

PREPRINT 3

Ulf Hashagen, Hans Dieter Hellige (Hg.)

Rechnende Maschinen im Wandel:
Mathematik, Technik, Gesellschaft
Festschrift für Hartmut Petzold zum
65. Geburtstag

Deutsches Museum



Preprint 3

Ulf Hashagen, Hans Dieter Hellige:

**Rechnende Maschinen im Wandel:
Mathematik, Technik, Gesellschaft.**
Festschrift für Hartmut Petzold zum 65. Geburtstag.

2011

Inhalt

Vorwort	5
Erhard Anthes Zur Einführung des logarithmischen Rechenstabes im deutschen Bildungssystem	9
Joachim Fischer Zur Rolle von Heinz Adler zwischen Ludwig Albert Ott und Alwin Oswald Walther	33
Ulf Hashagen Rechner für die Wissenschaft: »Scientific Computing« und Informatik im deutschen Wissenschaftssystem 1870–1970	111
Rudolf Seising Vom harten Rechnen zum Soft Computing. Oder: Rechenkünstler sind nie modern gewesen!	153
Hans Dieter Hellige Die Aktualität von Hartmut Petzolds Sozialgeschichte des Computing	199
Schriftenverzeichnis Hartmut Petzold	215
Abbildungsnachweise	221

Ulf Hashagen

Rechner für die Wissenschaft: »Scientific Computing« und Informatik im deutschen Wissenschaftssystem 1870–1970*

Einleitung

Am Anfang des 20. Jahrhunderts stand Mathematikern, Naturwissenschaftlern und Ingenieuren eine Reihe von mathematischen Methoden (numerischen und graphischen Verfahren) sowie technischen Hilfsmitteln (Instrumente, Apparate, Maschinen, Tafelwerke) zur Verfügung, um exakte Lösungen bzw. Näherungslösungen für mathematische Probleme »ausrechnen« zu können, die im Zusammenhang mit ihrer wissenschaftlichen oder praktischen Arbeit auftraten. Ein genauerer Blick zeigt, dass um 1900 ein ganzer »Apparate- und Methoden-Zoo« zur Verfügung stand, dessen Klassifizierung – um im Bild zu bleiben – einen sehr kundigen »Apparate- und Methoden-Zoologen« erforderte, um die »Morphologie« und »Anatomie« der Apparate und deren »Physiologie« (in Bezug auf die informationsverarbeitenden Funktionen) zu überblicken. So gab es z. B. weit verbreitete Apparate und Methoden wie Rechenschieber und Planimeter¹, mechanische Rechenmaschinen, Multiplikations- und Logarithmentafeln oder das Runge-Kutta-Verfahren zur numerischen Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen, aber auch nur in Einzel-exemplaren existierende Geräte, wie die im 19. Jahrhundert verschiedentlich entwickelten Gleichungswaagen.²

Am Ende des 20. Jahrhunderts waren fast alle der oben genannten »Abteilungen« samt ihren »Stämmen« und »Unterstämmen« ausgestorben und durch zwei neue »Arten« verdrängt worden – von dem in den 1940er Jahren erfundenen Computer (genauer: der elektronischen digitalen programmgesteuerten Rechenmaschine) und dem in den 1960er Jahren entwickelten elektronischen Taschenrechner. Während die graphischen Rechenmethoden, der Rechenschieber und die Tafelwerke vollständig verschwanden und von den technischen Hilfsmitteln am Ende des 20. Jahrhunderts nur ganz wenige mathematische Instrumente ein Nischendasein fristeten,³ gelangten die numerischen Methoden in einer »Symbiose« mit dem Computer zu einer neuen und nie geahnten

* Eine stark gekürzte Version dieses Aufsatzes ist kürzlich unter dem Titel »Computer für die Wissenschaft: Wissenschaftliches Rechnen und Informatik im Deutschen Wissenschaftssystem 1870–1970« erschienen in Orth/Oberkrome, *Deutsche Forschungsgemeinschaft*, 2010, S. 145–162.

1 Vgl. dazu auch die Beiträge von Erhard Anthes und Joachim Fischer in diesem Band.

2 Vgl. für die Entwicklung vor dem Ersten Weltkrieg die zeitgenössischen Darstellungen in Mehmke, *Numerisches Rechnen*, 1902; Jacob, *Le calcul mécanique*, 1911, und Riebesell, *Gleichungswagen*, 1914.

3 Für einen Überblick über mathematische Instrumente vgl. Fischer, *Instrumente zur Mechanischen Integration*, 1995, und Fischer, *Instrumente zur Mechanischen Integration II*, 2002, sowie für Tafelwerke Grier, *Computers*, 2005.

Blüte⁴ und gewannen bis zum Ende des 20. Jahrhunderts eine außerordentliche Bedeutung für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts setzten sich »Scientific Computing« und Computersimulation neben Theorie und Experiment als »dritter Weg« in den Natur- und Ingenieurwissenschaften durch; außerdem veränderten computerbasierte Techniken und Methoden (wie CAD/CAM und »Finite Element Method«) das »praktische Handeln« in der Technik grundlegend.⁵

Trotz dieser offensichtlich großen Bedeutung der Methoden und Hilfsmittel des »Wissenschaftlichen Rechnens« für die natur- und ingenieurwissenschaftliche Forschung hat sich die Wissenschafts- und Technikgeschichte bisher relativ wenig mit dieser Thematik auseinander gesetzt.⁶ Zudem wurden in fast allen Studien ausschließlich bestimmte Aspekte dieses Prozesses unter sehr spezifischen historiographischen Perspektiven untersucht: So liegen bisher vor allem mathematikhistorische Untersuchungen über die numerischen und graphischen Methoden⁷ und informatikhistorische Studien über die Geräte⁸ mit einer eher disziplinentorientierten historiographischen Perspektive vor. Andere Studien beschränken sich weitgehend auf die Vorgeschichte des Wissenschaftlichen Rechnens bis zur Erfindung des Computers⁹ oder auf das Phänomen der Computersimulation.¹⁰

In diesem Essay wird hingegen versucht, einen Überblick über die Entwicklung des Wissenschaftlichen Rechnens und der Entstehung der Informatik in einem nationalen Wissenschafts- und Innovationssystem über einen längeren Zeitraum zu gewinnen, der die Vorgeschichte und Geschichte des Computers von 1870 bis 1970 umfasst.¹¹ Den Beginn des Zeitraums markiert dabei der erste und gescheiterte Versuch, das Wissenschaftliche Rechnen im deutschen Wissenschaftssystem als »Querschnittsdisziplin« zu etablieren. Am Ende des Zeitraums steht die Institutionalisierung der Numerischen Mathematik als neu etablierte computerbasierte Subdisziplin der Mathematik sowie der »Grundlagendisziplin« Informatik als westdeutsche Form der Disziplin »Computer Science«. Entgegen der bisherigen Historiographie der Informatikgeschichte ist die Studie nicht ausschließlich als Fachgeschichte (und Vor-

4 Vgl. z. B. Aspray, *Transformation*, 1989; Collatz, *Numerik*, 1990, und Brezinski/Wuytack, *Numerical Analysis*, 2001.

5 Vgl. z. B. Nash, *History*, 1990.

6 Vgl. dazu die Bibliographie Yost, *Bibliographic Guide*, 2002. Zur Frage der Bedeutung des Computers für die wissenschaftliche Forschung vgl. auch Agar, *What Difference*, 2006.

7 Vgl. z. B. Goldstine, *History of Numerical Analysis*, 1977; Maurer, *Karl Culmann*, 1998, und Tournès, *L'intégration graphique*, 2003.

8 Die besten Überblicksstudien sind Campbell-Kelly/Aspray, *Computer: A History*, 2004, und Ceruzzi, *A History of Modern Computing*, 2003.

9 Vgl. die beiden Studien Croaken, *Early Scientific Computing*, 1990, und Grier, *Computers*, 2005.

10 Vgl. z. B. die Studien Galison, *Computer Simulations*, 1996; Schweber/Wachter, *Complex Systems*, 2000, und Heymann, *Modeling Reality*, 2006.

11 Grundlagen für eine derartige Analyse finden sich mit unterschiedlichen historiographischen Ansätzen in den Studien Petzold, *Rechnende Maschinen*, 1985; Petzold, *Moderne Rechenkünstler*, 1992; Mehrten, *Mathematics*, 1996, und Hellige, *Geschichten*, 2004.

geschichte der Informatik) angelegt,¹² sondern sie fasst den Computer sowie die numerischen und graphischen Verfahren, die Tafelwerke sowie die mathematischen Instrumente, Apparate und Maschinen auch als ein (teilweise miteinander verbundenes) Instrumentarium auf, das als eine spezifische Art von »Research Technology«¹³ in Natur- und Ingenieurwissenschaften genutzt wurde. Der historische Prozess kann dann nur durch die Analyse verschiedener »Fachgeschichten« verstanden werden, die durch Institutionen wie Hochschulen, Ministerien, wissenschaftliche Fachgesellschaften und Förderorganisationen sowie Aushandlungsprozesse im gesamten Wissenschaftssystem miteinander verknüpft waren. Dabei fragt der Beitrag nach der Bedeutung von nationalen disziplinübergreifenden oder disziplinären Wissenschaftsideologien sowie von institutionellen Strukturen des Wissenschaftssystems für die Nutzung und Entwicklung von Methoden und Instrumenten des Wissenschaftlichen Rechnens und für die Herausbildung der Disziplin Informatik. Die Beantwortung solcher Fragen verlangt – was hier nicht näher ausgeführt werden kann und soll – nicht nur eine Abkehr von der bisher vorherrschenden disziplinenorientierten Historiographie der Computer- und Mathematikgeschichte, sondern ebenso von der vorherrschenden Aufspaltung technik- und wissenschaftshistorischer Forschungsansätze.¹⁴ So werden z. B. die der Mathematikgeschichte »zugehörigen« numerischen und graphischen Verfahren in der historischen Analyse prinzipiell als »gleichrangig« zu den der Computergeschichte »zugehörigen« mathematischen Instrumenten und Maschinen behandelt, und es werden die Nutzer der mathematischen Methoden, Instrumente und Maschinen als entscheidende Akteure begriffen.¹⁵ Dabei wird untersucht, wie sich in verschiedenen Disziplinen bestimmte Kulturen des Wissenschaftlichen Rechnens herausbildeten¹⁶ und unter disziplinimmanenten wie allgemeinen kulturellen und institutionellen Bedingungen konstant blieben oder sich veränderten bzw. mit mathematischen Wissenskulturen aus anderen disziplinären oder nationalen wissenschaftlichen Gemeinschaften in Kontakt, Austausch oder bewusste Abgrenzung traten.¹⁷

12 Für die Problematik des Einflusses der Fachwissenschaftler auf die Geschichtsschreibung ihres Faches vgl. Rheinberger, *Rezente Wissenschaft*, 2006, und speziell für die Informatik Mahoney, *History of Computing*, 1988. Zur Disziplinenformierung in der Informatik vgl. Mahoney, *Software*, 2002, und Coy, *Was ist Informatik*, 2004.

13 Der Begriff der »Research Technology« muss dabei in einem anderen Sinne definiert und interpretiert werden, als es B. Joerges und T. Shinn in ihrer Arbeit Joerges/Shinn, *Research Technology*, 2000, tun, da das auf dem Computer und den numerischen Methoden basierende »Scientific Computing« nicht in die dort entwickelte »Taxonomie« passt.

14 Vgl. zu dieser Problematik z. B. mit ganz unterschiedlichen Positionen Wengenroth, *Zur Differenz*, 1997, und Forman, *Primacy*, 2007.

15 Zur Rolle von Techniknutzern vgl. Oudshoorn/Pinch, *How Users Matter*, 2003.

16 Für einen Überblick zu »Cultures of Scientific Practice« vgl. z. B. Ash, *Vielschichtigkeiten*, 2007.

17 Eine disziplinenorientierte Computer- oder Mathematikgeschichte bietet kaum Ansätze, derartige Prozesse zu beschreiben, da es hier mehr um Abgrenzungsstrategien von Wissenschaftlern geht – um »Boundary Work«, wie es der Soziologe Thomas Gieryn in einem anderen Kontext definiert hat, s. Gieryn, *Boundaries*, 2001.

Grundkonstellationen des deutschen Wissenschaftssystems (1870–1918)

Der erste Versuch einer Institutionalisierung des Wissenschaftlichen Rechnens im deutschen Wissenschaftssystem fand in den 1870er Jahren statt. Auf Initiative des einflussreichen Direktors der Berliner Sternwarte, Wilhelm Foerster (1832–1921), wurde 1874 in Berlin ein *Astronomisches Recheninstitut* und ein damit verbundenes *Seminar für wissenschaftliches Rechnen* errichtet. Das an der Berliner Universität angesiedelte Seminar hatte den universellen Anspruch, Studierende der Mathematik und der exakten Naturwissenschaften in die Theorie und Praxis wissenschaftlicher Berechnungen einzuführen. Das sehr breit gehaltene Unterrichtsprogramm umfasste neben den für die Naturwissenschaften wichtigsten numerischen Rechenverfahren auch Methoden zur systematischen Kontrolle von Rechnungen und zur zweckmäßigen Handhabung von Tafelwerken und Rechenhilfsmitteln, ohne dass ein spezieller Anwendungskontext im Mittelpunkt stand.¹⁸

Foersters Initiative war eine Reaktion auf eine im 19. Jahrhundert entstandene und bis weit in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts hinein wirksame Grundkonstellation des deutschen Wissenschaftssystems. War das Wissenschaftliche Rechnen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine charakteristische und anerkannte Aktivität des Naturwissenschaftlers bzw. Mathematikers gewesen – dies manifestierte sich in der Person von Carl Friedrich Gauß (1777–1855), dessen Rechenfertigkeiten von der wissenschaftlichen Öffentlichkeit bewundert wurden¹⁹ –, so galt das Wissenschaftliche Rechnen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nicht nur als eine wissenschaftlich inferiore Tätigkeit, sondern die zu Beginn des 19. Jahrhunderts vorherrschende Assoziation des Rechnens mit Intelligenz hatte sich ins Gegenteil verkehrt.²⁰ Hinzu kam, dass während des 19. Jahrhunderts die Mathematik gerade im deutschen Wissenschaftssystem einen intensiven Theoretisierungsprozess durchlaufen hatte. Die Objekte der Mathematik waren 1870 meist schon nicht mehr an Objekte aus der Physik oder Astronomie gebunden, und mathematische Theorien hatten sich immer mehr zu nur noch auf sich selbst bezogenen Symbolsystemen entwickelt.²¹ Durch das vorherrschende Methodenideal der »Reinen Mathematik« hatte die »Angewandte Mathematik« stark an Bedeutung verloren, und numerische Methoden, die vor 1850 noch mit im Zentrum der Forschungstätigkeit vieler Mathematiker gestanden hatten,²² stellten keinen interessanten Forschungsgegenstand mehr dar.

Der Versuch, mit dem *Seminar für wissenschaftliches Rechnen* eine Institution zu schaffen, die dieser Entwicklung entgegenwirken könnte, und das Wissenschaftliche Rechnen als neue naturwissenschaftliche »Querschnittsdisziplin« zu etablieren, scheiterte, denn das Seminar blieb in seiner disziplinären Ausstrahlung auf die Astronomie beschränkt. Es erwies sich als unmöglich, das Wissenschaftliche Rechnen gegen das

18 Vgl. *Reglement*, 1879.

19 Vgl. Galle, *Gauss*, 1918, und Maennchen, *Gauss*, 1930.

20 Für die Entwicklungen im englischen und französischen Wissenschaftssystem vgl. Daston, *Enlightenment Calculations*, 1994.

21 Vgl. Mehrtens, *Moderne*, 1990, und Epple, *Moderne*, 1996.

22 Vgl. Goldstine, *History of Numerical Analysis*, 1977.

Methodenideal der »Reinen Mathematik« im deutschen Universitätssystem durchzusetzen und die im 19. Jahrhundert aufgebauten disziplinären Grenzen zwischen Mathematik, Physik, Astronomie und Geodäsie zu überwinden.



Abb. 1: Wilhelm Foerster.

Erst um die Jahrhundertwende zeigte sich im deutschen Wissenschaftssystem in verschiedenen Bereichen der Natur- und Ingenieurwissenschaften ein neues Interesse am numerischen Rechnen: So erschienen neue grundlegende Arbeiten zur Numerischen Mathematik – wie z. B. zur numerischen Lösung von gewöhnlichen Differentialgleichungen – und eine Reihe von Monographien bedeutender Wissenschaftler zu verschiedenen Bereichen der Numerischen Mathematik und des Wissenschaftlichen Rechnens.²³ Außerdem gelang es dem Doyen der deutschen Mathematik, Felix Klein (1849–1925), durch seine guten Beziehungen zum Ministerialdirektor und »heimlichen Kultusminister« in Preußen, Friedrich Althoff (1839–1908), eine neu definierte Subdisziplin »Angewandte Mathematik« im deutschen Wissenschaftssystem zu etablieren, die für die Weiterentwicklung der numerischen, graphischen und instrumentellen Rechenmethoden sowie für deren Stellung im deutschen Wissenschaftssystem große Bedeutung erlangen sollte.²⁴ Der Ausgangspunkt für Kleins Aktivitäten waren die in den 1890er Jahren geführten Auseinandersetzungen um den mathematischen Unterricht an den Tech-

23 Vgl. z. B. Runge, *Praxis der Gleichungen*, 1900; Lüroth, *Vorlesungen*, 1900, und Bruns, *Grundlinien*, 1903. Diese Entwicklungen fügen sich sehr gut in ein Bild ein, das für die Jahrhundertwende eine hohe Entwicklungsdynamik des deutschen Wissenschaftssystems konstatiert, s. Szollösi-Janze, *Science and Social Space*, 2005.

24 Zur Bedeutung F. Kleins und F. Althoffs in der deutschen Wissenschaftspolitik vgl. Manegold, *Universität*, 1970; vom Brocke, *Wissenschaftsverwaltung*, 1988, und Tobies, *Verhältnis*, 1990.

nischen Hochschulen (»Antimathematische Bewegung«),²⁵ die zu einem neuen mathematischen Unterrichtsparadigma führten: Der Mathematikunterricht für Ingenieure setzte sich nach 1900 mehr mit den durch technische Probleme gegebenen Fragestellungen auseinander und maß dabei numerischen und graphischen Rechenmethoden große Bedeutung bei.²⁶ Auf Initiative von Klein wurde das Fach »Angewandte Mathematik« (Darstellende Geometrie, Geodäsie, Technische Mechanik) 1898 in die preußische Prüfungsordnung für Lehramtskandidaten aufgenommen und an den preußischen Universitäten eine partielle Institutionalisierung des neuen Faches durchgesetzt.²⁷



Abb. 2: Carl Runge.

Im Zuge dieser Institutionalisierungsbemühungen wurde 1904 der Mathematiker Carl Runge (1856–1927) auf den neu geschaffenen Lehrstuhl für Angewandte Mathematik an der Universität Göttingen berufen, und in der Folge entwickelte sich Göttingen unter Runges Leitung zum führenden Zentrum für Angewandte Mathematik. Runge gab der Angewandten Mathematik einen disziplinären Kern, in dessen Zentrum numerische, graphische und instrumentelle Verfahren standen, die unter dem Titel »Praktische Mathematik« zu einem Forschungs- und Unterrichtsprogramm zusammengefasst wurden.²⁸ Die von Runge durchgeführten systematischen Untersuchungen zu mathematischen Instrumenten und Rechenmaschinen und deren Nutzung in Mathematik und Naturwissenschaften korrespondierten mit der führenden Stellung der deutschen Instrumentenindustrie auf diesem Gebiet – und umgekehrt trug zu der führenden Stellung der deutschen Instrumentenindustrie auch eine intensive Kooperation mit Wissenschaftlern

25 Vgl. Hensel, *Auseinandersetzungen*, 1989.

26 Vgl. Hashagen, *Walther von Dyck*, 2003.

27 Vgl. Schubring, *Pure and Applied Mathematics*, 1989.

28 Vgl. z. B. Runge und Prandtl, *Institut für angewandte Mathematik und Mechanik*, 1907, und von Sanden, *Praktische Analysis*, 1914, sowie die Studie Richenhagen, *Carl Runge*, 1985.

bei.²⁹ Trotzdem blieb die Praktische Mathematik in ihrer disziplinären Wirkung auf das deutsche Wissenschaftssystem im Kaiserreich relativ beschränkt, da sie unter einer geringen wissenschaftlichen Akzeptanz litt und ihre personelle Basis schmal blieb: Der von Runges Göttinger Mathematikerkollegen Edmund Landau (1877–1938) überlieferte Ausspruch »Es handelt sich ja bei der numerischen Mathematik bloß um Schmieröl«³⁰ steht für sich selbst. Es gelang bis zum Ende des Kaiserreichs nicht, die Angewandte Mathematik an den deutschen Universitäten durch eine größere Zahl von Professuren zu etablieren, vielmehr wurde die universitäre Lehre in diesem Feld meist nur durch Lehraufträge ausgefüllt.



Abb. 3: Rechenmaschine Gauss (1905).

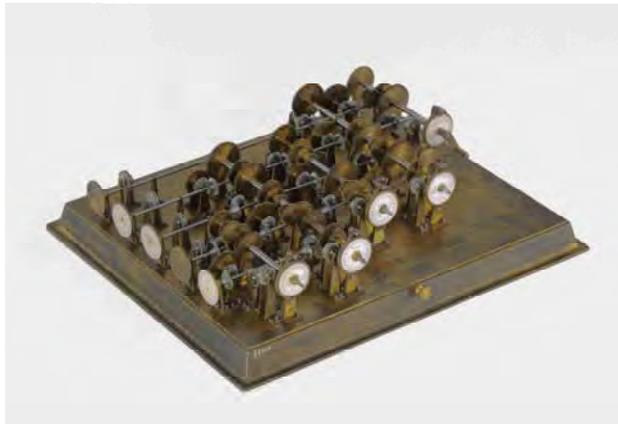


Abb. 4: Maschine zum Lösen von Gleichungen von Joseph Nowak (1915).

29 Vgl. die Anmerkungen in Fischer, *Instrumente zur Mechanischen Integration*, 1995; Fischer, *Instrumente zur Mechanischen Integration II*, 2002, und in Hashagen, *Rechenmaschine Gauss*, 2003, sowie allgemein zur »Research-Technology Matrix« im Deutschen Kaiserreich Shinn, *Research-Technology Matrix*, 2001.

30 Vgl. Ostrowski, *Entwicklung*, 1966, S. 61.

Im Ganzen entwickelte das deutsche Wissenschaftssystem – trotz starker wissenschafts-ideologischer Gegenkräfte – durch die unter der Führung von Klein und Runge im »System Althoff« durchgeführten institutionellen Innovationen im Bereich der Angewandten und Praktischen Mathematik im Kaiserreich einen teilweise erheblichen Vorsprung vor dem englischen, französischen und amerikanischen Wissenschaftssystem. Während solche Innovationen im amerikanischen System zu dieser Zeit fast völlig fehlten,³¹ ist bei französischen Mathematikern und Ingenieuren eine starke Betonung der graphischen Methoden³² und bei britischen Wissenschaftlern eine Konzentration auf die Publikation von Tafel- und Tabellenwerken zu konstatieren –; die im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts von britischen Wissenschaftlern initiierten wegweisenden Konstruktionen von mathematischen Instrumenten wurden nach 1900 kaum weiter verfolgt.³³

Innovation – Rückstand – Ressourcenmangel (1918–1933)

Die im Kaiserreich angelegten Entwicklungspfade fanden in der Weimarer Republik im Rahmen einer der großen Innovationsleistungen des deutschen Wissenschaftssystems – der engen Kopplung von Ingenieurwissenschaften mit mathematischen und experimentell-naturwissenschaftlichen Methoden, wie sie sich z. B. in der Ausformung der Aerodynamik manifestierten³⁴ – ihre Fortsetzung. Der Erste Weltkrieg wirkte dabei auf das deutsche Wissenschaftssystem im Bereich der Angewandten Mathematik wie ein Katalysator, der bestimmte im Kaiserreich angelegte Entwicklungen entscheidend vorantrieb und unmittelbar nach Kriegsende zu neuen Initiativen und Konstellationen führte.³⁵ In vielen Bereichen der Ingenieurwissenschaften, wie z. B. in der Technischen Mechanik, traten neuartige Problemstellungen auf, die mit dem bisherigen Methodenarsenal nur schwer oder gar nicht lösbar waren. Der VDI gründete 1921 zur wissenschaftlichen Diskussion dieser Probleme die *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM)*, die von dem Berliner Ordinarius für Angewandte Mathematik, Richard von Mises (1883–1953), herausgegeben wurde. Ein Jahr später wurde die *Gesellschaft für angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM)* als »deutsche ingenieurwissenschaftliche Vereinigung« gegründet und damit eine neue »Bindedisziplin« zwischen Ingenieurwissenschaften und Mathematik etabliert, deren variable Forschungsagenda durch die theoretischen, experimentellen und mathematischen Probleme gegeben war, die in den Ingenieurwissenschaften auftauchten.³⁶ Anders als bei den Klein-Rungeschen Aktivitäten zur Etablierung der Angewandten

31 Vgl. Siegmund-Schultze, *Late Arrival*, 2003.

32 Vgl. Tournès, *Junius Massau*, 2003, und Tournès, *L'intégration graphique*, 2003.

33 Vgl. Croarken/Campbell-Kelly, *Beautiful Numbers*, 2000, und Care, *Chronology*, 2006/2007.

34 Vgl. Eckert, *Discipline*, 2006.

35 Der Einfluss des Ersten Weltkrieges auf die Entwicklung von Naturwissenschaft und Technik in Deutschland ist ein Forschungsdesiderat, so dass man bis auf generelle Studien über die Wissenschaftsentwicklung wie Trischler, *Räumlichkeit*, 1996, und Szöllösi-Janze, *Science and Social Space*, 2005, in erster Linie auf zeitgenössische Darstellungen wie Schmidt, *Deutsche Naturwissenschaft*, 1919, und Schwarte, *Technik*, 1920, angewiesen bleibt.

36 Vgl. Gericke, *Gesellschaft für angewandte Mathematik*, 1972, und Tobies, *Formierung*, 1983.

Mathematik im Kaiserreich war das Ziel nicht die Schaffung einer mathematischen Subdisziplin, da weder klare Fachgrenzen noch eine eindeutige Forschungsagenda definiert waren,³⁷ sondern hier wurde sehr erfolgreich »Boundary Work« betrieben.³⁸

Den hoch innovativen Schöpfungen ZAMM und GAMM stand auch in der Weimarer Republik eine eher zwiespältige Institutionalisierung der Angewandten Mathematik gegenüber. Das Göttinger Institut erlebte unter den finanziell schlechten Bedingungen der Nachkriegszeit und einer einsetzenden wissenschaftlichen Erstarrung der Rungeschen Forschungsagenda einen Niedergang.³⁹ Dessen Führungsrolle wurde von dem 1919 von Richard von Mises an der Universität Berlin gegründeten *Institut für angewandte Mathematik* übernommen. Während von Mises an seinem neuen Institut ein umfangreiches Forschungs- und Lehrprogramm entwickelte, das auch numerische, graphische und instrumentelle Methoden einschloss,⁴⁰ endete die Rungesche Tradition der Angewandten Mathematik in Göttingen mit der Emeritierung Runges im Jahr 1925; zudem blieben die wenigen Professuren für Angewandte Mathematik an den übrigen Universitäten wissenschaftlich fast ohne Wirkung. An den Technischen Hochschulen war die Situation der Angewandten Mathematik besser, da in den 1920er Jahren einige jüngere Angewandte Mathematiker auf Lehrstühle berufen und teilweise sogar Institute für Angewandte und Praktische Mathematik geschaffen wurden – die wissenschaftliche Wirkung blieb indes durch die starke Unterrichtsorientierung der Mathematiker an Technischen Hochschulen beschränkt.⁴¹



Abb. 5: Richard von Mises.

37 Vgl. den zeitgenössischen programmatischen Artikel von Mises, *Aufgaben und Ziele*, 1921.

38 Vgl. dazu den theoretischen Rahmen in der schon zitierten Studie Gieryn, *Boundaries*, 2001.

39 Vgl. Ostrowski, *Entwicklung*, 1966.

40 Vgl. Bernhardt, *Zur Institutionalisierung*, 1980.

41 Beispielhaft hierfür ist die Entwicklung an der TH Darmstadt, die z. T. in de Beauclair, *Prof. A. Walther*, 1983, dargestellt ist.

Betrachtet man die wissenschaftliche Entwicklung der numerischen, graphischen und instrumentellen Methoden in Deutschland, so ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Die Praktische Mathematik wurde in den 1920er Jahren durch Runge und seine Schüler zu einem geschlossenen System ausgebaut – die publizierten Lehrbücher konturierten dieses Forschungsfeld und spiegelten zugleich die nach dem Krieg einsetzende Stagnation der Rungeschen Bestrebungen wider.⁴² Die numerischen und graphischen Methoden sowie die mathematischen Instrumente erhielten vor allem durch die Tätigkeit von Mises' in Berlin und durch die Gründung der ZAMM und der GAMM neue Impulse, da es eine Reihe ungelöster Probleme der Praktischen Mathematik gab, die größere Bedeutung für die ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen hatte.⁴³ So wurden in der ZAMM regelmäßig numerische und graphische Rechenmethoden behandelt; sie spielten aber nur eine untergeordnete Rolle in der Forschungsagenda des neu definierten Feldes »Angewandte Mathematik und Mechanik«.

Ein grundlegendes Problem des deutschen Wissenschaftssystems der Weimarer Republik war hingegen, dass es zwar durchaus weltweit führend in der Herstellung mathematischer Instrumente und technisch anspruchsvoller mechanischer Rechenmaschinen blieb, dass es aber mit bestimmten Entwicklungen im amerikanischen Wissenschaftssystem nicht mithalten konnte. Während in den USA der Elektroingenieur Vannevar Bush (1890–1974) am MIT ab den späten 1920er Jahren einen großen Analogrechner (*Differential Analyzer*) zum Lösen von Differentialgleichungen entwickelte und ihn zur Grundlage des Forschungsprogramms seines Instituts machte,⁴⁴ blieben entsprechende Entwicklungen an der TH München Anfang der 1920er Jahre in den Anfängen stecken.⁴⁵ Die beschränkten Finanzmittel des Staates und die mangelnde Akzeptanz der Praktischen Mathematik im deutschen Wissenschaftssystem bildeten die Grundproblematik, die keine größeren Innovationen im Bereich der Instrumentellen Mathematik zuließ. Dies zeigte sich auch ganz deutlich in der Förderpolitik der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, die während der Weimarer Republik fast keine Projekte zur Angewandten und Praktischen Mathematik förderte, bei der Ausstattung von Instituten mit mathematischen Instrumenten und Rechenmaschinen äußerst zurückhaltend agierte und die Konstruktion und den Bau von großen mathematischen Maschinen (z. B. zur Lösung von linearen Gleichungssystemen) nur mit völlig ungenügenden Mitteln förderte.⁴⁶

Vergleicht man außerdem die institutionelle Entwicklung in Deutschland mit der in Frankreich, Großbritannien und den USA, so wird die Stagnation und die mangelnde Innovationskraft des deutschen Wissenschaftssystems im instrumentellen Rechnen umso

42 Vgl. z. B. Runge/König, *Vorlesungen*, 1924, und Willers, *Methoden*, 1928.

43 Vgl. die zeitgenössischen Äußerungen in von Mises, *Aufgaben und Ziele*, 1921.

44 Vgl. Owens, *Vannevar Bush*, 1986.

45 Vgl. Bülow, *Udo Knorr*, 1989, und Hashagen, *Walther von Dyck*, 2003.

46 Zur Entwicklung der Notgemeinschaft und deren Förderpolitik in der Weimarer Republik vgl. Hammerstein, *Deutsche Forschungsgemeinschaft*, 1999; Flachowski, *Notgemeinschaft*, 2008, S. 46–109. Zur Förderpolitik der Notgemeinschaft in der Mathematik vgl. Tobies, *Unterstützung*, 1981; speziell zum Bau mathematischer Maschinen vgl. Bundesarchiv Berlin R 4901, Nr. 1447, und Petzold, *Maschinen zur Lösung verwickelter mathematischer Probleme*, 1996.

deutlicher. So wurden z. B. innerhalb des aerodynamischen Forschungskomplexes des französischen und des britischen Wissenschaftssystems ab den 1920er Jahren elektrische Modellierungstechnologien des Analogrechnens eingesetzt. Dies führte in Frankreich 1932 zur Gründung des *Laboratoire d'Analogies Electriques* an der Sorbonne in Paris – ein Laboratorium, das in dieser Weise keine Entsprechung im deutschen Wissenschaftssystem hatte.⁴⁷ Ebenso fehlte an deutschen Universitäten ein Pendant zu den an einigen britischen Universitäten in den 1920er Jahren gegründeten *Mathematical Laboratories*, die als Dienstleistungszentren für die mathematischen Probleme der Naturwissenschaften dienten.⁴⁸ Selbst das in Deutschland führende Misessche Institut war sehr stark auf Lehr- und Forschungsaufgaben in der Praktischen Mathematik ausgerichtet, aber nur mangelhaft mit Recheninstrumenten und -maschinen ausgestattet und nicht auf Dienstleistungen in der Universität ausgerichtet. Ein ähnliches Bild eines Rückstandes in der Anwendung von Maschinen im Wissenschaftlichen Rechnen zeigt der Vergleich des englischen *Nautical Almanac Office (NAO)* mit dem *Astronomischen Recheninstitut (ARI)* in Berlin. Am NAO führte der Deputy Superintendent Lesley J. Comrie (1893–1950) ab Mitte der 1920er Jahre in extensiver Weise (deutsche!) mechanische Rechenmaschinen sowie später auch Hollerithmaschinen ein und entwickelte neue auf die Nutzung von Maschinen abgestimmte Rechenmethoden für die Berechnung der Ephemeriden.⁴⁹ Während die deutsche Wirtschaft in den 1920er Jahren eine umfassende Mechanisierungs- und Rationalisierungswelle durchlief, die vielfach auch zu einer grundlegenden Neuorganisation der Büroarbeit sowie einem umfangreichen Einsatz von Rechen- und Hollerithmaschinen führte,⁵⁰ blieb es im ARI bei graduellen Veränderungen, wie der Verbesserung der Rechenmethoden und der Einführung von wenigen neueren Rechenmaschinen. Anders als in den ausländischen Schwesterinstituten wurden die Rechnungen im ARI weiterhin von ausgebildeten Astronomen durchgeführt, deren Profession die astronomische Forschung und nicht das Wissenschaftliche Rechnen war.⁵¹

Dabei gab es deutsche Wissenschaftler, die erkannt hatten, dass die wissenschaftliche Entwicklung in den Naturwissenschaften einen Bedarf an wissenschaftlichen Rechnungen erzeugte, die der einzelne Wissenschaftler ohne größere Hilfsmittel nicht mehr allein durchführen konnte. So versuchte der Physiker Max Born (1882–1970) im Jahr 1920 ein nationales Recheninstitut für theoretische und technische Physik zu gründen, das sich der Sammlung, Prüfung und Neuberechnung von Funktionentafeln im großen Stil widmen sowie numerische Auftragsrechnungen und eine systematische Entwicklung von Rechenmethoden durchführen sollte.⁵² Born fand jedoch bei Industriellen und der Notgemeinschaft keine Unterstützung – hier spiegelt sich eine Schwäche der Notgemeinschaft wie des deutschen Wissenschaftssystems in der Weimarer Republik allgemein, da in der

47 Vgl. Mounier-Kuhn, *Institut Blaise-Pascal*, 1998, und Care, *Chronology*, 2006/2007.

48 Vgl. z. B. Whittaker/Robinson, *Calculus*, 1924, und Levy, *Mathematical Laboratory*, 1925.

49 Vgl. Croarken, *Early Scientific Computing*, 1990.

50 Vgl. Nolan, *American Business*, 1994, und Petzold, *Rechnende Maschinen*, 1985.

51 Vgl. z. B. für die USA Grier, *Computers*, 2005.

52 Vgl. Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen Cod. Ms. F. Klein 5C.

Wissenschaftssteuerung zu einem großen Teil weniger auf jüngere, moderne Strömungen aufgreifende Wissenschaftler, sondern auf ältere Wissenschaftler wie den Fachausschussvorsitzenden für Mathematik, Felix Klein, gesetzt wurde.⁵³

Dem deutschen Wissenschaftssystem fehlte in der Weimarer Republik die Innovationskraft, neue Institute für das Wissenschaftliche Rechnen zu gründen bzw. bestehende Institute mit Mitteln für Maschineneinsatz auszustatten und zu modernisieren, was einerseits in der Geringschätzung des maschinellen Rechnens und andererseits in der Finanzkrise des deutschen Wissenschaftssystems begründet war. Diese Beobachtungen führen fast unwillkürlich zu der Feststellung, dass die Krise und die letzte Blüte des deutschen Wissenschaftssystems in der Weimarer Republik zugleich als Misserfolgsgeschichte aufgrund der Finanzkrise zu deuten ist, die Innovationen im Wissenschaftssystem behinderte und die Forscher indessen in theoretische Spitzenleistungen trieb, die nicht so ressourcenabhängig waren.⁵⁴

Ideologisierung und Niedergang (1933–1939)

Die nationalsozialistische Wissenschaftspolitik hatte bekanntermaßen starke Auswirkungen auf die Entwicklung der Mathematik im nationalsozialistischen Deutschland. Neben dem Exodus von fast einem Drittel der habilitierten Mathematiker und dem Verlust der weltweit führenden Stellung führten die Auseinandersetzungen um die »Deutsche Mathematik« zu einer Lähmung des gesamten mathematischen Wissenschaftssystems.⁵⁵ Auch die Angewandte Mathematik wurde entscheidend geschwächt, verlor durch die Emigration von Richard von Mises und Richard Courant (1888–1972) ihre führenden Repräsentanten, und das Misessche Institut erlebte durch die politisch motivierten Berufungen von zweitklassigen nationalsozialistischen Mathematikern einen wissenschaftlichen Niedergang.⁵⁶ Nach dem frühen Tod des Mathematikers Erich Trefftz (1888–1937) von der TH Dresden, der nach der Emigration von Mises die Redaktionsleitung der ZAMM übernommen hatte, fehlte den Angewandten Mathematikern in Deutschland zudem eine Leitfigur.⁵⁷

Trotz der großen Emigrationsverluste wurde auch nach 1933 in einem beschränkten Umfang über numerische, graphische und instrumentelle Methoden geforscht. In der Numerischen Mathematik traten nur wenige jüngere Mathematiker, wie der Mises-Schüler Lothar Collatz (1910–1990), mit wichtigeren Arbeiten hervor. In der Instrumentellen Mathematik war vor allem Alwin Walther (1898–1967) von Bedeutung, der an der TH Darmstadt in Anlehnung an die Göttinger Tradition der Praktischen Mathematik Mitte

53 Vgl. dazu Hashagen, *Walther von Dyck*, 2003, S. 602–605, u. S. 630–640.

54 Zur Entwicklung des deutschen Wissenschaftssystems im 20. Jahrhundert und zu dessen Innovationsfähigkeit vgl. Harwood, *National Styles*, 1987, und Walker, *German Science*, 1997.

55 Vgl. Schappacher/Kneser, *Fachverband*, 1990, und Remmert, *Deutsche Mathematiker-Vereinigung*, 2004.

56 Vgl. Siegmund-Schultze, *Sozialgeschichte*, 1989.

57 Zu Trefftz vgl. die zeitgenössische Darstellung Prandtl, *Erich Trefftz*, 1937.

der 1930er Jahre ein *Institut für Praktische Mathematik (IPM)* gegründet hatte. Walther machte den Bau und die Anwendung mathematischer Instrumente durch eine sich intensivierende Kooperation mit dem Instrumentenbauer Ott in Kempten zur Spezialität des IPM.⁵⁸ Sein Institut entwickelte sich während dieser Zeit zum wohl am besten mit mathematischen Instrumenten ausgestatteten Hochschulinstitut in Deutschland, verfügte aber aufgrund der geringen Anzahl an wissenschaftlichen Mitarbeitern und seiner starken Unterrichtsorientierung nur über relativ geringe Wirkungsmöglichkeiten.⁵⁹



Abb. 6: Assistenten des IPM an der Rechenmaschine.

Überhaupt blieb die Entwicklung von mathematischen Instrumenten und von mechanischen Rechenmaschinen auch in den 1930er Jahren eine Stärke des deutschen Innovationssystems, aber anders als im britischen Wissenschaftssystem kam eine »Adaptation« des amerikanischen *Differential Analyzers*, der den Rahmen der klassischen »Scientific Instruments« sprengte, nicht zustande. Während dieser in Großbritannien in diesem Jahrzehnt nachgebaut und für Berechnungen in Atomphysik und Theoretischer Chemie eingesetzt wurde,⁶⁰ scheiterten die Initiativen von Walther und anderen deutschen Naturwissenschaftlern an fehlenden Mitteln und unzureichender Einsicht der staatlichen Wissenschaftsverwaltungen, die auf die traditionellen Hochleistungen in der Reinen Mathematik setzten.⁶¹ Die gleichzeitige Geringschätzung des maschinellen Rechnens in Deutschland führte weiterhin dazu, dass institutionelle Neugründungen wie in anderen Ländern nicht stattfanden. So gab es in den späten 1930er Jahren in Frankreich am *Institut Poincaré* weit gediehene Pläne für den Bau einer großen Rechenmaschine sowie für ein zentrales Rechenlabor, an einigen Universitäten in Großbritannien den Ausbau bzw. die Neugründung von »Mathematical Laboratories« und in den USA die Gründung

58 Vgl. dazu den Beitrag von Joachim Fischer in diesem Band.

59 Vgl. de Beauclair, *Prof. A. Walther*, 1983.

60 Vgl. Croaken, *Early Scientific Computing*, 1990.

61 Vgl. z. B. Trefftz, *Kongress*, 1934; Bundesarchiv Berlin R/4901, Nr. 2905.

eines *Astronomical Hollerith-Computing Bureau* an der Columbia University, das in umfangreicher Weise Lochkartenmaschinen für astronomische Berechnungen einsetzte.⁶² Bezeichnend für das Zusammenspiel von Ressourcenmangel und Anti-Rechenideologie im deutschen Wissenschaftssystem ist dabei, dass es in militärisch finanzierten und von den Zweckrationalitäten dieses Teilsystems bestimmten wissenschaftlichen Einrichtungen durchaus möglich war, in den 1930er Jahren sehr große Rechengeräte zu bauen: So wurde z. B. in den Jahren 1935 bis 1939 an der Deutschen Seewarte die weltweit größte mechanische Gezeitenrechenmaschine entwickelt.⁶³



Abb. 7: Die zweite deutsche Gezeitenrechenmaschine (1935–1939).

Krieg, Mobilisierung und »Modernisierung« (1939-1945)

Der Kriegsausbruch erwies sich dann als die grundlegende Zäsur für die angewandte mathematische Forschung und für die Stellung der Mathematik im deutschen Wissenschaftssystem. Die Auseinandersetzungen um die »Deutsche Mathematik« hatten bald jede Bedeutung verloren, und es folgte eine Phase der Entideologisierung, Mobilisierung und »Selbstmobilisierung« (Herbert Mehrrens) der Mathematik für die Kriegsforschung, da zunehmend mathematische Verfahren in kriegswichtigen Bereichen (z. B. Aerodynamik, Raketenballistik) angewandt wurden.⁶⁴ Diese Mobilisierung der Mathematik für die Kriegsforschung führte zu einer enormen Intensivierung der Forschung zu numerischen und graphischen Methoden und zur umfassenden Anwendung dieser Methoden in der Kriegsforschung; außerdem wurden in einzelnen Fällen in den Kriegsjahren im umfangreichen Maße Rechengeräte und Hollerithmaschinen eingesetzt sowie mit dem Bau großer mathematischer Maschinen (Integrieranlagen, programm-

62 Vgl. Ramunni, *Louis Couffignal*, 1989; Croaken, *Early Scientific Computing*, 1990; Grier, *Computers*, 2005, und Gutzwiller, *Wallace Eckert*, 1999.

63 Vgl. z. B. Sager, *Gezeiten Voraussagen*, 1955.

64 Für eine Analyse kann auf Arbeiten von H. Mehrrens, M. Epple, V. Remmert und R. Siegmund-Schultze verwiesen werden; vgl. z. B. Mehrrens, *Mathematics*, 1996; Remmert, *Mathematicians*, 1999, und Epple/Remmert, *Synthese*, 2000.

gesteuerte Rechenmaschinen) begonnen.⁶⁵ Wie im amerikanischen und britischen Wissenschaftssystem bewirkte der Krieg auch in Deutschland einen großen Modernisierungsschub für die Entwicklung der Angewandten Mathematik und insbesondere für die Numerische Mathematik sowie für den Bau von neuartigen Rechenmaschinen.⁶⁶ Die teilweise sehr unterschiedlichen Formen, Ursachen und Konsequenzen dieser Entwicklung sollen an drei Beispielen angedeutet werden.

Erstens führten technische Probleme in der Kriegsforschung zu theoretisch wie in der praktischen Anwendung wichtigen Forschungsergebnissen in neuen Gebieten der Numerischen Mathematik. Ein Beispiel dafür sind die von dem Mathematiker Helmut Wielandt (1910–2001) als Mitarbeiter des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen durchgeführten, wegweisenden Untersuchungen zu komplexen Eigenwertaufgaben, die durch Probleme in der Flatterberechnung von Flugzeugflügeln angeregt und fast ausschließlich in internen Berichten publiziert wurden – dies ein typisches Beispiel für die großen Veränderungen in den Kommunikations- und Publikationsstrukturen des deutschen Wissenschaftssystems.⁶⁷

Zweitens wurde in der Kriegsforschung versucht, in neue Größendimensionen der mit numerischen Verfahren möglichen Problemlösungen vorzustoßen; dabei kamen bisweilen im umfangreichen Maße Maschinen zum Einsatz. Dies war z. B. bei einem Teilgebiet der Numerischen Linearen Algebra der Fall, das traditionell große praktische Relevanz in Naturwissenschaft und Technik besaß: die Lösung linearer Gleichungssysteme. Obgleich seit dem 19. Jahrhundert numerische »Standardverfahren« zur Verfügung standen, war die Anwendung auf große Gleichungssysteme mit vielen Unbekannten wegen des stark ansteigenden Rechenaufwandes ein ungelöstes Problem. In der Kriegszeit wurden in Deutschland – anders als noch in den 1920er und 1930er Jahren – zwar kaum wichtige Arbeiten auf diesem Gebiet publiziert,⁶⁸ aber Untersuchungen über den Zeitaufwand bei der Ausführung der Verfahren mit unterschiedlichen Rechenhilfsmitteln, Rechen- und Hollerithmaschinen gemacht, deren Ergebnisse sich direkt an Anwender in der Kriegsforschung wendeten und nur in internen Berichten kommuniziert wurden.⁶⁹ Bei der der Kriegsmarine unterstellten Deutschen Seewarte führte die für die Gezeitenberechnung notwendige numerische Lösung linearer Gleichungssysteme zu einem extensiven Einsatz von Hollerithmaschinen und zur Anfertigung von 20.000.000 Lochkarten.⁷⁰

65 Den besten Überblick liefert dazu immer noch der zeitgenössische Bericht Walther/Dreyer, *Mathematische Maschinen*, 1948.

66 Vgl. hierzu z. B. Dahan Dalmédico, *L'essor*, 1996; Siegmund-Schultze, *Military Work*, 2003, und Goldstine, *Computer from Pascal to von Neumann*, 1972.

67 Zu Wielandt und seinen Arbeiten vgl. Küssner, *Flügelflattern*, 1953; Mehrtens, *Mathematics*, 1996, und Ipsen, *Helmut Wielandt's Contribution*, 1996.

68 Vgl. für einen Überblick Forsythe, *Linear Algebraic Equations*, 1953.

69 Dies ist teilweise dokumentiert in Collatz, *Numerik*, 1948, und Walther/Dreyer, *Mathematische Maschinen*, 1948.

70 Vgl. Horn, *Gezeiten*, 1948.

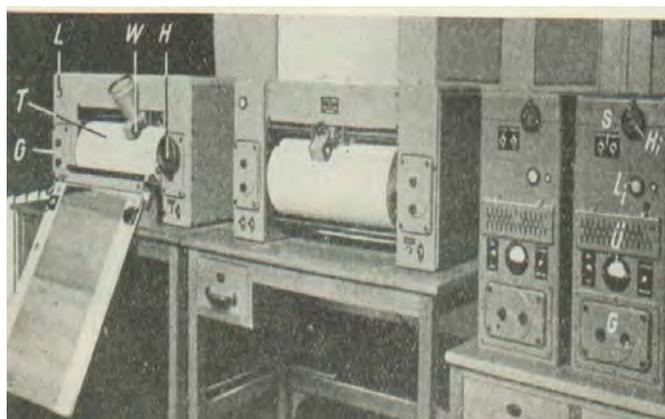


Abb. 8: Integriermaschine Sauer-Askania.

Drittens gab es Gebiete, in denen sich eine »Finalisierung«⁷¹ der Forschungstätigkeit in sehr unterschiedlichen Stufen zeigte, die von der Erstellung von Handbüchern bis zum Bau großer neuer mathematischer Maschinen reichte. Diese Veränderungen im Forschungsprozess lassen sich z.B. bei der Lösung von gewöhnlichen Differentialgleichungen gut nachvollziehen – ein Gebiet, das von enormer praktischer Bedeutung für eine große Zahl technischer Anwendungen war. Während des Krieges wurden für solche Aufgabenstellungen in extensiver Weise numerische Berechnungen durchgeführt, eine große Zahl von Arbeiten über spezielle Typen von Differentialgleichungen sowie über numerische und graphische Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen publiziert und unzählige Berichte über speziell angepasste Verfahren für ballistische und andere Probleme an Dienststellen der Luftfahrtforschung und des Heereswaffenamtes gesandt.⁷² Die markanteste durch den Krieg hervorgerufene Veränderung war jedoch, dass schon kurz nach Kriegsausbruch mit dem Bau von Integrieranlagen zur Lösung von Differentialgleichungen nach dem Vorbild des amerikanischen *Differential Analyzer* begonnen wurde: Alwin Walther erhielt 1939 den Auftrag, zusammen mit der Firma Ott für die Heeresversuchsanstalt Peenemünde eine Integriermaschine zu bauen, und 1940 beauftragte das Heereswaffenamt den Mathematiker Robert Sauer (1898–1970) von der TH Aachen zusammen mit der Berliner Instrumentenfirma Askania ebenfalls mit dem Bau einer Integrieranlage, die für ballistische Berechnungen genutzt werden sollte. Darüber hinaus entwickelte sich der *Differential Analyzer* für die Fachspartenleiter für Mathematik, Physik und Chemie im *Reichsforschungsrat (RFR)* zum Symbol des Rückstandes gegenüber dem amerikanischen Wissenschaftssystem, so dass Sauer und Walther ab 1943 vom RFR erhebliche Geldmittel zur Verfügung gestellt bekamen, um für ihre Hochschulen ebenfalls Integrieranlagen zu bauen. Diese Maschinen sollten dem RFR unterstehen und der mathematisch-naturwissenschaftlichen Forschung an den Hochschulen zur Verfügung

71 Hier als kasuistische Referenz auf die »Finalisierungsdebatte« der 1970er Jahre; vgl. zur Finalisierungsdebatte sehr kritisch Tietzel, *Finalisierungsdebatte*, 1978.

72 Dies ist teilweise in Collatz, *Graphische und numerische Verfahren*, 1948, dokumentiert.

stehen. Wegen des immer größer werdenden Facharbeitermangels in der feinmechanischen Industrie konnte allerdings keine der geplanten Anlagen bis Kriegsende fertig gestellt werden.⁷³

Abgesehen von der inhaltlichen Neuausrichtung der Forschung in der Numerischen und Instrumentellen Mathematik kam es darüber hinaus zu institutionellen Veränderungen an den Forschungsinstituten und Hochschulen in diesem Bereich, die sich auch auf die Arbeit und die Institute der beiden genannten Mathematiker Sauer und Walther auswirkten.⁷⁴ Walthers IPM und das von Sauer an der TH Aachen im Krieg gegründete Institut für Praktische Mathematik nahmen in den Kriegsjahren eine ähnliche Entwicklung und wandelten sich in kurzer Zeit von »Unterrichtsinstituten« an Technischen Hochschulen zu »Dienstleistungs- und Forschungsinstituten« für den militärisch-industriellen Komplex des NS-Staates – die Einbindung der Institute in eine Hochschule und die Verpflichtungen des Hochschullehrers traten sowohl bei Sauer als auch bei Walther mit zunehmender Kriegsdauer immer mehr in den Hintergrund. Beide Institute arbeiteten nun primär anwendungsorientiert und lieferten ihren militärischen Auftraggebern Forschungsberichte, deren Stil, Kürze und Prägnanz darauf hindeuteten, dass trotz einer größeren räumlichen Entfernung zu den Auftraggebern sehr nah an den konkreten Problemen der Aerodynamiker und Ingenieure gearbeitet wurde und die Berichte eine großteils direkte Hilfestellung beim technischen Handeln boten. Beide Wissenschaftler versuchten die Kriegszeit für eine verstärkte Institutionalisierung der Praktischen Mathematik an ihren Hochschulen zu nutzen und ihre finanziellen, personellen und institutionellen Forschungsressourcen auf Dauer zu verbessern. Nur in einem Punkt unterschieden sich die beiden Institute ziemlich deutlich voneinander: Während Sauer nur einen mäßigen personellen Ausbau erfuhr, nutzte Walther die Ressourcen des Krieges, um das IPM in großem Maßstab auszubauen und die Zahl seiner Mitarbeiter zu verzehnfachen.

Untersucht man die Formen der Wissenschaftssteuerung in der Angewandten Mathematik und speziell in der Numerischen und Instrumentellen Mathematik während des Krieges, so zeigt sich, dass bis 1942/43 keine koordinierte Steuerung erfolgte, sondern dass allein durch die »Kunden« in der Kriegsforschung bestimmt wurde, welche Forschungsfelder und -fragen behandelt werden sollten. Diese Situation begann sich 1943 zu verändern, als der Vorsitzende der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, Wilhelm Süss (1895–1958), zum Leiter eines Arbeitskreises Mathematik im Reichsforschungsrat (RFR) ernannt wurde und in der Folge durch eine diplomatisch geschickte Machtpolitik versuchte, die gesamte reine und angewandte mathematische Forschung – sowie auch den Bau Mathematischer Maschinen – zu steuern. Obgleich Süss als »Reiner Mathematiker« 1944 schließlich zum Leiter einer eigenen Fachsparte Mathematik im RFR ernannt wurde,

73 Vgl. Petzold, *Rechnende Maschinen*, 1985, und Petzold, *Moderne Rechenkünstler*, 1992.

74 Dabei wird hier nur eine spezielle Form von Forschung in der Numerischen und Instrumentellen Mathematik in der Kriegsforschung betrachtet, nämlich die an Hochschulinstitutionen betriebene; vgl. dazu auch Epple/Remmert, *Synthese*, 2000.

gelang es ihm nicht im Entferntesten, die Forschung zur Angewandten Mathematik im NS-Staat zu steuern. Süss besaß weder Einfluss auf die mathematische Forschung in der Luftwaffe und im Heereswaffenamt noch verfügte er über die wissenschaftlichen Kenntnisse für eine Forschungskoordination in der Angewandten Mathematik. Das von Süss in erster Linie verfolgte Ziel einer Stärkung der Reinen Mathematik im deutschen Wissenschaftssystem führte vielmehr zu einem weitgehenden Versagen in der Koordination der angewandten mathematischen Forschung. Zudem erwies sich das 1944 vom RFR gegründete und von Süss geleitete Mathematische Reichsinstitut, das ursprünglich als nationales Recheninstitut geplant war, als ein totaler Misserfolg, da das Institut praktisch ohne Relevanz für die Kriegsforschung blieb. Süss hatte das Reichsinstitut in der Planungsphase in ein Forschungsinstitut für Reine Mathematik transformiert, in dem Fragen der Angewandten Mathematik nur zweitrangig behandelt wurden.⁷⁵

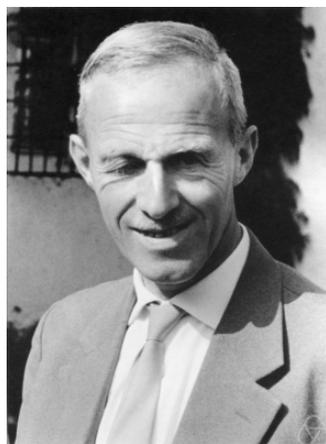


Abb. 9: Wilhelm Süss.



Abb. 10: Das Mathematische Reichsinstitut in Oberwolfach im Schwarzwald.

75 Vgl. dazu mit teilweise abweichenden Interpretationen Remmert, *Mathematicians*, 1999; Epple, *Aerodynamics*, 2005, und Flachowsky, *Notgemeinschaft*, 2008.

Zu den Schlüsselfiguren für die Entwicklung mathematischer Maschinen und numerischer Methoden stiegen vielmehr Sauer und Walther auf, die Ende 1943 unabhängig voneinander durch die Forschungsführung der Luftwaffe bzw. durch das Speersche Reichsministerium für Rüstung und Kriegsproduktion den Auftrag erhielten, die Entwicklung mathematischer Geräte zentral zu beraten. Sauer und Walther übten bis zum Kriegsende eine intensive Beratungstätigkeit. So setzten sie sich unter anderem erfolgreich für den Bau der von der kleinen Privatfirma Konrad Zuses (1910–1995) angebotenen digitalen programmgesteuerten Relaisrechenmaschine für die Luftfahrtforschung ein – die ähnlich viel wie die geplanten Integriermaschinen kostete und im Gegensatz zu diesen bis zum Kriegsende gefördert und weiterentwickelt wurde, weil Zuse mit Unterstützung und Förderung der Henschel Flugzeugwerke und des Reichsluftfahrtministeriums in das Jägerprogramm und das Flakprogramm des NS-Staates eingebunden war.⁷⁶ Je weiter der Krieg der deutschen Niederlage entgegenging, desto entschiedener wurden die Versuche, den Bau von Analog- und Digitalrechnern in Deutschland zu koordinieren. Nur ließ die vollkommen überdehnte und sich auflösende deutsche Kriegswirtschaft eine Realisierung der Pläne nicht mehr zu.⁷⁷ Die vom militärisch-wissenschaftlichen Komplex mit vergleichsweise umfangreichen Mitteln geförderten Innovationen im instrumentellen Rechnen und der Bau von großen mathematischen Maschinen setzten zu spät ein, um größere Auswirkungen auf die Kriegswirtschaft zu haben, auch wenn es in einzelnen Fällen – wie beim schon erwähnten Einsatz von Lochkartenmaschinen in der Deutschen Seewarte – zu einem extensiven Einsatz von Mathematischen Maschinen kam. Trotz einer zunehmenden Modernisierung und Maschinisierung des Rechnens in Wissenschaft und Technik in den Kriegsjahren blieb das »Standardmodell« des deutschen Wissenschafts-systems bis Kriegsende das mit Wissenschaftlern und meist weiblichen Hilfskräften ausgestattete Recheninstitut (bzw. die »Rechengruppe« in einem größeren mathematischen, astronomischen, aerodynamischen oder anderen Institut), wo mit Hilfe von mechanischen Tischrechenmaschinen und weiteren Hilfsmitteln umfangreiche numerische Berechnungen durchgeführt wurden. Die Spannweite reichte von wenigen Wissenschaftlern und Studentinnen, die in einem Hochschulinstitut oder in einem privaten Recheninstitut Rechenaufträge ausführten, über das schließlich auf fast einhundert Mitarbeiter angewachsene IPM von Alwin Walther mit seinen zahlreichen »Rechenmädels« bis zur Zwangsarbeit von Wissenschaftlern im Institut für Deutsche Ostarbeit oder von KZ-Häftlingen im Konzentrationslager Sachsenhausen.⁷⁸

76 Zu K. Zuse vgl. ohne Erwähnung der Rolle R. Sauers und A. Walthers Petzold, *Rechnende Maschinen*, 1985, und Zellmer, *Entstehung*, 1990, sowie Hashagen, *Erfinderunternehmer*, 2010, und Hellige, *Kontrollnetze*, 2010.

77 Zum Kontext der Entwicklung der Kriegswirtschaft des NS-Staates in dieser Phase auch Tooze, *Ökonomie*, 2007.

78 Vgl. Mehrtens, *Mathematics*, 1996; Segal, *Mathematicians*, 2003, und Flachowski, *Notgemeinschaft*, 2008.

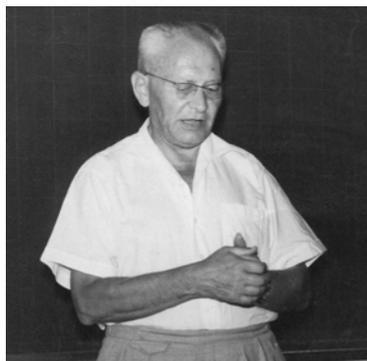


Abb. 11: Alwin Walther.



Abb. 12: Robert Sauer.

Der Vergleich mit dem britischen und amerikanischen System lässt Ähnlichkeiten, aber auch deutliche Unterschiede in der Wissenschaftssteuerung der Instrumentellen und Numerischen Mathematik erkennen. Er zeigt auch, wie sehr das nationalsozialistische Wissenschaftssystem und insbesondere der RFR in der Steuerung dieses Gebietes versagten – auch wenn die einzelnen Wissenschaftler zum Teil mit großen wissenschaftlichen Leistungen hervortraten. In Großbritannien wurden zunächst ähnlich wie in Deutschland einzelne Forschungs- und Recheninstitute für numerische oder instrumentelle Berechnungen herangezogen, aber die weitere Entwicklung führte zur erfolgreichen Gründung eines zentralen Recheninstituts in der von der Admiralität gesteuerten Forschung und schließlich kurz vor Kriegsende zur Gründung eines nationalen Recheninstituts im Rahmen des britischen *National Physical Laboratory*.⁷⁹ Zudem zeigt der Vergleich mit Großbritannien und mit den USA, welche Nachteile eine autoritär aufgebaute Wissenschaftssteuerung haben kann, wenn eine inkompetente und mit falschen Prämissen steuernde Person an der Spitze steht. Die Wissenschaftssteuerung in der Angewandten Mathematik funktionierte in Großbritannien und in den USA (mit dem 1942 gegründeten *Applied Mathematics Panel*) sehr viel besser als in Deutschland.⁸⁰

Beobachtung und Nachbau (1945–1956)

Das Kriegsende hatte für die Angewandten und Praktischen Mathematiker wie für die Rechnerbauer in Deutschland eine völlig andere Bedeutung als für ihre Kollegen in England und in den USA. Während die Angewandte Mathematik – und vor allem die Numerische Mathematik – in den USA in den Nachkriegsjahren durch den Ausbruch des Kalten Krieges eine ungeheuer dynamische Entwicklung nahm und zu einer einfluss-

79 Vgl. Todd/Sadler, *Admiralty Computing*, 1947; Croarken, *Computer in Britian*, 2002, und Croaken, *Creation*, 2005.

80 Zur Forschungscoordination in der Angewandten Mathematik in den USA vgl. MacLane, *Applied Mathematics*, 1989; Dahan Dalmédico, *L'essor*, 1996.

reichen Größe im amerikanischen Wissenschaftssystem wurde,⁸¹ verloren diese Forschungsgebiete in Deutschland mit dem Ende der Kriegsforschung ihre institutionelle und finanzielle Basis.⁸² Zudem setzte eine »Selbstdemobilisierung« der meisten Mathematiker mit einer Rückkehr zum Wissenschaftsideal der »reinen« mathematischen Forschung ein.⁸³

Die erwähnten Mathematiker Süss, Sauer, Walther, Collatz und Wielandt stehen dabei für verschiedene »Typen« von Mathematikerkarrieren in der frühen Bundesrepublik. Süss und Wielandt waren Vertreter des Typus, der das wiedergefundene Wissenschaftsideal der Reinen Mathematik für ein erfolgreiches Agieren im Nachkriegsdeutschland nutzte. Süss verlor zwar seine Stellung als Fachspartenleiter im Reichsforschungsrat und als Vorsitzender der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, aber er behielt seine Professur in Freiburg, und es gelang ihm mit großem Geschick, das Mathematische Reichsinstitut in Oberwolfach in ein international renommiertes mathematisches Tagungsinstitut zu transformieren.⁸⁴ Wielandt setzte seine Arbeiten zur Numerischen Mathematik nicht fort und publizierte auch seine grundlegenden Studien zu komplexen Eigenwertproblemen nicht, sondern arbeitete nach 1945 wieder auf dem Gebiet der Reinen Mathematik und erhielt 1946 eine Professur in Mainz.⁸⁵ Sauer, Walther und Collatz gehörten zu einer kleineren Gruppe von Professoren, die auch nach Kriegsende Angewandte Mathematiker blieben, sich im Rahmen der wiedergegründeten GAMM neu konstituierten und damit in die Nischen und Strukturen der Vorkriegszeit zurückkehrten. Sie zählten zu einer Gruppe von Angewandten Mathematikern, die ab 1946 den wissenschaftlichen Austausch auf Tagungen wieder aufnahmen und ihre im Krieg begonnenen Forschungen zu numerischen und instrumentellen Methoden – unter weitgehender Ausblendung des militärischen Kontextes – einer breiteren wissenschaftlichen Öffentlichkeit vorstellten. Der erfolgreichen Neukonstituierung der Angewandten Mathematik im Rahmen der Dachgesellschaft GAMM stand die Problematik gegenüber, dass die Institutionalisierung der Angewandten Mathematik (und insbesondere der Numerischen und Instrumentellen Mathematik) an deutschen Hochschulen in den 1950er Jahren eine Ausnahmeerscheinung blieb.⁸⁶ Allerdings gab es trotz der auch institutionell wirkungsmächtigen Rückkehr zum Forschungsideal der »Reinen Mathematik« im deutschen Wissenschaftssystem schon in der ersten Hälfte der 1950er Jahre einige wenige institutionelle Innovationen, die die Entwicklungen der Numerischen und Instrumentellen Mathematik aus den Kriegsjahren –

81 Vgl. Lax, *Flowering of Applied Mathematics*, 1989; Dahan Dalmédico, *L'essor*, 1996, und Dahan Dalmédico/Pestre, *Tools*, 2004.

82 Vgl. dazu generell für das wissenschaftspolitische Umfeld sowie zur Wissenschafts- und Forschungspolitik der Alliierten in Westdeutschland sowie der frühen Bundesrepublik Brautmeier, *Forschungspolitik*, 1983; Cassidy, *Controlling German Science I*, 1994; Cassidy, *Controlling German Science II*, 1996; Carson, *New Models*, 1999, und Beyler/Low, *Science Policy*, 2003. Zur Rolle der Forschungskontrolle und der Forschungsbeschränkungen der Alliierten vgl. insbesondere Heinemann, *Überwachung*, 2001.

83 Vgl. dazu auch die Bemerkungen in Schappacher, *Beispiele und Gedanken*, 1998.

84 Für die Nachkriegsgeschichte des Oberwolfacher Instituts vgl. z. B. Jackson, *Oberwolfach*, 2000.

85 Vgl. Wielandt, *Antrittsrede*, 1962.

86 Die zeitgenössische Wahrnehmung der Numerischen Mathematik in Deutschland wird durch die Artikel Todd, *Begründung*, 1956, und Ostrowski, *Entwicklung*, 1966, gut beleuchtet.

wie auch die internationale wissenschaftliche Entwicklung in den USA und in England – aufnahmen. Neben einigen Lehrstühlen an den Technischen Hochschulen in Berlin, Darmstadt und München, die ihre Forschung in Richtung Numerischer und Instrumenteller Mathematik ausrichteten, wurden 1953 an der Universität Hamburg ein auf numerische Methoden spezialisiertes *Institut für Angewandte Mathematik* und 1954 an der Universität Bonn das *Rheinisch-Westfälische Institut für Instrumentelle Mathematik* gegründet.⁸⁷

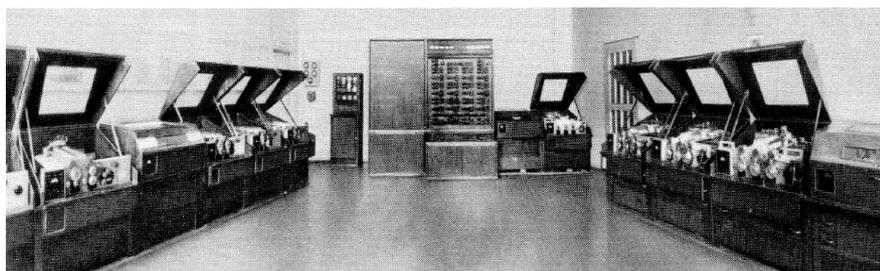


Abb. 13: Integrieranlage IPM-Ott.

Als grundlegendes Problem erwies sich allerdings, dass den deutschen Wissenschaftlern bis Mitte der 1950er Jahre – anders als in den USA, in England und in der Schweiz – keine programmgesteuerten Digitalrechner zur Verfügung standen, so dass der Anschluss an die durch die Digitalrechner transformierte *neue* Numerische Mathematik nicht immer leicht zu vollziehen war.⁸⁸ Als ein damit zusammenhängendes Spezifikum des deutschen Wissenschaftssystems muss es angesehen werden, dass die beiden Institute in Bonn und Hamburg ebenso wie das »Modellinstitut« IPM (in Darmstadt) in einer Integrieranlage den »Wunschtraum« eines Instituts für Angewandte Mathematik sahen. Während das IPM 1949 die zusammen mit der Firma Ott im Krieg entwickelte und in der Nachkriegszeit fertig gestellte Integrieranlage erhielt, wurden die Institute in Hamburg und Bonn in der ersten Hälfte der 1950er Jahre mit Integrieranlagen ausgestattet, die an die im Krieg bei der Firma Askania begonnenen Entwicklungen anknüpften.⁸⁹ Die Nutzung von Analogrechnern wurde nun endlich – über zwanzig Jahre nach den ersten Entwicklungen in den USA – vom deutschen Wissenschaftssystem adaptiert: der Lösung von schwierigen Differentialgleichungen in der Technik stand mit dieser Technologie kein unüberwindbares Hindernis mehr entgegen.⁹⁰ Ebenso wie im englischen und amerikanischen Wissenschaftssystem löste die neue Verbindung zwischen numerischen Rechenmethoden und elektronischer Rechnertechnologie nicht etwa alle bis dahin existierenden mathema-

87 Zu Wirksamkeit von L. Collatz vgl. z. B. Bredendiek, *Lothar Collatz*, 1992; zum Bonner Institut vgl. auch Wiegand, *Informatik und Großforschung*, 1994.

88 Zur Transformation der Numerischen Mathematik durch den Computer in dieser Zeit vgl. Goldstine, *Interrelations*, 1962; Goldstine, *Computer from Pascal to von Neumann*, 1972, und Aspray, *Transformation*, 1989.

89 Vgl. Kuhlenkamp, *Rechenanlagen*, 1951.

90 Vgl. dazu den zeitgenössischen Artikel Walther, *Furcht*, 1954.

tischen Instrumente, Tafelwerke und Analogrechner sofort ab. Vielmehr kam es zum Teil bis weit in die 1970er Jahre zu einem Nebeneinander von Analog- und Hybridrechnern, die bei vielen ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen große Vorteile boten – und eine andere Art von mathematischer Wissenskultur darstellten.⁹¹

Diese Konzentration auf die Ausstattung mit Integrieranlagen statt auf Digitalrechner war auch ein Spiegel der Wissenschaftsentwicklung in den ersten Nachkriegsjahren. Während die deutschen Entwicklungen im IPM sowie durch Konrad Zuse und Helmut Schreyer (1912–1984) durch das Kriegsende beendet oder für längere Zeit unterbrochen wurden, arbeiteten anglo-amerikanische Wissenschaftler und Ingenieure mit Hochdruck an der Weiterentwicklung programmgesteuerter Rechenmaschinen. In England waren 1949 an den Universitäten in Cambridge und Manchester die weltweit ersten elektronischen von-Neumann-Rechner fertig gestellt worden.⁹² Einigen deutschen Wissenschaftlern war mit den ab 1946/47 bekannt werdenden Entwicklungen programmgesteuerter elektronischer Rechenmaschinen in den USA und in England klar, dass hier eine unvergleichlich schnellere und universellere Rechnertechnologie zur Verfügung stand. Dabei sollten Sauer und Walther in der Folge ihre im Krieg eingenommene Funktion als *die* Experten für Instrumentelle Mathematik im Wissenschaftssystem der Bundesrepublik fortsetzen und eine führende Rolle beim Bau elektronischer Rechenanlagen spielen. Mit der Entwicklung elektronischer Rechenanlagen wurde 1949/50 an drei Institutionen unabhängig voneinander begonnen: An der TH München unter der Leitung des Elektrotechnikers Hans Piloty (1894–1969) und des Mathematikers Robert Sauer, am IPM der Darmstadt unter der Leitung von Alwin Walther sowie am Max-Planck-Institut für Physik in Göttingen durch den Physiker Heinz Billing (* 1914) unter der Leitung des Astrophysikers Ludwig Biermann (1907–1986).⁹³

Diese drei Gruppen trafen 1952 in einer von der DFG auf Anregung Pilotys gegründeten Kommission für Rechenanlagen (KfR) zusammen, die die Entwicklung und Anwendung von Computern im westdeutschen Wissenschaftssystem bis Ende der 1960er Jahre maßgeblich prägen sollte. Die KfR, der neben Biermann, Piloty und Walther auch der Elektrotechniker Karl Küpfmüller (1897–1977) sowie der Tübinger Mathematiker und Vorsitzende der DMV, Erich Kamke (1890–1961), angehörten, erklärte den Bau von elektronischen digitalen Rechenautomaten zur ausschließlichen Sache der wissenschaftlichen Institute in Darmstadt, Göttingen und München. Durch den Einfluss von Piloty in der DFG gelang es, die finanzielle Förderung im Schwerpunktverfahren Rechenanlagen der DFG so zu kanalisieren, dass Wissenschaftler außerhalb dieses Kreises kaum Chancen hatten, an Mittel zu gelangen. Mit dieser »Monopolpolitik« hoffte man den anglo-amerikanischen Vorsprung aufholen und dem deutschen Wissenschaftssystem die benö-

91 Vgl. die zeitgenössischen Darstellungen Erismann, *Digitale Integrieranlagen*, 1962, und Bauer, *Moderne Rechenanlagen*, 1965, sowie die Studie Small, *Analogue Alternative*, 2001.

92 Vgl. Randell, *Origins*, 1982; Goldstine, *Computer from Pascal to von Neumann*, 1972, und Rojas/Hashagen, *First Computers*, 2000.

93 Vgl. Petzold, *Rechnende Maschinen*, 1985.

tigten elektronischen Rechenmaschinen zur Verfügung stellen und darüber hinaus die für die zukünftige Entwicklung notwendigen Patente erwerben zu können. Zusätzlich zu den mit umfangreichen Mitteln geförderten Digitalrechnerprojekten und der »mathematisch-logistischen Bearbeitung von Rechenprogrammen« durch Sauer wurden auch eine elektronische Integrieranlage und andere analoge Rechengерäte gefördert. Die KfR organisierte die Kommunikation zwischen den drei Rechnerprojekten und führte ab 1953 Kolloquien für die an den Projekten beteiligten Mitarbeiter durch; dabei wurden die Informationen nur im internen Kreis der KfR ausgetauscht und andere deutsche Wissenschaftler unter dem Leitbild der »vertrauensvollen Zusammenarbeit« (Küpfmüller) von dem neuen Wissen über elektronische Digitalrechner ausgeschlossen.⁹⁴



Abb. 14: Darmstädter Elektronischer Rechenautomat (DERA).

Die DFG konnte 1955/56 mit ihrer Rechnerpolitik zufrieden sein, da mit der G1 und G2 in Göttingen und der PERM an der TH München drei Digitalrechner zur Verfügung standen.⁹⁵ Allerdings war dies ein etwas zweifelhafter Erfolg, denn die Zeiten einer mit Hilfe der DFG gestützten Monopolpolitik und der in Universitäten ausgeführten Eigenbauten gingen schnell dem Ende entgegen – mit der IBM 650 kam 1955 ein kommerzieller Röhrenrechner auf dem Markt, der bald weite Verbreitung fand und vor allem in den USA an vielen Universitäten eingesetzt wurde.⁹⁶ Außerdem geriet die DFG wegen der Monopol- und Informationspolitik der KfR zunehmend unter Druck, da einige einflussreiche Aerodynamiker und Angewandte Mathematiker nachdrücklich Zugang zu der neuen elektronischen Digitalrechnertechnologie forderten. Der eigentliche und nicht intendierte Erfolg der DFG-Politik war, dass durch den Bau der Rechanlagen eine größere Kompetenzgruppe gebildet worden war, die in der Folge sowohl die Ausstattung der deutschen Hochschulen mit Computern steuern als auch der deutschen Wissenschaft

94 Für die Sichtweise der KfR auf ihr Rechanlagenprogramm vgl. Wolmann/Hoffmann, *Rechanlagen*, 1958.

95 Vgl. *Bericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft*, 1956, S. 26 f.

96 Vgl. Galler, *The IBM 650*, 1986.

den Anschluss an die sich in den USA, England und der Schweiz rasch entwickelnde »Computer Science« sichern sollte.

Trotz eines großen Vorsprungs beim Bau von Computern waren die englischen (und in gewissem Maße auch die amerikanischen) Hochschulen bei der Ausstattung mit Computern Mitte der 1950er Jahre gegenüber dem deutschen Wissenschaftssystem weniger im Vorteil als man annehmen möchte. In England waren bis 1955 nur drei Universitäten mit einem elektronischen Digitalrechner ausgestattet, und die Forschungsförderorganisationen begannen sich zu diesem Zeitpunkt zum ersten Mal mit der Frage zu beschäftigen, ob britische Universitäten mit Computern auszustatten seien.⁹⁷ In den USA wurden die ersten von-Neumann-Rechner an einer Universität erst 1952 fertig gestellt, aber verschiedene staatliche Forschungsinstitute (wie das *Oak Ridge National Laboratory* und das *National Bureau of Standards*) besaßen Anfang der 1950er Jahre digitale Elektronenrechner.⁹⁸ Die 1950 gegründete NSF bildete erst 1955 eine Kommission, die sich mit der Frage der Ausstattung von Universitäten mit Computern beschäftigte.⁹⁹ In Frankreich sah die Situation wesentlich schlechter aus, da das von der nationalen französischen Forschungsorganisation CNRS 1946 gegründete nationale Forschungsinstitut *Institut Blaise Pascal* beim Bau eines Elektronenrechners an den begrenzten Fähigkeiten des Direktors des *Laboratoire de calcul numerique*, Louis Couffignal (1902–1966), scheiterte.¹⁰⁰

Der relativ späte Einstieg der deutschen Wissenschaftler in das Feld der elektronischen Digitalrechner sollte sich nicht negativ auf die aktive Mitwirkung an der sich in den 1950er Jahren entwickelnden »Computer Science« auswirken – wie überhaupt ein früher Einstieg in das neue Forschungsfeld der elektronischen Digitalrechner sich in der weiteren Entwicklung nicht unbedingt als Vorteil erweisen musste.¹⁰¹ Zwar waren in den USA und insbesondere auch in England durch den frühen Einstieg in das Feld bedeutende wissenschaftliche Arbeiten zu Fragen der Programmierung erschienen¹⁰², aber die jungen deutschen Mathematiker Friedrich L. Bauer (* 1924) und Klaus Samelson (1918–1980) aus der Münchner Arbeitsgruppe von Robert Sauer hatten durch ihre Arbeiten an der Konzeption der PERM und durch ihre Zusammenarbeit mit Heinz Rutishauser (1918–1970) von der ETH Zürich um 1955 den Anschluss an die internationale Entwicklung gefunden.¹⁰³ In Bezug auf die Nutzung von Computern durch Naturwissenschaftler und Ingenieure war der Rückstand des deutschen Wissenschaftssystems dagegen offensichtlich: Während in Großbritannien und in den USA die wenigen Computer intensiv in der Kristallographie, Meteorologie und Numerischen Mathematik genutzt und

97 Vgl. Agar, *Provision*, 1996.

98 Für einen kurzen Überblick über die frühen Digitalrechner bis Ende der 1950er Jahre vgl. Hoffmann, *Entwicklungsbericht*, 1962.

99 Vgl. Aspray/Williams, *Arming American Scientists*, 1994.

100 Vgl. dazu Ramunni, *Louis Couffignal*, 1989, und Mounier-Kuhn, *Institut Blaise-Pascal*, 1989.

101 Vgl. Aspray, *Was Early Entry*, 2000.

102 Vgl. Campbell-Kelly, *Development*, 1982.

103 Vgl. Bauer, *Between Zuse and Rutishauser*, 1980, und Bauer, *Die ALGOL-Verschwörung*, 2004.

damit neue konzeptionelle und methodische Veränderungen in ganzen Forschungsgebieten eingeleitet wurden,¹⁰⁴ war eine solche intensive Nutzung von digitalen Rechenanlagen durch Naturwissenschaftler bis 1955 nur an den Göttinger Maschinen G1 und G2 möglich.¹⁰⁵

»Rechen-Revolution« versus Disziplinenbildung (1956–1970)

Die 1955 ratifizierten Pariser Verträge, die das Besatzungsstatut in Westdeutschland beendeten und der Bundesrepublik die Souveränität verlieh, sowie der Beitritt der Bundesrepublik zur Nato veränderten das forschungspolitische Umfeld in der Bundesrepublik grundlegend und führten zu einer weitgehenden Beendigung der Forschungsbeschränkungen durch die Alliierten sowie zu einem von den USA gesteuerten Wiederaufbau der europäischen Forschung, in das die deutschen Forscher eingebunden wurden.¹⁰⁶

Trotz dieser Mitte der 1950er Jahre einsetzenden allgemeinen Entwicklungen dauerte es bis 1959/1960, bis begonnen wurde, die deutschen Hochschulen in größerem Maße mit elektronischen Rechenanlagen auszustatten. Die DFG, die bis in die zweite Hälfte der 1960er Jahre der entscheidende und fast alleinige Akteur in diesem Feld blieb, erhielt zwar schon 1956 vom Bund umfangreiche Mittel für die Beschaffung elektronischer Rechenanlagen, entschied sich aber gegen den Kauf (teurer) ausländischer Rechner, um stattdessen die Gründung einer deutschen Computerindustrie zu forcieren. Die von der DFG bei deutschen Firmen bestellten, jedoch noch nicht existierenden mittleren bzw. kleineren Rechner konnten teilweise erst 1959/60 geliefert werden. Die negativen Auswirkungen dieser Beschaffungspolitik – in einigen Bereichen der Natur- und Ingenieurwissenschaften wurden die neuen elektronischen Digitalrechner dringend benötigt, um den Anschluss an die internationale Entwicklung nicht zu verlieren – wurden von der DFG als nicht so bedeutend eingeschätzt. Auch in den nächsten Jahren standen für die DFG nicht die Rechnernutzer, sondern die elektronischen Rechner im Mittelpunkt ihrer Wissenschaftspolitik, und die Nutzung der Rechenanlagen durch Natur- und Ingenieurwissenschaftler wurde von der DFG zunächst sogar durch bürokratische und finanzielle Hemmnisse bewusst beschränkt.¹⁰⁷

Es zeigte sich sehr schnell, dass der Rechenbedarf der westdeutschen Wissenschaftler mit einer Großgeräteaktion und einem Dutzend Rechenanlagen nicht zu befriedigen war. Die 1958/59 an einzelnen Hochschulen installierten Rechenanlagen waren schon 1960 vollkommen ausgelastet, und durch den außerordentlich schnellen Fortschritt in der Rechnertechnologie waren die kleineren Rechner 1961 nur noch für Ausbildungszwecke zu gebrauchen. Trotz dieser Probleme gelang es der DFG, die Ausstattung der Hochschulen und Forschungsinstitute mit Rechenanlagen erfolgreich zu koordinieren und den

104 Vgl. Wheeler, *Applications*, 1992; Aspray, *Transformation*, 1989; Aspray, *John von Neumann*, 1990, und Agar, *What Difference*, 2006.

105 Vgl. Biermann, *Überblick*, 1956.

106 Vgl. Krige, *American Hegemony*, 2006.

107 Vgl. *Bericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft*, 1957, S. 34 f.; *Elektronisches Rechnen*, 1958.

von Jahr zu Jahr steigenden Bedarf an Computern in den Grenzen der bestehenden Möglichkeiten zu decken. Alle Anforderungen der Hochschulen wurden zentral in der KfR beraten, die den Computermarkt systematisch beobachtete, Maßnahmen zur Ausbildung von Nachwuchskräften für die entstehenden Rechenzentren ergriff und Konzepte für die weitere Ausstattung der Hochschulen sowie für die institutionelle Struktur der entstehenden Rechenzentren erstellte. Die Größe dieser Aufgabe wird schon an der Höhe der Fördersummen deutlich, die bis 1965 erheblich höher waren als die Mittel für alle anderen wissenschaftlichen Großgeräte – bis dahin beschaffte die DFG 54 Anlagen für 85.000.000 DM und überschritt dabei die vorgesehenen Summen erheblich.¹⁰⁸

Andererseits stieß die DFG bei dem Versuch, den durch die rasante technologische Entwicklung der Computer notwendigen Wandel des Wissenschaftssystems zu gestalten, sehr bald an ihre Grenzen. Ein Beispiel für diese Problematik ist die letztlich gescheiterte Schaffung eines nationalen Spitzenrechenzentrums, das die DFG seit 1957 in Ergänzung zu den lokalen Hochschulrechenzentren zu gründen versuchte. Durch das Kompetenzgewirr von DFG-Förderung, Länder- und Bundeskompetenzen dauerte es bis 1962, bis das *Deutsche Rechenzentrum (DRZ)* in Darmstadt eröffnet wurde. Inzwischen war die Konzeption eines nationalen Rechenzentrums fragwürdig geworden, da die DFG in der Zwischenzeit drei mit besonders leistungsfähigen Rechenanlagen ausgestattete regionale Rechenzentren hatte einrichten müssen. Zudem führten Streitigkeiten über die Ausrichtung des *DRZ* sowie die Inkompetenz der beteiligten Ministerien und Wissenschaftler im Laufe weniger Jahre zu einem gescheiterten Großprojekt.¹⁰⁹

Die Nachfrage nach einem Spitzenrechenzentrum und nach besonders leistungsfähigen Rechenanlagen kam Ende der 1950er und Anfang der 1960er Jahre vor allem aus der Kristallstrukturforschung, der Meteorologie, der Atom- und Kernphysik, der Astrophysik, der theoretischen Chemie, der Luftfahrtforschung und der Ozeanographie. So forderten Ozeanographen Ende der 1950er Jahre für die Auswertung der Messergebnisse des geplanten DFG-Forschungsschiffes ein eigenes Rechenzentrum, und so wollte ein Kristallograph das zu schaffende Spitzenrechenzentrum allein zu 40 % auslasten, um den Rückstand der deutschen Forschung in der Strukturaufklärung von Kristallen und Molekülen aufzuholen. Dabei ist in der international vergleichenden Perspektive sehr deutlich, wie zögernd deutsche Wissenschaftler in vielen Disziplinen zunächst auf die neue elektronische Rechnertechnologie reagierten und an herkömmlichen Forschungstraditionen festhielten. Ab 1960 setzte allmählich ein Umschwung ein, aber die umfangreiche Modernisierung des deutschen Wissenschaftssystems begann auf breiter Front erst Ende der 1960er Jahre – womit deutsche Natur- und Technikwissenschaftler in der Nutzung von elektronischen Rechenanlagen gegenüber den anglo-amerikanischen Kollegen deutlich zurückblieben.¹¹⁰ Für diese Entwicklung waren nicht etwa nur wissenschafts-

108 Vgl. *Elektronische Rechenanlagen*, 1965, S. 23-26.

109 Dies ist teilweise dokumentiert in *Informatik und Großforschung*, 1994.

110 Vgl. dazu für die Nutzung von Computern in der Astrophysik Kippenhahn, *Sterne*, 1983.

ideologische Vorbehalte gegenüber den elektronischen Digitalrechnern oder das Fehlen solcher Geräte verantwortlich, sondern ebenso die Tatsache, dass im deutschen Wissenschaftssystem gewisse Teildisziplinen – wie beispielsweise die Theoretische Chemie, die Quantenchemie und die Kristallstrukturforschung – durch die historische Entwicklung unterrepräsentiert waren. Da die DFG in diesen Fachgebieten gleichzeitig Schwerpunktprogramme auflegte, trug sie auch auf diese Weise wesentlich zur Modernisierung der deutschen Forschungslandschaft bei.¹¹¹

Grundlegend anders stellte sich Ende der 1950er Jahre die Lage in der Weiterentwicklung der Numerischen Mathematik dar, wo die Mathematiker Robert Sauer, Lothar Collatz und Friedrich L. Bauer längst den Anschluss an die internationale Entwicklung erreicht hatten. Ein Symbol für die neu gewonnene Stellung und die internationale Einbindung war die Gründung der Zeitschrift *Numerische Mathematik* im Jahr 1959, die von Sauer und Walther in Verbindung mit dem Züricher Numeriker Eduard Stiefel (1909–1978) und den in den USA tätigen Numerikern John Todd (1911–2007) und Alston S. Householder (1904–1993) herausgegeben wurde und an der außerdem Bauer und Collatz mitwirkten. Die 1960er Jahre waren in Deutschland dann durch einen teilweise vom Wissenschaftsrat veranlassten Ausbau der Lehrstühle für Angewandte und Numerische Mathematik geprägt, so dass Ende der 1960er Jahre eine relativ breite Basis für die Forschung und Lehre in der Numerischen Mathematik geschaffen war.

Sehr viel problematischer sah es in den 1960er Jahren mit der Forschung im Feld der »Computer Science« aus. Zwar waren mit Friedrich L. Bauer und Klaus Samelson Wissenschaftler vorhanden, die ab Mitte der 1950er Jahre wichtige Beiträge zur entstehenden »Computer Science« leisteten und u. a. die internationale Entwicklung der Programmiersprachen wesentlich mitprägten (Kellerprinzip, ALGOL 58, ALGOL 60),¹¹² aber die personelle Basis für die Weiterentwicklung der entstehenden Informatik in den späten 1950er und frühen 1960er Jahren blieb zu schmal.¹¹³ So konstatierten deutsche Wissenschaftler nach dem Besuch von internationalen Tagungen um 1960 mehrfach, dass sogar in kleineren Ländern intensiver an wissenschaftlichen Problemen der entstehenden »Computer Science« gearbeitet wurde als in Deutschland.¹¹⁴ Die DFG hatte mit dem 1957 eingerichteten Schwerpunktprogramm *Rechenanlagen* nur in sehr begrenzter Weise dazu beigetragen, die Forschung in dem neu entstehenden Gebiet der »Computer Science« zu fördern, denn die meisten Fördermittel wurden für die Ausbildung des Personals für die Rechenzentren ausgegeben; darüber hinaus förderte die DFG nur einen sehr kleinen Kreis von Personen mit Forschungsprojekten zur »Computer Science«.

111 Zur Entwicklung der *Computational Chemistry* in Deutschland im Vergleich zur Entwicklung in den USA und in Großbritannien vgl. z. B. Park, *Hyperbola*, 2003, und Peyerimhoff, *Development*, 2003. Zur internationalen Nutzung des Computers in der Kristallographie Mitte der 1960er Jahre im Vergleich zur deutschen Situation vgl. Coulter, *Computing Problems*, 1964, und Jagodzinski, *Denkschrift*, 1965.

112 Vgl. dazu Langmaack, *Klaus Samelsons frühe Beiträge*, 2002; Bauer, *Die ALGOL-Verschwörung*, 2004, und Bauer, *40 Jahre Informatik*, 2007.

113 Vgl. dazu Bauer, *Informatik*, 1983.

114 Vgl. *Bericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft*, 1960, S. 35 f.

Während die DFG bei der Ausstattung der Hochschullandschaft mit Rechenzentren und bei der Förderung des Wissenschaftlichen Rechnens in den 1960er Jahren insgesamt sehr kompetent und erfolgreich agierte, fehlten im deutschen Wissenschaftssystem bis Mitte der 1960er Jahre die staatlichen Akteure, die im Zusammenwirken mit Wissenschaft und Industrie disziplinäre Innovationen im Wissenschaftssystem durchsetzen konnten. Die Kultusministerien der Länder erwiesen sich dafür als zu unbeweglich und zu finanzschwach, zum großen Teil auch als zu inkompetent und in Länderegoismen befangen. Die DFG war zu sehr in ihrer Mentalität als kooperative Selbstverwaltungsorganisation befangen, um Konzepte für grundlegende Strukturveränderungen entwickeln und die Gründung einer neuen Disziplin »Computer Science« im deutschen Wissenschaftssystem durchsetzen zu können. Ebenso erwiesen sich die verschiedenen Fachgesellschaften mit ihren Mitte der 1950er Jahre gegründeten Fachausschüssen – so die Fachausschüsse für Rechenanlagen sowie für Programmieren in der GAMM sowie der Fachausschuss für Informationswandler in der *Nachrichtentechnischen Gesellschaft (NTG)* – als zu sehr in den Denkstilen und Denkkollektiven ihrer ursprünglichen Fachgebiete verankert,¹¹⁵ um im deutschen Wissenschaftssystem die notwendigen Veränderungen herbeizuführen.

Nachdem in den USA um 1960 die ersten Curricula für eine »Computer Science« entworfen und um 1965 öffentlich diskutiert wurden, erwies sich in Deutschland die zweite Hälfte der 1960er Jahre als die konstituierende Phase für die Etablierung der neuen, an der amerikanischen »Computer Science« orientierten Disziplin Informatik. Als entscheidend erwies sich dabei, dass sich das forschungspolitische Umfeld in Deutschland in starkem Maße veränderte, da das Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft aufgrund der »technologischen Lücke« gegenüber den USA als neuer Akteur auftrat und das Forschungs- und Technologiefeld mit mehreren DV-Programmen massiv zu fördern begann. Nachdem der Bundesminister Gerhard Stoltenberg (1928–2001) Ende 1966 einen Fachbeirat für Datenverarbeitung eingerichtet hatte und 1967 an der TH München ein Studienzweig »Informationsverarbeitung« begründet worden war, stellte das Wissenschaftsministerium ab 1968 Sondermittel für die Einrichtung neuer Lehrstühle für Informatik sowie für den Aus- und Neubau von Instituten bereit. Die Gründung der *Gesellschaft für Informatik* im Jahr 1969 markierte dann die endgültige Konstituierung der neuen Disziplin im deutschen Wissenschaftssystem.¹¹⁶

Die DFG, die bis 1966 der einzige und entscheidende Akteur im Computerfeld gewesen war, wurde durch diese Entwicklungen in kurzer Zeit total überspielt, obwohl sie 1966 ein neues Schwerpunktprogramm für *Informationsverarbeitung* eingerichtet hatte, in dem Themen der »Computer Science«, wie Schaltkreis- und Automatentheorie, Programmiersprachen und formale Sprachen sowie Probleme der Organisation und Struktur von Datenverarbeitungssystemen in den Vordergrund rückten. Die DFG versuchte dabei vergeblich, ihre Monopolstellung in der Förderung der Rechenanlagen und der Informatik

115 Vgl. dazu Fleck, *Entstehung und Entwicklung*, 1980.

116 Zur Etablierung der Informatik in Deutschland vgl. Coy, *Was ist Informatik*, 2004; Bauer, *40 Jahre Informatik*, 2007, und Pieper, *Forschungsprogramm*, 2008.

an den Hochschulen zu wahren und wandte sich ausdrücklich gegen das, was die amerikanische Wissenschaftsförderung in diesem Bereich so erfolgreich machte: die Vergabe umfangreicher Forschungsmittel unmittelbar an einzelne Wissenschaftler und Institute. Genau dies war aus Sicht der DFG ein Verstoß gegen die Grundregeln der auf dem Kollegialitätsprinzip aufgebauten Wissenschaftsförderung. Das Modell einer allein auf föderalistischen Strukturen und einer Selbstverwaltungsorganisation aufbauenden nationalen Wissenschaftssteuerung hatte sich anscheinend als ungeeignet erwiesen, um die Wissenschaftsentwicklung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu steuern. Der steigende Einfluss des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft bei der Steuerung der Informatik und Computertechnologie erwies sich als notwendige Konsequenz.¹¹⁷

Die inhaltliche Ausrichtung der neuen Disziplin Informatik wurde dann weitgehend durch die wissenschaftlichen Fachvereinigungen GAMM und NTG ausgehandelt und am amerikanischen Modell ausgerichtet. Der Ende der 1960er Jahre einsetzende rasche Ausbau der Informatik an den Hochschulen wurde ohne die DFG durchgeführt. Als die KfR 1970 vorschlug, einen Fachausschuss Informatik zu gründen, wurde damit eine »vierte Phase« der DFG-Förderpolitik eingeleitet: »Computer für die Wissenschaft« und die »Wissenschaft für den Computer« hatten sich auch institutionell zu eindeutig unterschiedlichen Aufgabenbereichen ausdifferenziert. Für die Informatik spielte die DFG auch weiterhin keine besonders bedeutende Rolle als Förderorganisation, da die Hochschul-informatik mehr und mehr auf andere, attraktivere Förderkanäle zurückgriff, die insbesondere das Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft zur Verfügung stellte.

Vergleicht man die deutsche Entwicklung des »Scientific Computing« und der *Informatik* in den 1950er und 1960er Jahren mit der amerikanischen, britischen und französischen Entwicklung, so zeigt sich, dass das deutsche Wissenschaftssystem in der Bewältigung dieser Herausforderungen zumindest auf diesem Gebiet recht erfolgreich gewesen ist und bis Ende der 1960er Jahre endlich den Anschluss an die internationalen Forschungsentwicklung gefunden hat – wenn man nicht den schiefen Vergleich mit dem ungleich größeren und unter ganz anderen Voraussetzungen agierenden amerikanischen Wissenschaftssystem zum Maßstab der Dinge macht. Während die britische Entwicklung zeigt, dass ein großer Startvorteil nicht notwendig über längere Zeit zu einer führenden Stellung in dem sich rapide verändernden Feld führte,¹¹⁸ zeigt die französische Entwicklung, wie sehr eine zentrale Wissenschaftssteuerung zusammen mit einer Wissenschaftsideologie, die die Reine Mathematik in der extremen Form des Bourbakismus zum Leitbild erhob, die Etablierung der Informatik behindern konnte.¹¹⁹ Beim Vergleich mit der amerikanischen Entwicklung werden die großen Unterschiede in der Forschungsförderung deutlich, denn im deutschen Wissenschaftssystem fehlte nicht nur die im

117 Zur Gründung und Rolle des bundesdeutschen Forschungsministeriums vgl. auch Weingart/Taubert, *Wissensministerium*, 2006.

118 Vgl. hier insbesondere die Studien zur Ausstattung der britischen Universitäten mit Computern Verdon/Wells, *Computing in British Universities*, 1995, und Agar, *Provision*, 1996.

119 Vgl. Baron/Mounier-Kuhn, *Computer Science at the CNRS*, 1990, und Grossetti/Mounier-Kuhn, *Les débuts de l'informatique*, 1995.

amerikanischen Wissenschaftssystem sehr bedeutende militärische Forschungsförderung, sondern in Deutschland war die DFG von 1950 bis Mitte der 1960er Jahre der einzige Akteur in diesem Feld. Hier sind im Vergleich mit den USA die grundlegenden Schwächen des deutschen Wissenschaftssystems zu verorten, denn die Vielzahl der unterschiedlichen zivilen und militärischen Förderorganisationen erwies sich als einer der entscheidenden Vorteile für die hohe Innovationsfähigkeit des amerikanischen Systems.¹²⁰ Hinzu kommt, dass die NSF im amerikanischen Wissenschaftssystem unter ganz anderen Rahmenbedingungen agierte, denn die Ausstattung der Hochschulen geschah in den USA zu einem großen Teil durch industrielle Förderung – allein IBM hat bis 1959 mehr als 50 Hochschulen kostenlos mit Computern ausgestattet. Vergleicht man zudem die in Deutschland eingesetzten Fördermittel mit denen der USA, so wird deutlich, wie schief der deutsch-amerikanische Vergleich ist: In der BRD wurden vom Bund von 1952 bis 1966 180.000.000 DM für die Förderung der Datenverarbeitung ausgegeben, wovon der Großteil die *DFG* finanzierte. In den USA stiegen die *jährlichen* staatlichen Ausgaben für »Computing« von \$700.000.000 im Jahr 1958 bis \$7.000.000.000 im Jahr 1964 – d. h. der amerikanische Staat hatte allein im Jahr 1958 mehr als zehnmal soviel in Computer investiert wie die BRD in 15 Jahren.¹²¹

Danksagung

Mein Dank gilt meinen Kollegen Michael Eckert, Florian Schmaltz und Hans-Dieter Hellige für ihre Kritik an einer Vorversion dieses Artikels sowie Frau Andrea Lucas für die überaus sorgfältige Redaktionsarbeit.

120 Vgl. für die Forschungsförderung in der Informationstechnologie in den USA z. B. Norberg/O'Neill, *Transforming Computer Technology*, 1996, und *National Research Council*, 1999.

121 Vgl. Aspray/Williams, *Arming American Scientists*, 1994.

Literatur

- Agar, Jon: The Provision of Digital Computers to British Universities up to the Flowers Report. In: *The Computer Journal* 39 (1996), S. 630–642.
- Agar, Jon: What Difference Did Computers Make? In: *Social Studies of Science* 36 (2006), S. 869–907.
- Ash, Mitchell G.: Von Vielschichtigkeiten und Verschränkungen »Kulturen der Wissenschaft – Wissenschaften in der Kultur«. In: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 30 (2007), Nr. 2, S. 91–105.
- Aspray, William: The Transformation of Numerical Analysis by the Computer: An Example From the Work of John von Neumann. In: Rowe, David E. u. a. (Hg.): *History of Modern Mathematics*, Bd. 2. Boston 1989, S. 307–322.
- Aspray, William: *John von Neumann and the Origins of Modern Computing*. Cambridge, Mass. 1990.
- Aspray, William: Was Early Entry a Competitive Advantage? US Universities that Entered Computing in the 1940s. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 22 (2000), Nr. 3, S. 42–87.
- Aspray, William/Williams, Bernhard O.: Arming American Scientists: NSF and the Provision of Scientific Computing Facilities for Universities, 1950–1973. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 16 (1994), Nr. 4, S. 60–74.
- Baron, Georges-Louis/Mounier-Kuhn, Pierre E.: Computer Science at the CNRS and in French Universities: A Gradual Institutional Recognition. In: *Annals of the History of Computing* 12 (1990), Nr. 2, S. 79–87.
- Bauer, Friedrich L. u. a.: *Moderne Rechenanlagen*. Stuttgart 1965.
- Bauer, Friedrich L.: Between Zuse and Rutishauser – the Early Development of Digital Computing in Central Europe. In: Metropolis, Nicholas u. a. (Hg.): *A History of Computing in the Twentieth Century*. New York 1980, S. 505–524.
- Bauer, Friedrich L.: Informatik – Geburt einer Wissenschaft. In: Schneider, Christoph (Hg.): *Forschung in der Bundesrepublik Deutschland: Beispiele, Kritik, Vorschläge*. Weinheim 1983, S. 749–755.
- Bauer, Friedrich L.: Die ALGOL-Verschwörung. In: Hellige, Hans Dieter (Hg.): *Geschichten der Informatik: Visionen, Paradigmen, Leitmotive*. Berlin 2004, S. 237–254.
- Bauer, Friedrich L. (Hg.): *40 Jahre Informatik in München 1967–2007*. München 2007.
- Beauchair, Wilfried de : Prof. A. Walther und das IPM der TH Darmstadt und die Entwicklung der Rechentechnik in Deutschland 1930–1945. In: Gebhardt, Friedrich (Hg.): *Skizzen aus den Anfängen der Datenverarbeitung*. München 1983, S. 53–90.
- Bericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft über ihre Tätigkeit vom 1. April 1955 bis zum 31. März 1956. Bad Godesberg 1956.
- Bericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft über ihre Tätigkeit vom 1. April 1956 bis zum 31. März 1957. Bad Godesberg 1957.
- Bericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft über ihre Tätigkeit vom 1. April 1959 bis zum 31. März 1960. Bad Godesberg 1960.

- Bernhardt, Hannelore: Zur Institutionalisierung der angewandten Mathematik an der Berliner Universität 1920–1933. In: *NTM* 17 (1980), S. 23–31.
- Beyler, Richard H./Low, M.F.: Science Policy in Post-1945 West Germany and Japan: Between Ideology and Economics. In: Walker, Mark F. (Hg.): *Science and Ideology: A Comparative History*. London 2003, S. 97–123.
- Biermann, Ludwig: Überblick über die Göttinger Entwicklungen, insbesondere die Anwendung der Maschinen G1 und G2. In: Wosnik, Johannes (Hg.): *Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung*. Braunschweig 1956, S. 36–39.
- Brautmeier, Jürgen: *Forschungspolitik in Nordrhein-Westfalen 1945–1961*. Düsseldorf 1983.
- Bülow, Ralf: Udo Knorr und der Fahrgraph. In: Deutsches Museum, *Wissenschaftliches Jahrbuch 1989*. München 1989, S. 9–31.
- Bredendiek, Elsbeth u. a. (Hg.): *Lothar Collatz 1910–1990*. 2. Aufl. Hamburg 1992.
- Brezinski, Claude/Wuytack, Luc (Hg.): *Numerical Analysis: Historical Developments in the 20th Century*. Amsterdam 2001.
- Brocke, Bernhard vom: Von der Wissenschaftsverwaltung zur Wissenschaftspolitik. Friedrich Althoff (19.2.1839 – 20.10.1908). In: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 11 (1988), S. 1–26.
- Bruns, Heinrich: *Grundlinien des wissenschaftlichen Rechnens*. Leipzig 1903.
- Campbell-Kelly, Martin: The Development of Computer Programming in Britain (1945 to 1955). In: *Annals of the History of Computing* 4 (1982), H. 2, S. 121–139.
- Campbell-Kelly, Martin/Aspray, William: *Computer: A History of the Information Machine*. 2. Aufl. Boulder, Col. 2004.
- Care, Charles: A Chronology of Analogue Computing. In: *The Rutherford Journal* 2 (2006/2007).
- Carson, Cathryn: New Models for Science in Politics: Heisenberg in West Germany. In: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 30 (1999), S. 115–171.
- Cassidy, David C.: Controlling German Science I: U.S. and allied forces in Germany, 1945–1947. In: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 24 (1994), S. 197–235.
- Cassidy, David C.: Controlling German Science II: Bizonal occupation and the struggle over West German Science policy, 1946–1949. In: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 26 (1996), S. 197–239.
- Ceruzzi, Paul E.: *A History of Modern Computing*. 2. Aufl. Cambridge, Mass. 2003.
- Collatz, Lothar: Graphische und numerische Verfahren. In: Walther, Alwin (Hg.): *Angewandte Mathematik, Teil I*. Weinheim 1948, S. 1–92.
- Collatz, Lothar: Numerik. In: Fischer, Gerd u.a. (Hg.): *Ein Jahrhundert Mathematik 1890–1990*. Festschrift zum Jubiläum der DMV. Wiesbaden 1990, S. 269–322.
- Coulter, Charles L.: Computing Problems and Methods in X-Ray Crystallography. In: *Advances in Computers* 5 (1964), S. 257–287.
- Coy, Wolfgang: Was ist Informatik? Zur Entstehung des Faches an den deutschen Universitäten. In: Hellige, Hans-Dieter (Hg.): *Geschichten der Informatik*. Berlin 2004, S. 473–497.

- Croarken, Mary: *Early Scientific Computing in Britain*. Oxford 1990.
- Croarken, Mary: *Computing in Britain During World War II*. Paper at the IEE History of Technology Summer Meeting 6th July 2002 (unveröffentl. Ms.).
- Croarken, Mary: *The Creation of the NPL Mathematics Division*. In: Copeland, B. Jack (Hg.): *Alan Turing's Automatic Computing Engine: The Master Codebreaker's Struggle to Build the Modern Computer*. Oxford 2005, S. 23–37.
- Croarken, Mary/Campbell-Kelly, Martin: *Beautiful Numbers: The Rise and Decline of the British Association Mathematical Tables Committee, 1871–1965*. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 22 (2000), Nr. 4, S. 44–61.
- Dahan Dalmédico, Amy: *L'essor des mathématiques appliquées aux États-Unis: L'impact de la seconde guerre mondiale*. In: *Revue d'Histoire des Mathématiques* 2 (1996), S. 149–213.
- Dahan Dalmédico, Amy/Pestre, Dominique: *Transferring Formal and Mathematical Tools from War Management to Political, Technological, and Social Intervention (1940–1960)*. In: Lucertini, Mario u.a (Hg.): *Technological Concepts and Mathematical Models in the Evolution of Modern Engineering Systems*. Basel 2004, S. 79–100.
- Daston, Lorraine: *Enlightenment Calculations*. In: *Critical Inquiry* 21 (1994), S. 182–202.
- Eckert, Michael: *The Dawn of Fluid Dynamics. A Discipline Between Science and Technology*. Weinheim 2006.
- Elektronische Rechenanlagen und andere Großgeräte. In: *Mitteilungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft* 1965, H. 1, S. 23–26.
- Elektronisches Rechnen in der Forschung. In: *Mitteilungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft* 1958, H. 3, S. 1–10.
- Epple, Moritz: *Die mathematische Moderne und die Herrschaft der Zeichen*. In: *NTM, Neue Serie* 4 (1996), S. 173–180.
- Epple, Moritz/Karachalios, Andreas/Remmert, Volker R.: *Aerodynamics and Mathematics in National Socialist Germany and Fascist Italy: A Comparison of Research Institutes*. In: *Osiris* 20 (2005), S. 131–158.
- Epple, Moritz/Remmert, Volker R.: *Eine »ungeahnte Synthese zwischen reiner und angewandter Mathematik«: Kriegsrelevante mathematische Forschung in Deutschland während des Zweiten Weltkrieges*. In: Kaufmann, Doris (Hg.): *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus: Bestandsaufnahme und Perspektiven*, Bd. 1. Göttingen 2000, S. 258–295.
- Erismann, Theodor: *Digitale Integrieranlagen (Digital Differential Analyzers) und semi-digitale Methoden*. In: Hoffmann, Walter (Hg.): *Digitale Informationswandler: Probleme der Informationsverarbeitung in ausgewählten Beiträgen*. Braunschweig 1962, S. 160–211.
- Fischer, Joachim: *Instrumente zur Mechanischen Integration. Ein Zwischenbericht*. In: Schütt, Hans-Werner/Weiss, Burghard (Hg.): *Brückenschläge. 25 Jahre Lehrstuhl für Geschichte der exakten Wissenschaften und der Technik an der Technischen Universität Berlin 1969–1994*. Berlin 1995, S. 111–156.

- Fischer, Joachim: Zur Geschichte der Mathematischen Instrumente aus der Herstellung der Firma A. Ott, Kempten. In: Baur, Heinrich (Hg.): Eine Reise durch Technik und Zeit – 125 Jahre Ott. Kempten 1998, S. 159–183.
- Fischer, Joachim: Instrumente zur Mechanischen Integration II. Ein (weiterer) Zwischenbericht. In: Schürmann, Astrid/Weiss, Burghard (Hg.): Chemie – Kultur – Geschichte: Festschrift für Hans-Werner Schütt anlässlich seines 65. Geburtstages. Berlin/Diepholz 2002, S. 143–155.
- Flachowsky, Sören: Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat: Wissenschaftspolitik im Kontext von Autarkie, Aufrüstung und Krieg. Stuttgart 2008.
- Fleck, Ludwik: Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv. Frankfurt a. M. 1980.
- Forman, Paul: The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Postmodernity, and of Ideology in the History of Technology. In: *History and Technology* 23 (2007), S. 1–152.
- Forsythe, George E.: Solving Linear Algebraic Equations Can Be Interesting. In: *Bulletin of the American Mathematical Society* 59 (1953), H. 4, S. 299–329.
- Galison, Peter: Computer Simulations and the Trading Zone. In: Galison, Peter u. a. (Hg.): *The Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*. Stanford 1996, S. 118–157.
- Galle, Andreas: C. F. Gauss als Zahlenrechner. Leipzig 1918.
- Galler, Bernard A.: The IBM 650 and the Universities. In: *Annals of the History of Computing* 8 (1986), Nr. 1, S. 36–38.
- Gericke, Helmuth: 50 Jahre Gesellschaft für angewandte Mathematik und Mechanik. In: *Ingenieur-Archiv* 41 (1972) (Beiheft).
- Gieryn, Thomas F.: Boundaries of Science. In: Jasanoff, Sheila (Hg.): *Handbook of Science and Technology Studies*. Thousand Oaks, Cal. 2001, S. 393–443.
- Goldstine, Herman H.: Interrelations between Computers and Applied Mathematics. In: Hoffmann, Walter (Hg.): *Digitale Informationswandler: Probleme der Informationsverarbeitung in ausgewählten Beiträgen*. Braunschweig 1962, S. 212–226.
- Goldstine, Herman H.: *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton 1972.
- Goldstine, Herman H.: *A History of Numerical Analysis from the 16th through the 19th Century*. Berlin/Heidelberg/New York 1977.
- Grier, David Alan: *When Computers Were Human*. Princeton 2005.
- Grossetti, Michel/Mounier-Kuhn, Pierre-E.: Les débuts de l'informatique dans les universités: Un moment de la différenciation géographique des poles scientifiques français. In: *Revue Française de Sociologie* 36 (1995), S. 295–324.
- Gutzwiller, Martin C.: Wallace Eckert, Computers, and the Nautical Almanac Office. In: Fiala, Alan D. u. a. (Hg.): *Proceedings of the Nautical Almanac Office Sesquicentennial Symposium, U.S. Naval Observatory, March 3–4, 1999*. Washington, D.C. 1999, S. 147–163.
- Hammerstein, Notker: *Die deutsche Forschungsgemeinschaft in der Weimarer Republik und im Dritten Reich: Wissenschaftspolitik und Diktatur 1920–1945*. München 1999.

- Harwood, Jonathan: National Styles in Science: Genetics in Germany and the United States between the World Wars. In: *Isis* 78 (1987), S. 390–414.
- Hashagen, Ulf: Die Rechenmaschine Gauss – eine gescheiterte Innovation? In: Hashagen, Ulf u. a. (Hg.): *Circa 1903: Artefakte in der Gründungszeit des Deutschen Museums*. München 2003, S. 370–398.
- Hashagen, Ulf: Walther von Dyck (1856–1934): Mathematik, Technik und Wissenschaftsorganisation an der TH München. Stuttgart 2003.
- Hashagen, Ulf: Von Berlin ins Allgäu: Der Erfinderunternehmer Konrad Zuse 1945–1948. In: Fähnrich, Klaus-Peter/Franczyk, Bogdan: *Informatik 2010: Service Science – neue Perspektiven für die Informatik*, Bd. 2. Bonn 2010, S. 468–469.
- Hashagen, Ulf: Computer für die Wissenschaft: Wissenschaftliches Rechnen und Informatik im Deutschen Wissenschaftssystem 1870–1970. In: Orth, Karin/Oberkrome, Willi (Hg.): *Die Deutsche Forschungsgemeinschaft 1920–1970: Forschungsförderung im Spannungsfeld von Wissenschaft und Politik*. Stuttgart 2010, S. 145–162.
- Heinemann, Manfred: Überwachung und »Inventur« der deutschen Forschung. Das Kontrollratsgesetz Nr. 25 und die alliierte Forschungskontrolle im Bereich der Kaiser-Wilhelm- und Max-Planck-Gesellschaft (KWG/MPG) 1945–1955. In: Mertens, Lothar (Hg.): *Politischer Systemumbruch als irreversibler Faktor von Modernisierung in der Wissenschaft?* Berlin 2001, S. 167–199.
- Hellige, Hans Dieter (Hg.): *Geschichten der Informatik: Visionen, Paradigmen, Leitmotive*. Berlin 2004.
- Hellige, Hans Dieter: Die Kontrollnetze und »Rechnenden Räume« des Konrad Zuse im »Dritten Reich«. In: Fähnrich, Klaus-Peter/Franczyk, Bogdan: *Informatik 2010: Service Science – neue Perspektiven für die Informatik*, Bd. 2. Bonn 2010, S. 466–467.
- Hensel, Susann: Die Auseinandersetzungen um die mathematische Ausbildung der Ingenieure an den Technischen Hochschulen in Deutschland Ende des 19. Jahrhunderts. In: Hensel, Susann u. a. (Hg.): *Mathematik und Technik im 19. Jahrhundert in Deutschland. Soziale Auseinandersetzung und philosophische Problematik*. Göttingen 1989, S. 1–111.
- Heymann, Matthias: Modeling Reality. Practice, Knowledge, and Uncertainty in Atmospheric Transport Simulation. In: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 37 (2006), S. 49–85.
- Hoffmann, Walter: Entwicklungsbericht und Literaturzusammenstellung über Ziffern-Rechenautomaten. In: Hoffmann, Walter (Hg.): *Digitale Informationswandler: Probleme der Informationsverarbeitung in ausgewählten Beiträgen*. Braunschweig 1962, S. 650–717.
- Horn, Walter: Gezeiten des Meeres. In: Bartels, Julius (Hg.): *Geophysik*, Teil II. Wiesbaden 1948, S. 132–163.
- Ipsen, Ilse C. F.: Helmut Wielandt's Contributions to the Numerical Solution of Complex Eigenvalue Problems. In: Wielandt, Helmut: *Mathematische Werke*. Bd. 2: *Linear Algebra and Analysis*. Berlin 1996, S. 453–463.

- Jackson, Allyn: Oberwolfach, Yesterday and Today. In: *Notices of the American Mathematical Society* 47 (2000), S. 758–765.
- Jacob, Louis Frédéric Gustave: *Le calcul mécanique: appareils arithmétiques et algébriques intégrateurs*. Paris 1911.
- Jagodzinski, Heinz: *Denkschrift zur Lage der Kristallographie*. Wiesbaden 1965.
- Joerges, Bernward/Shinn, Terry (Hg.): *Research-Technology. Instrumentation Between Science, State and Industry*. Berlin 2000.
- Kippenhahn, Rudolf: *Sterne auf dem Computer*. In: Schneider, Christoph (Hg.): *Forschung in der Bundesrepublik Deutschland: Beispiele, Kritik, Vorschläge*. Weinheim 1983, S. 507–514.
- Krige, John: *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe*. Cambridge, Mass. 2006.
- Küssner, Hans G.: *Flügelplatttern*. In: Walther, Alwin (Hg.): *Angewandte Mathematik, Teil II*. Weinheim 1953, S. 91–98.
- Kuhlenkamp, Alfred: *Neuzeitliche mechanische Rechenanlagen*. In: *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure* 93 (1951), S. 291–296.
- Langmaack, Hans: *Klaus Samelons frühe Beiträge zur Informatikentwicklung*. In: *Informatik-Spektrum* 25 (2002), S. 132–137.
- Lax, Peter D.: *The Flowering of Applied Mathematics in America*. In: Duren, Peter L. (Hg.): *A Century of Mathematics in America, Bd. 2*. Providence 1989, S. 455–466.
- Levy, Hyman: *Mathematical Laboratory: Its Scope & Function*. In: *The Mathematical Gazette* 12 (1925), S. 374–376.
- Lüroth, Jakob: *Vorlesungen über numerisches Rechnen*. Leipzig 1900.
- MacLane, Saunders: *The Applied Mathematics Group at Columbia in World War II*. In: Duren, Peter (Hg.): *A Century of Mathematics in America, Part III*. Providence 1989, S. 495–515.
- Maennchen, Philipp: *Gauss als Zahlenrechner*. Berlin 1930.
- Mahoney, Michael S.: *The History of Computing in the History of Technology*. In: *Annals of the History of Computing* 10 (1988), S. 113–125.
- Mahoney, Michael S.: *Software as Science – Science as Software*. In: Hashagen, Ulf u. a. (Hg.): *History of Computing: Software Issues*. Berlin 2002, S. 25–48.
- Manegold, Karl-Heinz: *Universität, Technische Hochschule und Industrie. Ein Beitrag zur Emanzipation der Technik im 19. Jahrhundert unter besonderer Berücksichtigung der Bestrebungen Felix Kleins*. Berlin 1970.
- Maurer, Bertram: *Karl Culmann und die graphische Statik*. Berlin 1998.
- Mehmke, Rudolf: *Numerisches Rechnen*. In: *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluß ihrer Anwendungen*. Bd. 1: *Arithmetik und Algebra*. Leipzig 1902, S. 938–1079.
- Mehrtens, Herbert: *Moderne – Sprache – Mathematik: Eine Geschichte des Streits um die Grundlagen und das Subjekt formaler Systeme*. Frankfurt a. M. 1990.
- Mehrtens, Herbert: *Mathematics and War: Aspects of the Relationship, Germany 1900–1945*. In: Sánchez-Rón, José Manuel/Forman, Paul (Hg.): *National Military Esta-*

- blishments and the Advancement of Science and Technology: Studies in Twentieth Century History. Dordrecht/Boston/London 1996, S. 87–134.
- Mises, Richard von: Über die Aufgaben und Ziele der angewandten Mathematik. In: ZAMM 1 (1921), S. 1–15.
- Mounier-Kuhn, Pierre-E.: The Institut Blaise-Pascal (1946–1969) from Couffignal's Machine to Artificial Intelligence. In: Annals of the History of Computing 11 (1989), Nr. 4, S. 257–261.
- Mounier-Kuhn, Pierre-E.: L'enseignement supérieur, la recherche mathématique et la construction de calculateurs en France (1920–1970). In: Birck, Françoise/Grelon, André (Hg.): Des ingénieurs pour la Lorraine. Enseignements industriels et formations technico-scientifiques supérieures, XIXe–XXe siècles. Metz 1998, S. 251–286.
- Nash, Stephen Gregory (Hg.): A History of Scientific Computing. New York 1990.
- National Research Council (Hg.): Funding a Revolution: Government Support for Computing Research. Washington, D.C. 1999.
- Nolan, Mary: Visions of Modernity: American Business and the Modernization of Germany. New York 1994.
- Norberg, Arthur L./O'Neill, Judy E.: Transforming Computer Technology: Information Processing for the Pentagon, 1962–1986. Baltimore 1996.
- Orth, Karin/Oberkrome, Willi (Hg.): Die Deutsche Forschungsgemeinschaft 1920–1970: Forschungsförderung im Spannungsfeld von Wissenschaft und Politik. Stuttgart 2010.
- Ostrowski, Alexander: Zur Entwicklung der numerischen Analysis. In: Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 68 (1966), S. 97–111.
- Oudshoorn, Nelly/Pinch, Trevor (Hg.): How Users Matter: The Co-construction of Users and Technologies. Cambridge, MA 2003.
- Owens, Larry: Vannevar Bush and the Differential Analyzer: The Text and Context of an Early Computer. In: Technology and Culture 27 (1986), S. 63–95.
- Owens, Larry: Mathematicians at War: Warren Weaver and the Applied Mathematics Panel, 1942–1945. In: Rowe, David E. u. a. (Hg.): The History of Modern Mathematics. Bd. 2: Institutions and Applications. Boston 1989, S. 287–305.
- Park, Buhm Soon: The Hyperbola of Quantum Chemistry: the Changing Practice and Identity of a Scientific Discipline in the Early Years of Electronic Digital Computers, 1945–65. In: Annals of Science 60 (2003), S. 219–247.
- Petzold, Hartmut: Rechnende Maschinen. Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik. Düsseldorf 1985.
- Petzold, Hartmut: Moderne Rechenkünstler. Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland. München 1992.
- Petzold, Hartmut: Maschinen zur Lösung verwickelter mathematischer Probleme. In: Mathis, Wolfgang (Hg.): Neue Anwendungen theoretischer Konzepte in der Elektrotechnik mit Gedenksitzung zum 50. Todestag von Wilhelm Cauer. Berlin 1996, S. 267–282.

- Peyerimhoff, Sigrid D.: The Development of Computational Chemistry in Germany. In: Lipkowitz, Kenny B./Boyd, Donald B. (Hg.): *Reviews in Computational Chemistry*, Bd. 18. New York 2003, S. 257–291.
- Pieper, Christine: Das »überregionale Forschungsprogramm Informatik« (ÜRF). Ein Beitrag zur Etablierung des Studienfaches Informatik an den Hochschulen der Bundesrepublik Deutschland (1970er und 1980er Jahre). In: *Technikgeschichte* 75 (2008), S. 1–31.
- Prandtl, Ludwig: Erich Trefftz. In: *ZAMM* 17 (1937), S. i–vi.
- Ramunni, Girolamo: Louis Couffignal, 1902–1966: Informatics Pioneer in France? In: *Annals of the History of Computing* 11 (1989), S. 247–256.
- Randell, Brian (Hg.): *The Origins of Digital Computers. Selected Papers, Texts and Monographs in Computer Science*. 3. Aufl. Berlin/Heidelberg/New York 1982.
- Reglement für das Seminar zur Ausbildung von Studierenden im wissenschaftlichen Rechnen an der Königlichen Universität zu Berlin vom 4. Januar 1879. Berlin 1879.
- Remmert, Volker R.: Mathematicians at War. Power Struggles in Nazi Germany's Mathematical Community: Gustav Doetsch and Wilhelm Süss. In: *Revue d'Histoire des Mathématiques* 5 (1999), S. 7–59.
- Remmert, Volker R.: Die Deutsche Mathematiker-Vereinigung im »Dritten Reich« I: Krisenjahre und Konsolidierung. In: *DMV-Mitteilungen* 12 (2004), S. 159–177.
- Rheinberger, Hans-Jörg: Rezente Wissenschaft und ihre Erforschung. Das Beispiel Molekularbiologie. In: *Medizinhistorisches Journal* 41 (2006), S. 187–199.
- Richenhagen, Gottfried: *Carl Runge (1856–1927): Von der reinen Mathematik zur Numerik*. Göttingen 1985.
- Riebesell, Paul: Über Gleichungswagen. In: *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 63 (1914), S. 256–274.
- Rojas, Raul/Hashagen, Ulf (Hg.): *The First Computers: History and Architectures*. Cambridge, MA 2000.
- Runge, Carl: *Praxis der Gleichungen*. Leipzig 1900.
- Runge, Carl/König, Hermann: *Vorlesungen über numerisches Rechnen*. Berlin 1924.
- Runge, Carl/Prandtl, Ludwig: Das Institut für angewandte Mathematik und Mechanik (an der Universität Göttingen). In: *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 54 (1907), S. 263–280.
- Sager, Günther: *Gezeitenvoraussagen und Gezeitenrechenmaschinen*. Warnemünde 1955.
- Sanden, Horst von: *Praktische Analysis*. Leipzig/Berlin 1914.
- Schappacher, Norbert: Beispiele und Gedanken zu den Auswirkungen des Kriegsendes auf die Mathematik in Deutschland. In: *Sitzungsberichte der Berliner Mathematischen Gesellschaft* 1993–1996, 1998, S. 153–167.
- Schappacher, Norbert/Kneser, Martin: Fachverband – Institut – Staat. Streiflichter auf das Verhältnis von Mathematik zu Gesellschaft und Politik in Deutschland seit 1890 unter besonderer Berücksichtigung der Zeit des Nationalsozialismus. In: Fischer, Gerd u. a. (Hg.): *Ein Jahrhundert Mathematik 1890–1990. Festschrift zum Jubiläum der DMV*. Braunschweig/Wiesbaden 1990, S. 1–82.

- Schmid, Bastian (Hg.): *Deutsche Naturwissenschaft, Technik und Erfindung im Weltkrieg*. München/Leipzig 1919.
- Schubring, Gert: *Pure and Applied Mathematics in Divergent Institutional Settings in Germany: The Role and Impact of Felix Klein*. In: Rowe, David E. u. a. (Hg.): *The History of Modern Mathematics*. Bd. 2: *Institutions and Applications*. Boston 1989, S. 171–220.
- Schwarte, Max (Hg.): *Die Technik im Weltkrieg*. Berlin 1920.
- Schweber, Sam/Wachter, Matthias: *Complex Systems, Modelling and Simulation*. In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 31 (2000), S. 583–609.
- Segal, Sanford L.: *Mathematicians under the Nazis*. Princeton 2003.
- Shinn, Terry: *The Research-Technology Matrix: German Origins, 1860–1900*. In: Joerges, Bernward/Shinn, Terry (Hg.): *Instrumentation between Science, State and Industry*. Dordrecht 2001, S. 29–46.
- Siegmund-Schultze, Reinhard: *The Late Arrival of Academic Applied Mathematics in the United States: A Paradox, Theses, and Literature*. In: *NTM, Neue Serie* 11 (2003), S. 116–127.
- Siegmund-Schultze, Reinhard: *Military Work in Mathematics 1914–1945: An Attempt at an International Perspective*. In: Booss-Bavnbek, Bernhelm u. a. (Hg.): *Mathematics and War*. Basel 2003, S. 23–82.
- Siegmund-Schulze, Reinhard: *Zur Sozialgeschichte der Mathematik an der Berliner Universität im Faschismus*. In: *NTM* 26 (1989), S. 49–68.
- Small, James S.: *The Analogue Alternative: The Electronic Analogue Computer in Britain and the USA, 1930–1975*. London 2001.
- Szöllösi-Janze, Margit: *Science and Social Space: Transformations in the Institutions of Wissenschaft from the Wilhelmine Empire to the Weimar Republic*. In: *Minerva* 43 (2005), S. 339–360.
- Tietzel, Manfred: *Die Finalisierungsdebatte oder: Viel Lärm um Nichts*. In: *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 9 (1978), S. 348–360.
- Tobies, Renate: *Zur Unterstützung mathematischer Forschungen durch die Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft im Zeitraum der Weimarer Republik*. In: *Mitteilungen der Mathematischen Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik*, 1981, S. 81–99.
- Tobies, Renate: *Die Formierung der angewandten Mathematik und Mechanik als wissenschaftliches Grenzgebiet*. In: *Wissenschaftswissenschaftliche Beiträge*, Humboldt-Universität zu Berlin, Nr. 25, 1983, S. 81–90.
- Tobies, Renate: *Zum Verhältnis von Felix Klein und Friedrich Althoff*. In: *Friedrich Althoff 1839–1908*. In: *Beiträge zum 58. Berliner Wissenschaftshistorischen Kolloquium* 6. Juni 1989, Berlin 1990, S. 35–56.
- Todd, John: *Begründung für die Beschäftigung mit numerischer Analysis*. In: *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung* 58 (1956), S. 11–38.
- Todd, John/Sadler, Donald M.: *Admiralty Computing Service, Mathematical Tables and Other Aids to Computation* 2 (1947), S. 289–297.

- Tooze, Adam: *Ökonomie der Zerstörung: die Geschichte der Wirtschaft im Nationalsozialismus*. München 2007.
- Tournès, Dominique: Junius Massau et l'intégration graphique. In: *Revue d'Histoire des Mathématiques* 9 (2003), Nr. 2, S. 181–252.
- Tournès, Dominique: L'intégration graphique des équations différentielles ordinaires. In: *Historia Mathematica* 30 (2003), S. 457–493.
- Trefftz, Erich: IV. internationaler Kongress für angewandte Mechanik. In: *ZAMM* 14 (1934), S. 255–256.
- Trischler, Helmuth: Die neue Räumlichkeit des Krieges: Wissenschaft und Technik im Ersten Weltkrieg. In: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 19 (1996), S. 95–103.
- Trischler, Helmuth: Nationales Sicherheitssystem – nationales Innovationssystem. Militärische Forschung und Technik in Deutschland in der Epoche der Weltkriege. In: Thoß, Bruno/Volkman, Hans-Erich (Hg.): *Erster Weltkrieg – Zweiter Weltkrieg. Ein Vergleich*. Braunschweig 2002, S. 107–131.
- Verdon, Frank P./Wells, Mike: Computing in British Universities: The Computer Board 1966–1991. In: *The Computer Journal* 38 (1995), S. 822–830.
- Walker, Mark: 20th-Century German Science: Institutional Innovation and Adaptation. In: Krige, John/Pestre, Dominique (Hg.): *Science in the 20th Century*. London 1997, S. 795–819.
- Walther, Alwin/Dreyer, Hans-Joachim: Mathematische Maschinen und Instrumente. Instrumentelle Verfahren. In: Walther, Alwin (Hg.): *Angewandte Mathematik, Teil I*. Weinheim 1948, S. 129–166.
- Walther, Alwin: Keine Furcht mehr vor Differentialgleichungen. In: *VDI-Nachrichten* 8 (1954), Nr. 15, S. 3.
- Weingart, Peter/Taubert, Niels C.: *Das Wissensministerium. Ein halbes Jahrhundert Forschungs- und Bildungspolitik in Deutschland*. Weilerswist 2006.
- Wengenroth, Ulrich: Zur Differenz von Wissenschaft und Technik. In: Bieber, Daniel (Hg.): *Technikentwicklung und Industriearbeit. Industrielle Produktionstechnik zwischen Eigendynamik und Nutzerinteressen*. Frankfurt/New York 1997, S. 141–151.
- Wheeler, Joyce M.: Applications of the EDSAC. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 14 (1992), Nr. 4, S. 27–33.
- Whittaker, Edmund T./Robinson, George: *The Calculus of Observations. A Treatise on Numerical Mathematics*. London 1924.
- Wiegand, Josef: *Informatik und Großforschung. Geschichte der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung*. Frankfurt a. M./New York 1994.
- Wielandt, Helmut: Antrittsrede 10.2.1962. In: *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften* 1961/62, 1962, S. 55–57.
- Willers, Friedrich Adolf: *Methoden der praktischen Analysis*. Berlin 1928.
- Willers, Friedrich Adolf: *Mathematische Maschinen und Instrumente*. Berlin 1951.
- Wolman, Walter/Hoffmann, Walter: *Rechenanlagen*. In: *Forschungsberichte: Aus den Schwerpunktprogrammen der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bd. 2*. Wiesbaden 1958, S. 9–34.

Yost, Jeffrey R.: A Bibliographic Guide to Resources in Scientific Computing 1945–1975. Westport, Conn. 2002.

Zellmer, Rolf: Die Entstehung der deutschen Computerindustrie: Von den Pionierleistungen Konrad Zuses und Gerhard Dirks' bis zu den ersten Serienprodukten der 50er und 60er Jahre. Diss. Universität Köln, 1990.

Abbildungsnachweise

Joachim Fischer

Zur Rolle von Heinz Adler zwischen Ludwig Albert Ott und Alwin Oswald Walther

Abb. 1 und 21–26: CorelDraw!-Zeichnungen J. Fischer; Abb. 2–20, 27, 29–33, 39–45: Ott-Bilder aus dem Privatarhiv J.F.; Abb. 28: Amsler, Jacob: Ueber die mechanische Bestimmung des Flächeninhalts [...]. Schaffhausen 1856; Abb. 34–36: Abdank-Abakanowicz, Bruno: Les Intégraphes [...]. Paris 1886, S. 12, 13 und 22, Fig. 8, 9 und 19; Abb. 37–38: Abdank-Abakanowicz, Bruno: Die Integraphen [...]. Leipzig 1889, S. 56 und 58, Fig. 57 und 58.

Ulf Hashagen

Rechner für die Wissenschaft: »Scientific Computing« und Informatik im deutschen Wissenschaftssystem 1870-1970

Abb. 1.: Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, Bd. 59 (1924), o. S.; Abb. 2: Wikimedia Commons, lizenziert unter GNU-Lizenz für freie Dokumentation (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voit_202_Karl_Runge.jpg?uselang=de; Zugriff v. 23.01.2011); Abb. 3: Deutsches Museum BN_R6806; Abb. 4: Deutsches Museum, BN_50307; Abb. 5: <http://www.sil.si.edu/digitalcollections/hst/scientific-identity/fullsize/SIL14-M004-10a.jpg> (Zugriff v. 23.01.2011); Abb. 6: Walther, Alwin: Das Institut für praktische Mathematik. In: Der Darmstädter Student 25 (1936), o. S.; Abb. 7: Deutsches Museum, BN_29420; Abb. 8: Willers, Mathematische Maschinen und Instrumente. Berlin 1951, S. 264; Abb. 9: Oberwolfach Photo Collection, Photo ID: 9046 (<http://owpdb.mfo.de/>; Zugriff v. 23.01.2011); Abb. 10: Behnke, Heinrich: Abschied vom Schloß in Oberwolfach. Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 75 (1973), S. 51-61; Abb. 11: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Alwin_Walther_1964.jpg&filetimestamp=20100119165231 (Zugriff v. 23.01.2011); Abb. 12: <http://www.ma.tum.de/foswiki/pub/Studium/Broschuere99/AnhangGeschichteB99/Image78.jpg> (Zugriff v. 23.01.2011); Abb. 13: VDI-Zeitschrift 100 (1958), S. 1144; Abb. 14: VDI-Zeitschrift 100 (1958), S. 1145.

Rudolf Seising

Vom harten Rechnen zum Soft Computing. Oder: Rechenkünstler sind nie modern gewesen!

Abb. 1: Zadeh, Lotfi A.: Thinking Machines. A New Field in Electrical Engineering. In: Columbia Engineering Quarterly, January 1950, S. 12; Abb. 2 links: Zadeh, Lotfi A.: Thinking Machines. A New Field in Electrical Engineering. In: Columbia Engineering

Quarterly, January 1950, S. 12; Abb. 2 rechts: Zadeh, Lotfi A.: System Theory. In: Columbia Engineering Quarterly 8 (1954), S. 16; Abb. 3: Zeichnung Rudolf Seising; Abb. 4: Zeichnung Rudolf Seising; Abb. 5: McCulloch, Warren S./Pitts, Walter H.: Ein Logikkalkül für die Nerventätigkeit immanenter Gedanken. In: McCulloch, Warren S.: Verkörperungen des Geistes. Wien/New York 2000 (Computerkultur 7), S. 38; Abb. 6: Rechenberg, Ingo: Evolutionsstrategie. Stuttgart-Bad Cannstatt 1973, S. 25.

Hans Dieter Hellige

Die Aktualität von Hartmut Petzolds Sozialgeschichte des Computing

Abb. 1–3: Privatbesitz Hans Dieter Hellige