Alters der Schöpfer ihrer größten Leistungen anhängt, der Gipfel der Produktivität keineswegs bereits in den ersten Jahren des Schaffens erreicht wird, sondern erst später. (Ein ähnliches Ergebnis findet sich bei Cole, 1979. Cole führt den Anstieg auf den Zuwachs an zur Verfügung stehenden Ressourcen zurück; dies dürfte aber für mathematisch-logische Aktivitäten unerheblich sein.)

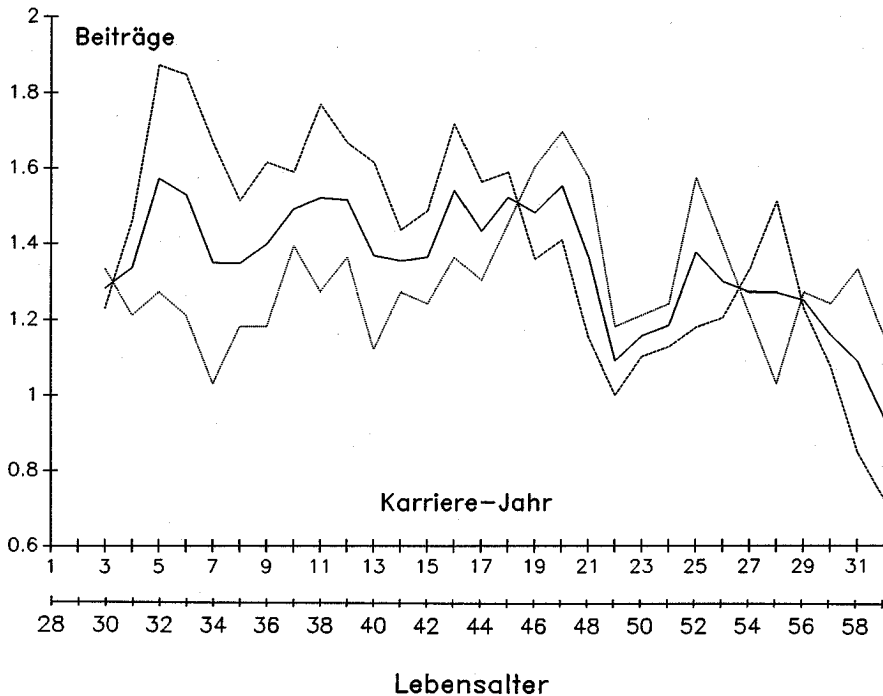


Abbildung 2: Durchschnittliche Zahl der Beiträge vom 1. bis zum 32. Jahr der Aktivität in gleitenden 3-Jahres-Intervallen. Gestrichelte Linie: Begamihl, Buechi, Fraisse, Henkin, Jonsson, Myhill, Rado, Rasiowa, Rose, Specker, Turquette, Wang Hao, G. H. v. Wright; erstmalige Publikation 1945–1949. Punktlinie: Costa da Newton, Feferman, Hajnal, Kubinski, Lamabek, Levy, Mycielski, Nerode, Rudin, Stahl, Zaslavskij; erstmalige Publikation 1955–1959. Volltonlinie: Beide Gruppen zusammen.

4. Herausragende Arbeiten von Logikern in der Lebensspanne

Bis hierher wurde die Literaturproduktion von Logikern ungeachtet der Bedeutung betrachtet, die diesen Arbeiten im einzelnen zukommt. Es kann sich also um kleinere Beiträge ebenso handeln wie um bahnbrechende Entdeckungen, die nicht nur die interne Entwicklung der Logik und Mathematik beeinflussten, sondern in die Geistesgeschichte ausstrahlten, wenn man beispielsweise an die Gödelschen Unvollständigkeitstheoreme oder an «Turing-Maschinen» denkt. Nur Spezialisten und Experten jedoch vermögen die Bedeutung einzelner Arbeiten der Logik einzuschätzen. Bei einem Publikationsvolumen, das in die Tausende geht, ist deren Befragung ein illusorisches Unterfangen.

Einer der überragendsten Logiker unseres Jahrhunderts, A. Church, hat Anfang der 30er Jahre – als die mathematische Logik am Beginn ihrer Expansion stand – eine annähernd vollständige Bibliographie der mathematischen Logik von ihren frühesten Anfängen in der vergessenen «Logica Hamburgensis» von J. JUNGIUS im Jahre 1638 bis zum Jahr 1936 erstellt; sie enthält insgesamt rund 2000 Einträge. (Man sieht an den unterschiedlichen Erfassungszeitpunkten der Omega- und der Church-Bibliographie, daß die Abgrenzung der alten, nicht-mathematischen von der neuen, mathematischen oder symbolischen Logik eine Sache der fuzzy Logik ist, eine mittlerweile Furore machende Neuschöpfung der Logik aus den 60er Jahren.)

Besonders wichtige Arbeiten hat Church mit einem Stern gekennzeichnet, Beiträge von fun-

damentaler Bedeutung mit zwei Sternen. Es handelt sich bei den Arbeiten mit einem Stern um weniger als zehn Prozent aller überhaupt nach inhaltlichen Gesichtspunkten klassifizierten rund 1200 Beiträge, bei denen mit zwei Sternen um rund ein Prozent. Nicht klassifiziert wurden Rezensionen und andere kleinere Beiträge. (Einzelheiten zur Church-Bibliographie bei WAGNER-DÖBLER & BERG, 1993.) Selbstverständlich implizierte diese Bewertung nicht, daß Church den anderen Arbeiten ihre wissenschaftliche Bedeutung abgesprochen hätte.

Um Forscher desselben Karrierealters zu vergleichen, habe ich die Aktivitätsspannen aller Logiker in 5-Jahres-Intervalle eingeteilt. Anschließend ermittelte ich die Gesamtzahl der Forscher, die sich im Karrierejahr 1–5, 6–10, ..., 31–35 befanden sowie die Zahl der Forscher, deren Arbeiten der jeweiligen Periode von Church mindestens einen Stern erhielten.

Tabelle 1 zeigt, daß dieser Anteil in allen sieben Karriereabschnitten zwischen rund 7 und 13 Prozent fluktuiert; ein Trend nach unten ist nicht erkennbar. Eine Ausnahme gilt nur für die wenigen Forscher, die länger als 35 Jahre aktiv waren. Führt man dieselbe Berechnung nur mit denjenigen Arbeiten durch, die Church als ganz besonders herausragend kennzeichnete, bietet sich dasselbe Bild, wobei hier die äußerst geringe Anzahl solcher Arbeiten nur zu ersten Anhaltspunkten zu führen vermag.

Offenkundig zeigt die Fähigkeit älterer Logiker, auch im hohen Alter Arbeiten von großer oder sogar fundamentaler Bedeutung zu liefern, kaum Einbußen, verglichen mit den jüngeren Logikern.

Tabelle 1: Anteil der Logik-Autoren nach Karriereabschnitten, die gemäß Church wichtige oder überragende Arbeiten zur Logik beisteuerten.

Karriere-Jahr	Autoren	Darunter Autoren mit wichtigen oder überragenden Arbeiten	Prozent (Sp. 3 von Sp. 2)	Darunter Autoren mit überragenden Arbeiten	Prozent (Sp. 5 von Sp. 2)
< 6	380	42	11,05	6	1,58
6–10	156	12	7,69	2	1,28
11–15	91	12	13,19	1	1,10
16–20	72	7	9,72	1	1,39
21–25	49	5	10,20	0	0
26–30	30	2	6,67	0	0
31–35	18	2	11,11	0	0
> 35	8	0	0	0	0

Ginge man von der Lehmannschen Fragestellung aus, würde man feststellen, auf welchen Karriereabschnitt die bedeutenden logischen Arbeiten fielen. Die entsprechende Kurve würde deutlich absinken, da die langwährende Beteiligung an der logischen Forschung viel seltener ist als eine kürzere Teilnahme und daher absolut gesehen viel mehr bedeutende Arbeiten auf anfängliche Karriereabschnitte fallen. Dasselbe gilt nicht nur für bedeutende Arbeiten, sondern auch für die Gesamtheit der Publikationen, wie Abbildung 3 zeigt.

Hier ist die Zahl sämtlicher Veröffentlichungen der Autoren, die irgendwann einmal mindestens eine von Church besonders hervorgehobene Arbeit erzielten, nach Karrierejahren in gleitenden 3-Jahres-Intervallen dargestellt.

5. Herausragende Arbeiten von Mathematikern des 19. Jahrhunderts in der Lebensspanne

Es stellt sich nun die Frage, ob sich an den bisherigen Ergebnissen etwas ändert, wenn man andere Quellen heranzieht und größere Repräsentativität anstrebt. Die Crux daran ist die Schwierigkeit, eine annähernd vollständige Datenbasis zu erstellen, die einen Vergleich zwischen der Gesamtzahl von Wissenschaftlern ei-

nes Karriereabschnitts mit der Zahl derjenigen ermöglicht, die besonders bedeutende Beiträge liefern. Für die Mathematik des 19. Jahrhunderts existiert eine bibliographische Datengrundlage, die mathematische Zeitschriftenveröffentlichungen annähernd vollständig erfaßt. Es handelt sich um den von der «Royal Society of London» herausgegebenen «Catalogue of Scientific Papers», und hier um den mathematischen Indexband, der alle alphabetischen Teilausgaben des Katalogs einschließt («Subject index, Vol. 1, Pure mathematics», Cambridge: Univ. Pr. 1908). Obwohl dieser von uns elektronisch erfaßte Katalog keine Monographien verzeichnet, verhilft er doch zu einem annähernd vollständigen Bild der mathematischen Aktivitäten jener rund 5500 Mathematiker dieser Zeit, die Zeitschriftenpublikationen verfaßten – mit Sicherheit die überwiegende Mehrheit der Mathematiker des 19. Jahrhunderts (WAGNER-DÖBLER & BERG, 1996).

Um überragende mathematische Arbeiten des 19. Jahrhunderts zu identifizieren, habe ich ein Verzeichnis herangezogen, das mit Hilfe der Auswertung biographischer und wissenschaftsgeschichtlicher Standardwerke die hervorragenden Wissenschaftler aller Zeiten und Fächer aufführt (GASCOIGNE, 1984). Aus diesem Katalog habe ich davon jene 50 Mathematiker ermittelt, die in mindestens vier der bedeutendsten

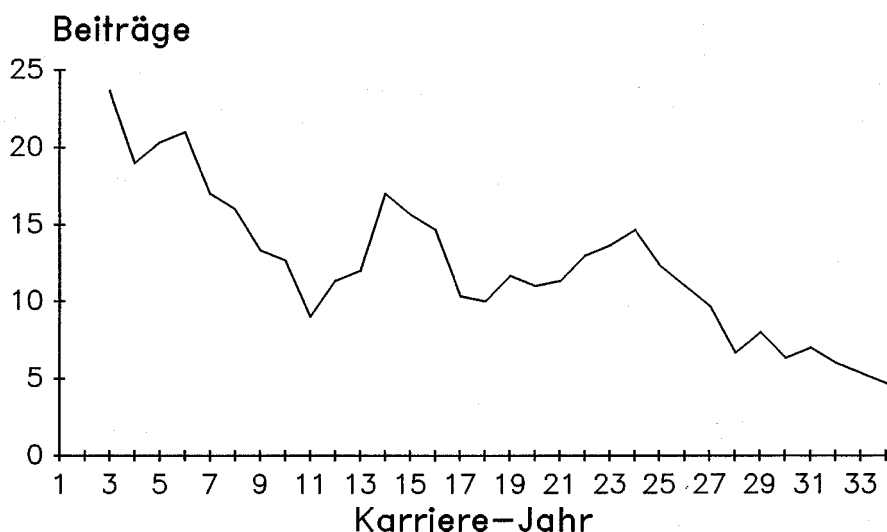


Abbildung 3: Zahl sämtlicher Publikationen der von Church ausgezeichneten Autoren nach Karriere-Jahr der Veröffentlichung in gleitenden 3-Jahres-Intervallen.

biographischen Werke zu finden waren, nämlich im «Dictionary of Scientific Biography», der «Nouvelle Biographie Universelle», der «Allgemeinen Deutschen Biographie», im «Dictionary of National Biography» oder in einer der Ausgaben des «Poggendorff» («Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der Exacten Wissenschaften») und deren gesamtes Berufsleben mit Sicherheit vollständig ins 19. Jahrhundert fiel – nämlich alle nach 1789 geborenen und bis 1900 verstorbenen Mathematiker des Gascoigne-Katalogs. Nun wurden all jene Leistungen ermittelt, die in die Wissenschaftsgeschichte eingingen. Dies geschah anhand des «Darmstädter», bis heute eine der zuverlässigsten und umfassendsten Wissenschafts- und Technologie-Chronologien vom Altertum bis zum Ende des 19. Jahrhunderts (DARMSTÄDTER, 1908). Folgende zwanzig Mathematiker aus der Vorauswahl von 50 Mathematikern sind mit ihren Leistungen im «Darmstädter» verzeichnet: G. B. Airy; C. Babbage; A. Cayley; G. Dirichlet; H. Grassmann; C. G. J. Jacobi; L. Kronecker; E. E. Kummer; G. Lamé; M. S. Lie; N. Lobatschewsky; A. F. Moebius; F. E. Neumann; J. Pluecker; L. A. J. Quetelet; B. Riemann; G. K. C. v. Staudt; J. Steiner; C. Weierstrass; F. Woepcke. Das durchschnittliche Alter dieser Mathematiker bei ihrer ersten Publikation betrug 27,8 Jahre. (Ermittelt anhand des «Subject Index»; in sechs Fällen, in denen der «Darmstädter» ein früheres Jahr nachwies, wurde dieses als Erstpublikationsjahr herangezogen.) Entsprechend dem Schema der Tabelle 1 zeigt Tabelle 2 die Zahl aller Mathematiker des 19. Jahrhunderts (außer jenen, die **ausschließlich** Monographien veröffentlichten) nach Karriereabschnitt sowie die Zahl der 20 Mathematiker, die im betreffenden Karriereabschnitt «Darmstädter»-würdige Leistungen erzielten (siehe Tabelle 2).

Ihr Anteil entspricht in etwa dem Anteil von Zwei-Sternchen-Autoren der Logik bei Church. Auch hier ist von einer Abnahme des Anteils nichts zu bemerken. Daß die ersten drei Karriereabschnitte sogar schwächer vertreten sind als die späteren Abschnitte, mag darauf zurückzuführen sein, daß die Leistungen der zum Zeitpunkt der Erarbeitung des «Darmstädter» noch jüngeren Mathematiker noch nicht ganz adäquat gewürdigt werden konnten.

Tabelle 2: Anteil der Mathematiker des 19. Jahrhunderts nach Karriereabschnitten, die gemäß «Darmstädter» fundamentale Arbeiten zur Mathematik beisteuerten.

* In sechs Fällen fiel eine mathematische Entdeckung laut «Darmstädter» auf einen früheren Zeitpunkt als das Jahr der ersten Zeitschriftenpublikation. Dieses erste Jahr der Entdeckung wurde in solchen Fällen als Beginn mathematischer Aktivität herangezogen.

Karriere-Jahr	Autoren	Darunter Autoren mit fundamentalen Arbeiten*	Prozent (Sp. 3 von Sp. 2)
< 6	3599	11	0,31
6–10	531	4	0,75
11–15	417	5	1,20
16–20	296	4	1,35
21–25	230	4	1,74
26–30	155	2	1,29
31–35	134	2	1,49
36–40	77	1	1,30
41–45	69	1	1,45
>45	98	0	0

Ähnliche Ergebnisse hat COLE (1979) auch mit Hilfe viel roherer «bibliometrischer» Verfahren erzielt: Cole bewertete die Bedeutung bzw. Qualität von Arbeiten in der aktiven Lebensspanne von Wissenschaftlern mit Hilfe von Zitationszählungen und erhielt ähnliche Resultate. Seine Untersuchung bezog sich allerdings auf ein Zufallssample von Wissenschaftlern. N. STERN (1978) hat Zitationsanalysen zu einigen hundert US-amerikanischen Berufsmathematikern der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts angestellt; auch hier bot sich dasselbe Bild: Fluktuationen (insbesondere ein vorübergehender Rückgang im Lebensalter von 40 bis 50 Jahren), aber für zwei bis drei Jahrzehnte kein definitiver Rückgang der mit Zitierungen gemessenen Resonanz, die hier als indirekter Hinweis auf wissenschaftliche Erfolge diente. Das Durchschnittsalter bei der Promotion betrug 27 Jahre.

6. Das Verhältnis von wichtigen und weniger wichtigen Arbeiten im Laufe der Publikationsaktivität

Wie bereits festgestellt, hat man den Zusammenhang zwischen dem Ausmaß von Publika-

tionsaktivitäten von Autoren und ihrer Bedeutung aus der Sicht von Experten eines Gebiets wiederholt untersucht und dabei immer wieder festgestellt, daß Publikationsaktivitäten für statistische Zwecke – und nur für diese Zwecke – auch Annahmen über die wissenschaftliche Bedeutung zu machen gestatten.

Die Frage ist nun, ob die Korrelation auch für die Aktivitäten einzelner Logiker im Zeitablauf gilt, mit anderen Worten: Veröffentlichen Logiker in den Phasen, in denen sie ihre herausragenden Leistungen erzielen, mehr als in Phasen weniger stark herausragender Ergebnisse? SIMONTON (1985, 1988a) hat diesen Zusammenhang sogar zum Prüfstein seiner «chance-configuration»-Theorie gemacht. Diese Theorie entspringt einer evolutionären Sichtweise von Versuch und Irrtum in Erkenntnisprozessen, wie sie in der Psychologie D. T. CAMPBELL (1960) vertritt. Die Erhöhung der Zahl von Versuchen, so Simonton, müßte, wenn diese Theorie richtig ist, auch die Zahl der «Treffer» erhöhen. Als Treffer sind herausragende und innovative Arbeiten eines Gebiets anzusehen.

Als alternativen Ansatz nennt Simonton beispielsweise das Modell des Wissenszuwachses («expertise acquisition»), das den kumulativen (Lern-)Prozessen entsprechen würde, die unter D. Prices «Theorie kumulativer Prozesse» (PRICE, 1974) fallen. Auch zu dieser Frage lassen

sich der Church-Bibliographie Hinweise entnehmen.

Dazu ist die Zahl der von Church hervorgehobenen Arbeiten über die gesamte Lebensspanne zu verfolgen. Sämtliche entsprechende Publikationen der Autoren wurden deshalb auch hier dem ersten, zweiten, ..., n-ten Karrierejahr zugeordnet und summiert. Betrachtet man eine entsprechende graphische Darstellung (die hier aus Platzgründen nicht gezeigt wird), stellt sich die Parallelität der Fluktuationen sämtlicher und der Fluktuationen der hervorgehobenen Arbeiten heraus.

Der Anteil der Sternchen-Arbeiten an allen Arbeiten ist in Abbildung 4 – auch hier in gleitenden 3-Jahres-Intervallen – dargestellt. (Daß die Autoren unterschiedlich lang aktiv waren, ist in diesem Fall ohne Bedeutung, da es ja ausschließlich um das Verhältnis der gesamten Publikationszahl der Autoren zur Zahl ihrer bedeutender Arbeiten geht.) Die Abbildung zeigt, daß die besonders bedeutenden Publikationen über einen sehr langen Karrierezeitraum verteilt sind, jedoch nicht gleichmäßig, wie die zwei ausgeprägten Wellen um das erste sowie das fünfzehnte Karrierejahr herum zeigen; es folgt noch einmal eine schwächere Welle zehn Jahre später. (Zweigipfligkeit bei der Entwicklung des Outputs wurde auch in anderen Wissenschaften beobachtet. Vgl. STEPHAN & LEVIN, 1992.) Die

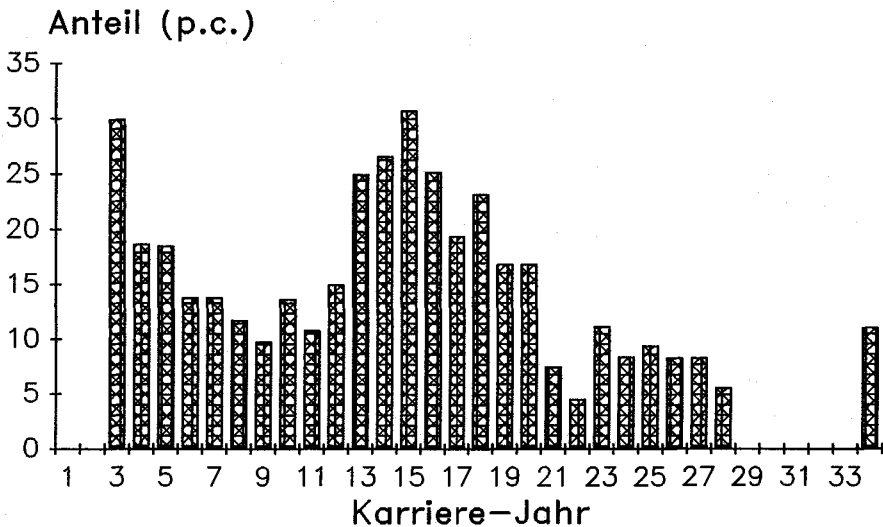


Abbildung 4: Anteil der von Church ausgezeichneten Publikationen an allen Publikationen der betreffenden Autoren vom 1. bis zum 34. Jahr der Karriere in gleitenden 3-Jahres-Intervallen (51 Autoren von 1740 bis 1936, unabhängig von der Aktivitätsdauer).

Anteile sind in den ersten beiden Wellen vergleichbar hoch; erst nach rund 20 Karrierejahren beginnt der Anteil besonders bedeutender Arbeiten langsam auf ein niedrigeres Niveau als in den Jahren zwischen den ersten beiden Höhepunkten zu sinken. Da hier nur vom Anteil bedeutender an allen Arbeiten der einzelnen Forscher die Rede ist und nicht vom Anteil der Forscher einer Alterskohorte, die bedeutende Leistungen erbringen, steht dies nicht in Widerspruch zu den Ergebnissen der Aufstellung in Tabelle 1.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen. Offensichtlich stehen die allgemeine Publikationsaktivität von Logikern und ihre besonders schöpferische Produktivität miteinander in Zusammenhang.

Aber die Relation ist nicht gleichmäßig; sie weist vielmehr ausgeprägte Fluktuationen auf. Wenn man fundamentale wissenschaftliche Leistungen mit Innovationen gleichsetzt, könnte man dies auch analog einer für Basisinnovationen gemachten Feststellung von G. Mensch ausdrücken: Innovationen kommen in Clustern – auch wenn man dies auf der Ebene von Individuen betrachtet.

SIMONTON (1985, 1988) hält die Fluktuationen des Anteils bedeutender Arbeiten im Sinne seiner «*chance-configuration*»-Theorie für zufällig. Eine Deutung, die sich auf die Aufeinanderfolge von Lernprozessen bezieht, scheint allerdings wesentlich adäquater zu sein. Lernprozesse sind durch eine Zunahme der Problemlösungskapazität pro Zeiteinheit charakterisierbar; die Zunahme schwächt sich jeweils im weiteren Verlauf wieder ab.

Ob das Ergebnis zur Klärung der von Simonton diskutierten Theorien beitragen kann, ist allerdings nicht sicher. Denn ein Zusammenhang der Stärke wissenschaftlicher Aktivitäten mit der Häufigkeit bedeutender wissenschaftlicher Leistungen bedeutet lediglich, daß herausragende Entdeckungen in besonders aktive Phasen der Forscher eingebettet sind, und daß diese fruchtbaren Phasen nicht gleichmäßig in einer Lebensspanne eintreten, was durchaus mit äußeren Karrierebedingungen zu tun haben kann.

Ich gehe abschließend auf eine Untersuchung ein, deren Ergebnisse für die Analyse des Entwicklungsverlaufs intellektueller Fähigkeiten

eine Fundgrube darstellen. Ihr Urheber, der amerikanische Physikprofessor Arpad Elo, sprach daher auch von einem «*tool for gerontology*» (ELO, 1978: S. 97).

7. A. E. ELOS Analyse der Spielstärkeentwicklung von Schachmeistern

Das Schachspiel ist eine intellektuelle Auseinandersetzung zweier Gegner auf einem eng begrenzten Feld. Nichtsdestoweniger spielen, wie der mittlerweile umfangreichen Literatur dieses Paradigmas der Kognitionswissenschaft zu entnehmen ist, typische Problemlösungsfähigkeiten eine eminente Rolle: Das Gedächtnis für positionelle Schemata und Regeln; die Geschwindigkeit und Qualität von symbolischen Operationen; die Kreativität im Auffinden von Handlungsmöglichkeiten und die Objektivität bei der Selektion von Einfällen sowie bei der Beurteilung der Pläne des Gegners.

Obwohl es sich – verglichen mit den komplexen Problemstellungen etwa der mathematischen Logik – um ein sehr einfaches Aufgabengebiet handelt, stecken in ihm doch auch einige wesentliche Anforderungsmerkmale intellektueller Betätigung, die Anforderungsmerkmalen der Mathematik nicht unähnlich sind. Es war unter den Mathematikern – neben anderen – der berühmte G. H. HARDY, der in seiner Autobiographie (HARDY, 1940) schachliche und mathematische Betätigungen miteinander verglich. Der erste Psychologe, der einen Vergleich durchführte, allerdings in bezug auf rechnerische, nicht mathematische Fertigkeiten, war wohl A. BINET (1894). Es ist nach all dem Gesagten wohl kein Zufall, daß viele herausragende Schachspieler Affinität zu Mathematik aufweisen; der niederländische Schachweltmeister Max Euwe und der russische Weltmeister Michail Botwinnik waren sogar beide Professoren für Gebiete der Mathematik. Es wäre daher von Interesse zu erfahren, wie sich menschliche Fähigkeiten im Schachspiel im Verlauf einer Lebensspanne entwickeln.

Nötig dazu ist ein objektiver Maßstab der Leistung und ein Verfahren, die Entwicklung der Meister im Laufe ihrer Lebensspanne vergleichbar machen zu können. Die Leistung als

solche ist im Gewinn oder Verlust einer Partie objektiv feststellbar.

Der begeisterte und sogar zu Meisterehren gekommene Hobbyschachspieler ELO hat in den 70er Jahren ein wahrscheinlichkeitstheoretisch abgestütztes Verfahren entwickelt, die relative Spielstärke eines Turnierspielers im Verhältnis zu anderen Turnierspielern zu bestimmen. Dem Verfahren liegt die Annahme einer Normalverteilung der schachlichen Leistungen von Turnierspielern zugrunde. Die Skala selbst ist ausschließlich nach pragmatischen Gesichtspunkten konstruiert worden. Jeder einzelne Erfolg eines Spielers in einem Turnier führt zu Pluspunkten, eine Niederlage zu Minuspunkten, beides entsprechend der Spielstärke des Gegners. Remis gegen bessere Gegner führt ebenfalls zu Pluspunkten, gegen schlechtere zu Minuspunkten. Die sogenannte ELO-Zahl eines Spielers aufgrund seines Abschneidens in einem Turnier wird als Differenz zwischen dem nach bisheriger Spielstärke zu erwartendem und tatsächlichem Ergebnis berechnet. Die Erwartung beruht auf der eigenen Elo-Zahl des Spielers und der Elo-Zahl der Gegner. Eine Großmeisternorm erfüllt ein Spieler, der in einem Turnier beispielsweise 76 Prozent seiner Partien gegen Gegner eines ELO-Schnitts von 2401 bis 2425 gewinnt, und 50 Prozent seiner Partien gegen Gegner einer durchschnittlichen Elo-Zahl von 2601 bis 2625; die Norm eines internationalen Meisters erfüllt, wer z. B. 33 Prozent der Partien gegen Gegner eines Elo-Schnitts von 2576 bis 2600 gewinnt. Einzelne Probleme, die das System lösen muß – beispielsweise bei der Taxierung von neuen Spielern oder von Spielern mit geringer Teilnahmeintensität – erfordern Verfeinerungen, die hier nicht dargestellt werden sollen. In seinen Grundzügen kann es als fundiert, objektiv und funktionsfähig gelten; es ist das offizielle Wertungssystem des Welt-schachbundes und löste in den 80er Jahren das System der sogenannten Ingo-Zahlen ab.

Mit dem ELO-System ist es sogar möglich, die relative Spielstärke von Meistern früherer Epochen mit heutigen Meistern zu vergleichen, indem man unter der Annahme der Transitivität von Siegen und Niederlagen verschiedener Paare von Gegnern, graphentheoretisch gesprochen, Pfade von lebenden zu früheren Meistern bildet. Die Transitivität ist in Einzelfällen nicht

immer («Sportjournalisten-Paradoxon»), aber für eine größere Anzahl von Spielern, so ELO, gewährleistet.

ELO hat die Entwicklung der Spielstärke einer größeren Anzahl von Großmeistern anhand ihrer (teilweise rekonstruierten) ELO-Zahlen verfolgt.

Die graphische Darstellung der (geglätteten) Entwicklungskurven zeigt, daß der Prozeß bei einzelnen Schachspielern unterschiedlich schnell verläuft (Abbildung 5).

Abbildung 6 stellt einen Durchschnitt sämtlicher Entwicklungskurven der in der obigen Abbildung berücksichtigten sowie einiger weiterer Schachmeister dar. Offenbar wird mit etwa 35 Jahren ein Gipfel erreicht. Das dann erreichte Niveau fällt anschließend langsam in den nächsten 25 Jahren um etwa 120 Elo-Punkte auf das mit 21 Jahren erreichte Niveau ab. Auch bei den siebzيجjährigen Spielern betrug der ELO-Punkte-Verlust weniger als 200. Damit beträgt der Rückgang für einen Zeitraum von 25 Jahren in etwa den durchschnittlichen individuellen Leistungsschwankungen der 50 besten Spieler der Welt über einen Zeitraum von rund 3 Jahren. (Gemäß der Intel-World-Chess-Rangliste betragen diese Schwankungen 180 ELO-Punkte, vergl. F. FRIEDEL, 1994. Klassenerhalt ist im Schachsport nicht gleichbedeutend mit dem Erhalt eines einmal errungenen Titels wie internationaler Meister, Großmeister usw.)

In diesem Zusammenhang ist es erwähnenswert, daß H. C. LEHMAN den Verlauf bedeutender Leistungen von Chemikern unter der von ihm ansonsten wenig geschätzten **fiktiven** Annahme aus seinen Daten extrapolierte, daß die von ihm untersuchten Chemiker alle gleiche Lebensdauer aufwiesen (LEHMAN 1953: 15). Das Ergebnis ist ein Verlauf, der demjenigen der Schachmeisterspielstärke deutlich ähnelt, insbesondere beim Absinken in den Jahrzehnten, die dem Maximalniveau folgen. Der Gipfelpunkt liegt bei Chemikern wie bei den Schachspielern beim Alter von 35 Jahren.

Das Absinken der Spielstärke der Schachmeister ist geringfügig größer als das Absinken der Produktivität der Chemiker nach der fiktiven Extrapolation von Lehman. Bei den Schachspielern ist jedoch zu bedenken, daß sie sich unmittelbar und mit nachweisbarem Erfolg mit dem spielstarken Schachnachwuchs auseinan-

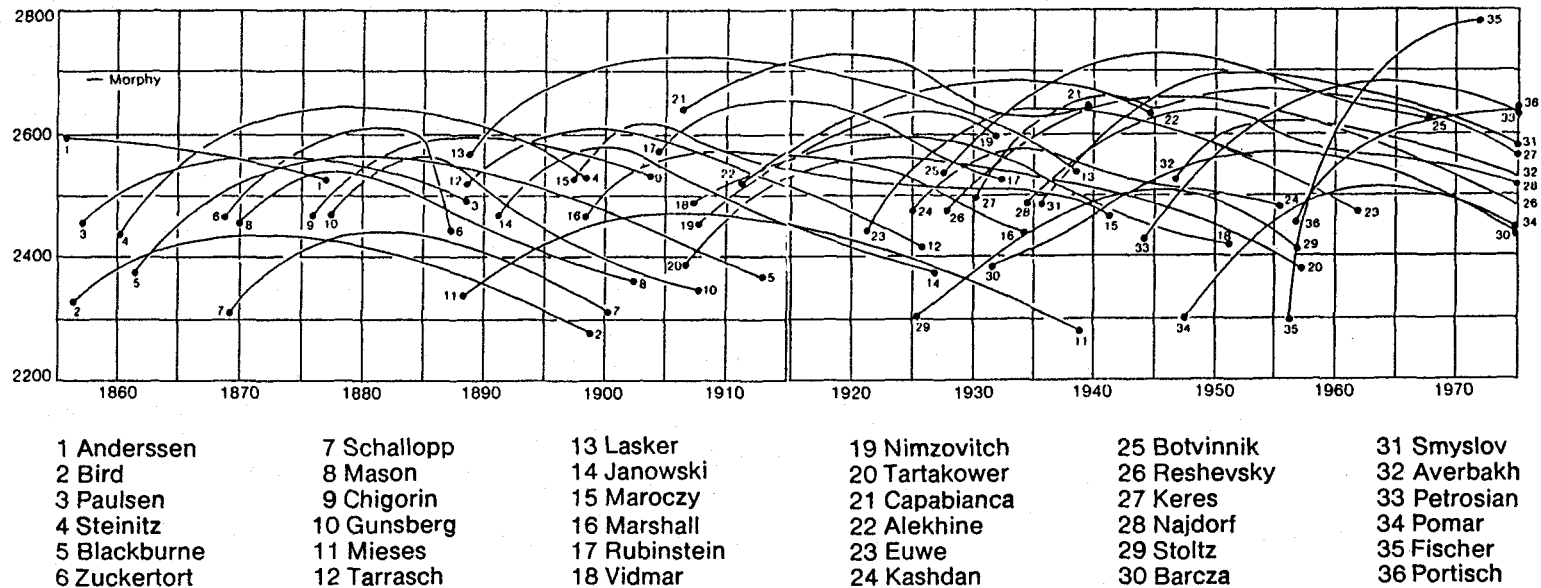


Abbildung 5: Entwicklungskurve der Spielstärke von Schachmeistern (aus Elo 1978, S. 88f.).

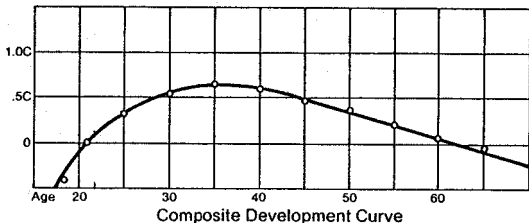


Abbildung 6: Aggregierte Entwicklungskurve der Schachmeister (aus ELO 1978, S. 97; Gitterabstand auf der y-Achse entspricht 100 «ELO-Punkten»).

dersetzen müssen, was höhere und unmittelbare Anforderungen stellen dürfte als Kämpfe gegen «abstrakte» Gegner oder – um ein wissenschaftstheoretisches Schlagwort aufzugreifen – «Spiele gegen die Natur».

Man kann aus diesen Beobachtungen am Schachspiel schließen, daß die Leistungsfähigkeit zumindest der Großmeister im Laufe ihrer Lebensspanne zunächst rapide zunimmt und dann lange auf hohem Niveau bleibt. Die dabei zu erbringenden Wettkampf-Leistungen verlangen zwingend nicht nur umfangreiches Wissen und Kombinations- wie Rechenfähigkeit (aber auch Urteilsgeschwindigkeit, wenn man Schnellschach einbezieht), sondern auch ein beträchtliches Ausmaß sich stets neu zu bewährender Kreativität.

Es muß hier offenbleiben, ob diese an Meisterspielern gemachten Beobachtungen auf «einfache» Schachspieler übertragen werden können. In intellektuellen Wettkämpfen jedenfalls fallen «Senioren» offenbar weniger stark zurück als befürchtet, und in sportlichen Situationen aus einfühlbaren Motiven wohl auch gelegentlich gehofft wird.

8. Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Zusammenfassend kann man aufgrund der hier erzielten Ergebnisse folgende Feststellungen machen.

1. Betrachtet man die Publikationsaktivitäten hervorragender Logiker, kann man für rund 30 Karrierejahre keinen ausgeprägten Aufwärts- oder Abwärtstrend des jährlichen Outputs feststellen; in einer von drei untersuchten

Gruppen erfolgte nach etwa 20 Jahren ein langsamer Rückgang.

2. Untersucht man die Häufigkeit, mit der im Verlauf der wissenschaftlichen Karriere besonders bedeutende Leistungen hervorgebracht werden, zeigt sich, daß der Anteil der Forscher mit solchen Leistungen an den überhaupt aktiven Autoren mit zunehmendem (Karriere-) Alter nicht zurückgeht. Dies war unabhängig nachweisbar an mehreren hundert Logikern sowie an mehreren tausend Mathematikern des 19. Jahrhunderts. Allerdings ist der Altersaufbau der Wissenschaft asymmetrisch: es gibt viel mehr nur für kurze Zeit aktive Wissenschaftler als für lange Zeit aktive.

3. Das Verhältnis von besonders bedeutenden und weniger bedeutenden Veröffentlichungen bei den einzelnen Logik-Autoren weist eine wellenförmige Bewegung auf; der Anteil der besonders bedeutenden Publikationen nimmt nach einem zweiten Gipfel, nach etwa 20 aktiven Jahren, langsam ab, gefolgt von einem schwächer ausgeprägten dritten Gipfel.

4. ELOS Analyse der Entwicklung der Spielstärke von Schachmeistern zeigte, daß deren kognitive Kapazitäten über zwei bis drei Jahrzehnte hinweg nur sehr langsam sinken. Die entsprechenden Kurven weisen eine steile Aufwärtsbewegung auf, sodann einen flachen und langgezogenen Scheitel. Angesichts des unbestrittenen Rückgangs organischer Kapazitäten ist ELOS Deutung des Anstiegs der erfahrungsgebundenen Komponenten der Spielstärke, der den Rückgang organischer Kapazitäten konterkariert, plausibel.

Für die zitierte Befürchtung eines Rückgangs der wissenschaftlichen Schöpferkraft aufgrund einer demographisch bedingten Verschiebung der Altersstruktur ergeben sich nach den Ergebnissen dieser Arbeit nicht einmal in der Mathematik überzeugende Anhaltspunkte. Nach den hier berichteten Ergebnissen und denen ähnlicher anderer Arbeiten muß die Vorstellung, daß mathematische Höchstleistungen geringes Alter voraussetzen, ins Reich der Legenden verwiesen werden – was keineswegs heißt, daß nicht viele grundlegende mathematische Leistungen von jungen Wissenschaftlern erzielt werden. Offen muß hierbei die Charakteristik der in unterschiedlichen Karrierephasen erbrachten wissenschaftlichen Leistungen bleiben.

Es ist nicht auszuschließen, daß sich in jungen Jahren erbrachte fundamentale Beiträge in ihrem innovativen Charakter von später erbrachten Beiträgen unterscheiden, ohne daß dies allerdings die wissenschaftliche Bedeutung dieser letztgenannten Gruppe von Beiträgen tangiert.

Dank

Für die Durchsicht insbesondere der Schach-Passagen danke ich dem Autor, Arzt und Schachgroßmeister Dr. Helmut Pfleger; für Informationen zum Elo-System Herrn Matthias Berndt, Leiter der Wertungszentrale des Deutschen Schachbundes; für die Überlassung von Rohdaten aus der Ω -Bibliography Prof. Dr. Michael M. Richter und Dr. Wolfgang Lenski, Forschungsstelle Mathematische Logik der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Alleinverantwortung für etwaige Fehler und Irrtümer trägt der Autor.

Literatur

- BALTES, PAUL B. (Hrsg.) (1979). *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- BINET, A. (1894). *Psychologie des grands calculateurs et joueurs d'échecs*. Paris.
- CAMPBELL, D. T. (1960). Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes. *The Psychological Review*, 67, 380–400.
- COLE, S. (1979). Age and scientific performance. In: *American Journal of Sociology*, 84, 958–977.
- DARMSTAEDTER, L. (1908). *Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik*. 2., umgearb. u. verm. Aufl. unter Mitw. von R. DU BOIS-REYMOND u. C. SCHAEFER. Berlin: Springer.
- ELO, A. E. (1978). *The rating of chessplayers, past and present*. New York: Arco Publishing.
- FRIEDEL, F. (1994). Das neue Rating-System von Intel. *Die Schachwoche*, 15 (23), 25–28.
- GASCOIGNE, R. M. (1984). *A historical catalogue of scientists and scientific books*. From the earliest times to the close of the nineteenth century. New York, London: Garland.

- GOFFMAN, W. & KENNETH S. W. (1980). *Scientific information systems and the principle of selectivity*. New York: Praeger.
- GRUBER, H. (1991). *Qualitative Aspekte von Expertise in Schach. Begriffe, Modelle, empirische Untersuchungen und Perspektiven der Expertiseforschung*. München, Univ. Diss.
- HARDY, G. H. (1940). *A mathematician's apology*. Cambridge.
- LEHMAN, H. C. (1953). *Age and achievement*. Princeton: Univ. Pr.
- MÜLLER, G. H. (ed.) (1987). *Ω -Bibliography of Mathematical Logic*, 1–6, Berlin (u. a.): Springer.
- PRICE, D. J. DE SOLLA (1974). *Little science, big science*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- ROMANIUK, J. G. & ROMANIUK M. (1981). Creativity across the life span: A measurement perspective. In: *Human Development*, 24, 366–381.
- SIMONTON, D. K. (1985). Quality, quantity and age: The careers of 10 distinguished psychologists. In: *International Journal of Aging and Human Development*, 21, 241–254.
- (1988). Age and outstanding achievement: What do we know after a century of research? In: *Psychological Bulletin*, 104, 251–267.
- (1988a). Scientific genius. *A psychology of science*. Cambridge: Univ. Pr.
- STEPHAN, P. E. & SHARON G. L. (1992). *Striking the mother lode in science*. The importance of age, place, and time. New York: Oxford Univ. Pr.
- STERN, N. (1978). Age and achievement in mathematics: a case-study in the sociology of science. In: *Social Studies of Science*, 8, 127–140.
- WAGNER-DÖBLER, R. & BERG J. (1993). *Mathematische Logik von 1847 bis zur Gegenwart*. Eine bibliometrische Untersuchung (= Grundlagen der Kommunikation und Kognition). Berlin, New York: de Gruyter.
- (1996). Nineteenth-century mathematics in the mirror of its literature. A quantitative approach. In: *Historia Mathematica*, 23 288–318.
- WEINERT, F. E. (1990). Der aktuelle Stand der psychologischen Kreativitätsforschung und einige daraus ableitbare Schlußfolgerungen für die Lösung praktischer Probleme. In: HOFSCHEIDER H. P. & MAYER K. U., Hrsg.: *Generationsdynamik und Innovation in der Grundlagenforschung*. München: *Max-Planck-Gesellschaft*. 21–44. (Berichte u. Mitteilungen, H. 3)
- WEINGART, P. (u. a.) (1993). Die sog. Geisteswissenschaften: Außenansichten. Die Entwicklung der Geisteswissenschaften in der BRD 1954–1987. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Eingegangen am 4.6.1996

Dr. Roland Wagner-Döbler, Institut für Philosophie, TU München, Lothstr. 17, D-80335 München