

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

Vorwort

Als im Winter 2008/09 auf einer Tagung europäischer Informatikhistoriker die Idee aufkam, zum 65. Geburtstag von Hartmut Petzold ein wissenschaftliches Kolloquium zu organisieren, fand diese Idee sowohl im Forschungsinstitut für Technik- und Wissenschaftsgeschichte des Deutschen Museums als auch innerhalb der GI-Fachgruppe 8.2 »Informatik- und Computergeschichte« der Gesellschaft für Informatik sofort große Zustimmung. Auch die für einen Vortrag angefragten Kollegen Gerard Alberts (Universität Amsterdam), Erhard Anthes (PH Ludwigsburg), Joachim Fischer (Ernst von Siemens Kunststiftung), Menso Folkerts (Ludwig-Maximilians-Universität München) und Rudolf Seising (European Centre for Soft Computing) sagten alle spontan zu.

Die am 10. Juli 2009 im Deutschen Museum organisierte Veranstaltung »*Rechnende Maschinen*«: *Ein Kolloquium zum 65. Geburtstag von Hartmut Petzold* stieß auf ungewöhnlich große Resonanz. Aus München waren neben zahlreichen Mitarbeitern des Forschungsinstituts, des Archivs, der Bibliothek und einigen Kuratoren des Deutschen Museums auch Mitglieder der verschiedenen Forschungsinstitute des »Münchner Zentrums für Wissenschafts- und Technikgeschichte« sowie eine Reihe von Informatikern der drei Münchner Universitäten zum Kolloquium gekommen. Darüber hinaus war eine größere Zahl von Kuratoren und Direktoren aus den führenden Technikmuseen Deutschlands und von Kollegen von deutschen und europäischen Universitäten anwesend, mit denen Hartmut Petzold in seiner über zwanzigjährigen Tätigkeit als Kurator am Deutschen Museum intensive kollegiale Beziehungen gepflegt und im engen fachlichen Austausch gestanden hatte. Erscheint eine solche Veranstaltung in der heutigen Museumswelt mehr als ungewöhnlich, so erklärt sich dies aus der fast außergewöhnlichen Rolle, die Hartmut Petzold in einer Museumskultur gefunden und gespielt hat, die der Forschungstätigkeit des Kurators immer weniger Raum lässt.

Als Hartmut Petzold am 1. Oktober 1988 die Stelle des Kurators für die Abteilungen »Informatik und Automatik« sowie »Zeitmessung« im Deutschen Museum übernahm, war dies ein Glücksfall für das Museum und für die deutsche Computergeschichte. Mit Hartmut Petzold konnte ein ausgewiesener Experte gewonnen werden, der nach einem Ingenieurstudium gerade in seiner herausragenden technikhistorischen Dissertation einen Großteil seines neuen Arbeitsgebietes durch umfangreiche Archivrecherchen, Interviews mit Pionieren und gründliche Literaturlauswertung aufgearbeitet hatte. Nicht zuletzt durch seinen Lehrer Reinhard Rürup und eine mehrjährige Redaktion der Zeitschrift *Technikgeschichte* hatte er sich darüber hinaus umfassende Kenntnisse auf dem gesamten Gebiet der Technikgeschichte erworben.

Wer öfter und näher mit dem Kurator und Technikhistoriker Hartmut Petzold zu tun hatte, konnte dabei manchmal bemerken, dass ihn seine Stellung als Kurator am Deutschen Museum mit einem gewissen (und berechtigten) Stolz erfüllte. Sein Selbstverständnis als Kurator war dabei durchaus kongruent zu dem in der Satzung des Deutschen

Museums von den Gründungsvätern Oskar von Miller und Walther von Dyck festgeschriebenen Forschungs- und Bildungsauftrag, der als herausgehobene Ziele die Erforschung der »historische[n] Entwicklung der Naturwissenschaft, der Technik und der Industrie« sowie die »Förderung der Bildung und der Wissenschaft und Forschung« nennt. So hat Hartmut Petzold seine Tätigkeit als Kurator in einem international führenden Forschungsmuseum, das durch die Integration von Forschung, Sammlung, Ausstellung und Bildung ganz wesentlich geprägt ist, stets so interpretiert, dass die Forschung eine zentrale Voraussetzung für die Sammlungs- und Ausstellungsarbeit bildet. Das Sammeln fasste er dabei nie als eine auf seine eigene Abteilung isolierte Aktivität auf, sondern es zeichnete ihn aus, dass er dabei immer gleich das »Gesamthaus« Deutsches Museum mit seinem Archiv und seiner Bibliothek im Blick hatte. So erwarb er eine sehr große und sehr bedeutende Sammlung an Rechenschiebern nur als Konvolut von Firmenschriften- und Objektsammlung, und er initiierte zusammen mit dem Leiter des Archivs des Deutschen Museums, Wilhelm Füßl, einen Sammelschwerpunkt zur Geschichte der Informatik und warb mit ihm Nachlässe bedeutender deutscher Informatikpioniere ein.

Hartmut Petzold gehörte zu einer Generation von Kuratoren im Deutschen Museum, die dem Idealbild des forschenden Kurators als weltweit anerkannter Spezialist für die von ihm betreuten Sammlungsgebiete sehr nahe kamen: Er gilt in der internationalen *community* der Computerhistoriker wie in der deutschen Technikgeschichte als einer der führenden Vertreter seiner Zunft und war über zwei Jahrzehnte eine zentrale Bezugsperson in der deutschen Rechengenäte-, Rechenmaschinen- und Computergeschichte sowie Ansprechpartner für die deutsche Informatik. Dies belegen eine Reihe von Workshops und internationale Konferenzen, die er unter anderem zusammen mit seinem Kuratorenkollegen Oskar Blumtritt organisierte, wie auch seine führende Rolle bei der Gründung der Fachgruppe Informatik- und Computergeschichte der Gesellschaft für Informatik.

Den Technikhistoriker Hartmut Petzold zeichnet aus, dass seine wissenschaftliche Arbeit im Wesentlichen erkenntnisgetrieben war. Die schöne neue Welt des modernen Wissenschaftsbetriebs in Deutschland mit seinen Modethemen, Projektanträgen und Exzellenzinitiativen war nie seine Sache. Er blieb auch nach 1988 als Kurator für Informatik und Zeitmessung am Deutschen Museum dem technikhistorischen Forschungsprogramm seines Lehrers Reinhard Rürup verpflichtet, und mit der Zähigkeit und dem Eigensinn eines Oberschwaben verfolgte er seine eigenen Forschungsfragen, die vielfach schon in seiner für die deutsche Computergeschichte grundlegenden Dissertation *Rechnende Maschinen: Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik* anklingen. Hat er sich mit dieser Haltung im Forschungsdialog mit seinen Computerhistorikerkollegen manchmal als ein in seinen eigenen Themen gefangener Diskussionspartner gezeigt, so zeichnen sich seine wissenschaftlichen Arbeiten durch eine bemerkenswerte Qualität und Zeitlosigkeit aus.

Diesem historischen Befund über den Historiker Hartmut Petzold hat schon der Titel des Kolloquiums Rechnung getragen, der auf seine 1985 erschienene Dissertation verweist

und dem Kolloquium den thematischen wie auch historiographischen Rahmen gab. Dies war für die Organisatoren naheliegend, denn dieses Werk begründete die moderne Technikgeschichtsschreibung der Informatik in Deutschland, und es ist bis heute ein Standardwerk geblieben, das jeder Informatiker oder Historiker in die Hand nehmen muss, der sich mit der deutschen Computergeschichte befasst. Die Vorträge des Kolloquiums fügten sich thematisch in den von Hartmut Petzolds Dissertation und seinen späteren Arbeiten aufgespannten Rahmen ein.

Da die Organisatoren ursprünglich nur ein kleines, fast »internes« wissenschaftliches Kolloquium geplant hatten, war nicht an eine Publikation der Vorträge gedacht worden. Die Resonanz auf das Kolloquium war jedoch so groß und die Nachfragen nach schriftlichen Ausarbeitungen der Vorträge so nachhaltig, dass wir schließlich die Referenten, die ihre Vorträge nicht schon andernorts publiziert hatten, um eine Publikation ihrer Vorträge in dieser Festschrift gebeten haben. Die Leser, die aufmerksame Zuhörer des Kolloquiums waren, werden bald bemerken, dass die Ausarbeitungen der Vorträge teilweise weit über den Rahmen des mündlich Vorgetragenen hinausgehen. Die Autoren wie die Herausgeber wollen mit diesem Band ihren Dank für die langjährigen wissenschaftlichen und persönlichen Kontakte zu Hartmut Petzold zum Ausdruck bringen, ihm mit ihren Beiträgen aber auch signalisieren, dass sie davon ausgehen, dass er sich mit seinem breiten Wissen und reichen Erfahrungen auch in Zukunft in die wissenschaftlichen und musealen Aktivitäten der *community* einmischt.

Unser Dank gilt zunächst Helmuth Trischler, der als Bereichsleiter Forschung des Deutschen Museums sowohl die Organisation und Durchführung des Kolloquiums als auch die Drucklegung der ausgewählten Vorträge in der neuen Preprint-Reihe des Deutschen Museums unterstützt hat. Realisierbar war dieses Projekt nur, weil Frau Andrea Lucas in überaus engagierter wie kompetenter Weise die Aufgabe der Redaktion und der Drucklegung übernommen hat – ihr gilt unser besonderer Dank.

München und Bremen, im April 2011
Ulf Hashagen und Hans Dieter Hellige

Erhard Anthes

Zur Einführung des logarithmischen Rechenstabes im deutschen Bildungssystem

Während man über die historische und technische Entwicklung des logarithmischen Rechenstabes sehr detaillierte Kenntnisse hat und über eine reichhaltige Literatur verfügt, die durch immer neue Einsichten zunehmend differenzierter erscheint,¹ sind die Wege, über die der Rechenstab verbreitet wurde, weitgehend unbekannt. Es heißt, im 19. Jahrhundert war der Rechenstab in Deutschland weit verbreitet und wurde vielfältig benutzt.² Auf das deutschsprachige Bildungssystem bezogen, ist dies nicht unbedingt zutreffend. Im Folgenden soll – nach einem kurzen Abriss zur Entwicklungsgeschichte – die Diffusion des Rechenstabes unter zwei Perspektiven untersucht werden: erstens unter der Perspektive des Technischen Schulwesens und zweitens unter der Perspektive des allgemeinbildenden Schulwesens.

Das allgemeinbildende Schulwesen umfasst die Grund- und Hauptschule (früher Volksschule), die Realschule (früher Mittelschule) und das Gymnasium (früher: Gymnasium, Realgymnasium, Oberrealschule).³ Die Bildungseinrichtungen, die nicht zum allgemeinbildenden Schulwesen gezählt wurden, waren z.B. Gewerbeschulen, technische Lehranstalten oder die Vorgängerinstitutionen der Technischen Hochschulen im 19. Jahrhundert, das Polytechnikum und die Polytechnische Schule.

1. Einige Fixpunkte der Entwicklung des logarithmischen Rechenstabes

Das logarithmische Rechnen bezeichnet Rechenverfahren, die die Rechenoperationen zweiter Stufe, Multiplikation und Division, auf die Rechenoperationen erster Stufe, Addition bzw. Subtraktion, zurückführen. Zugrunde liegt den Verfahren der algebraische Zu-

1 Mehmke, *Der Rechenschieber in Deutschland*, 1902; Cajori, *History*, 1909; Rohrberg, *Geschichte*, 1916; Jezierski, *Rechenschieber*, 1997; Zoller, *Sobo Slide Rule*, 1998; Hopp, *Slide Rules*, 1999; Kühn/Kleine, *Dennert & Pape*, 2004; Craenen, *Albert Nestler*, 2001/2004; Smallenburg, *LOGA Calculators*, 2004; Schuitema, *Cultural Heritage*, 2004; Rudowski, *Slide Rules in Germany*, 2006; Rudowski, *Polymeter*, 2009; Soper, *K&E Salisbury Products*, 2007; Hopp, *Joint Slide Rules*, 2009; Journal of the Oughtred Society seit 1991 u.a.

2 Z.B.: Smith, *Arithmetische Instrumente*, 1876, S. 34: »Instrument, das viel in Gebrauch gewesen ist«; Heusinger, *Handbuch*, Bd. 1, 1880, S. 64: » ... in den letzten Jahren auch in Deutschland mehr und mehr Verbreitung gefunden hat«; Bruns, *Apparate*, 1881, S. 123: »Verbreitung und häufige Anwendung, auf welche man [...] schließen darf«; Luedecke, *Rechenapparate*, 1891, S. 346: »Der einfache Rechenschieber hat [...] eine weite Verbreitung erlangt«; Dieck, *Entstehung und Zweck*, 1920, S. 44: »So hat der Rechenschieber im praktischen Leben bereits eine weite Verbreitung gefunden.«

3 Die Bezeichnungen in Klammern entstanden am Ende des 19. Jahrhunderts und wurden teilweise bis in die 1960er Jahre benützt, siehe dazu: Berg, *Handbuch der deutschen Bildungsgeschichte*, Bd. 4, 1991; Grüner, *Fachschulen*, 1991, S. 389–398; Langewiesche/Tenorth, *Handbuch der deutschen Bildungsgeschichte*, Bd. 5, 1989; Zymek/Langewiesche/Tenorth, *Handbuch der deutschen Bildungsgeschichte*, Bd. 5, S. 155–208.

sammenhang, der durch die Logarithmusfunktion vermittelt wird und kurz durch die Gleichungen

$$\log uv = \log u + \log v \text{ bzw. } \log u/v = \log u - \log v$$

ausgedrückt werden kann. Erste Ansätze des logarithmischen Rechnens sind bereits in altbabylonischen Texten, bei Euklid und Archimedes und in vielen Publikationen des 15. und 16. Jahrhunderts zu finden.⁴ Michael Stifel (ca. 1487–1567) publizierte 1544 eine Zuordnung der Potenzen von 2 zu deren Exponenten, wobei er zum ersten Mal auch negative Exponenten verwendete. Der Schweizer Jost Bürgi (1552–1632) und der Schotte John Napier (1550–1617) berechneten und veröffentlichten unabhängig voneinander und nahezu gleichzeitig die ersten Logarithmentafeln.⁵ Die Basis des logarithmischen Rechenstabes ist eine logarithmische Skala, an deren Markierungen die zugehörigen Numeri stehen.⁶ Als erster fertigte 1620 der Professor der Astronomie Edmund Gunter (1581–1626) eine zweifache logarithmische Skala 1 – 10 – 100 auf einem Holzstab. Die Rechenoperationen führte er mit Hilfe eines Stechzirkels aus, wobei die Multiplikation zweier Zahlen durch Aneinandersetzen der zugehörigen Strecken erfolgte. Der Pfarrer und Mathematiker William Oughtred (1575–1660) legte ab 1627 zwei gleiche logarithmische Skalen nebeneinander und führte Rechnungen durch Verschieben der beiden Skalen durch, womit das Abgreifen der Strecken durch den Stechzirkel entbehrlich wurde. Das vermutlich nur in einem Exemplar hergestellte Instrument von Robert Bissaker, datiert auf 1654, stellt ein frühes komplexes Recheninstrument mit logarithmischer Skala dar, das wohl Einfluss auf die weiteren Konstruktionen hatte.⁷ Hervorzuheben ist noch der doppelseitige Rechenstab von Seth Partridge (1603–1686) aus dem Jahr 1657. Wie Werner Rudowski kürzlich feststellte,⁸ ist die anonyme Anleitung im Leupoldschen Werk⁹ von 1727 die deutsche Übersetzung der Beschreibung von Partridge.

Der am Rechenstab verschiebbare Läufer (zum Abgleichen der verschiedenen Skalen) wurde mindestens dreimal erfunden: Bereits 1675 beschrieb Isaac Newton (1643–1727) den Läufer im Zusammenhang mit der Verwendung dreier logarithmischer Skalen bei der Lösung von kubischen Gleichungen.¹⁰ Rund 100 Jahre später konstruierte der Bibliothekar der Royal Society of London John Robertson (1712–1776) einen Rechenschieber mit einem Läufer,¹¹ bevor 1851 der französische Artillerieoffizier Amédée Mannheim (1831–1906) ein weiteres Mal den Läufer für den logarithmischen Rechenschieber erfand.¹² Ein entscheidender Schritt in der Entwicklung des logarithmischen Rechenstabes gelang John Southern, Mitarbeiter von James Watt, und dem Instrumentenmacher William Jones:¹³

4 Genauerer siehe: Tropfke, *Geschichte der Elementarmathematik*, 4. Aufl. 1980, S. 298 f.

5 Bürgi, *Progreß-Tabulen*, 1620; Napier, *Mirifici Logarithmorum*, 1614.

6 Zum Verfahren siehe z.B. Rohrberg, *Der Rechenstab im Unterricht*, 1929, S. 7–14.

7 Erste Beschreibung von Rudowski, *The Bissaker Slide Rule*, 2008, S. 34–40.

8 Rudowski, *Slide Rules in Germany*, 2006, S. 45.

9 Leupold, *Theatrum arithmetico*, 1727, S. 71–74.

10 Cajori, *History*, 1910, S. 21–23.

11 Otnes, *Robertson's Slide Rule*, 1999, S. 7–10.

12 Cajori, *History*, 1910, S. 63 f.

13 Zoller, *Sobo-Rule*, 1998, S. 8–13.

Sie entwarfen 1796 einen Rechenstab für Ingenieure (»Soho-Rule«), bei dem sie die Skala x und die Quadratskala x^2 auf dem Körper und jeweils gegenüber auf der Zunge anordneten, heute so notiert: $x^2 \parallel x^2$, $x \parallel x$; die senkrechten Doppelstriche deuten die beiden Gleitfugen zwischen Körper und Zunge an. Eine weitere wegweisende Erfindung für das logarithmische Rechnen war die log-log-Skala, zuerst 1815 durch den englischen Physiker Peter Mark Roget (1736–1819)¹⁴ beschrieben und ab ca. 1900 in den Rechenstäben für technisches und wissenschaftliches Rechnen platziert.¹⁵

Bis Anfang des 19. Jahrhunderts war England führend in der Entwicklung des logarithmischen Rechenstabes, dann ging die Initiative auf Frankreich über, angestoßen durch einen 1815 publizierten Aufsatz des Vermessungsingenieurs Edme-Francois Jomard (1777–1862).¹⁶ Er verwies am Ende des Aufsatzes auf den Instrumentenmacher Paul Etienne Lenoir (1776–1827), der inzwischen wesentlich genauere Rechenstäbe produzieren konnte als es die englischen waren¹⁷; Lenoir benutzte zur Herstellung der logarithmischen Skalen eine spezielle Teilmaschine, mit der er gleichzeitig mehrere Skalen ritzen konnte.¹⁸

Instrumentenmacher waren es, die seit dem 18. Jahrhundert in Deutschland logarithmische Rechenstäbe herstellten. Verschiedene Rechenstäbe aus dieser Zeit wurden untersucht und beschrieben, so zuletzt von Rudowski¹⁹ und Vollrath.²⁰ Diese Stäbe konkurrierten mit den englischen und französischen Produkten. Nach der Aufnahme der kommerziellen Produktion von Rechenschiebern durch Dennert & Pape (1872), Albert Nestler (1878) und A. W. Faber (1882) wurde schließlich Deutschland führend in der Rechenstabentwicklung, die besonders mit den Skalensystemen »Rietz« (Max Rietz, 1902) und »Darmstadt« (Alwin Walther, 1936) ihren internationalen Ausdruck fand. Um den zweiseitigen, bereits im 17. Jahrhundert ausgeführten Rechenstab einfacher nutzbar zu machen, versah der in New York lebende Brite William Cox im Jahr 1891 dieses Instrument mit einem Läufer für beide Seiten.²¹

Im 20. Jahrhundert wurden Rechenstäbe in millionenfacher Auflage hergestellt, bis deren Gebrauch und damit deren Produktion um 1970 durch das rasante Aufkommen des elektronischen Taschenrechners ein Ende fand. Die Geschichte der meisten Hersteller und vieler spezieller logarithmischer Rechenstäbe, Rechenscheiben und Rechenzylinder, die unter dem Sammelbegriff Rechenschieber zu subsumieren sind, ist in einer umfangreichen Literatur dargestellt.²²

14 Roget, *New Instrument*, 1815.

15 Wyman/Otnes, *Log-log Slide Rules*, 2008; Russel, *Scientific Instrument Makers*, 2009, S. 20.

16 Jomard, *Description d'une règle à calculer*, 1815.

17 Beschreibung eines frühen Lenoir-Rechenstabes in: Thomas, *Lenoir Slide Rule*, 2010.

18 Jezierski, *Rechenschieber*, 1997, S. 33. Mehr über die frühe Entwicklung in Frankreich in: Wells/Wyman, *La Règle à calcul*, 2002.

19 Rudowski, *The Oldest German Slide Rule*, 2006.

20 Vollrath, *Paar von Rechenstäben*, 2006.

21 Cox, *Engineer's Slide-Rule*, 1891; Otnes, *Instruction Manuals*, 1997; Stanley, *William Cox*, 1997.

22 Siehe Fußn. 1.

2. Der logarithmische Rechenstab im technischen Bildungswesen

Bei dem Versuch, die Verbreitung des logarithmischen Rechenstabs im technischen Bildungswesen zu untersuchen, stößt der Mathematikhistoriker sehr schnell auf grundlegende historiographische Probleme, da die Ingenieure in ihren Publikationen kaum über die Nutzung dieses Hilfsinstruments berichteten. Hier wird ein erster Versuch unternommen, Gebrauchsanleitungen, Publikationen in technischen Zeitschriften sowie Lehr- und Handbücher zur Technik als Quelle zu nutzen, um einen Einblick in die Verwendung des Rechenschiebers zu erhalten.

Die ersten deutschsprachigen Beschreibungen des Rechenstabes wurden im 17. und 18. Jahrhundert von Johann Matthäus Biler,²³ Michael Scheffelt (1652–1720)²⁴, Jacob Leupold (1674–1727)²⁵ und Johann Heinrich Lambert (1728–1777)²⁶, Letzterer mit Verweis auf die Branderschen Rechenstäbe,²⁷ publiziert. Das Mathematische Wörterbuch von Georg Simon Klügel bezieht sich in dem Abschnitt »Logarithmischer Maß= oder Rechenstab« auf Scheffelt und Lambert, sieht aber den Nutzen eher im Bereich des Unterrichtens, um logarithmisches Rechnen als Technik einsehbar und geläufiger zu machen.²⁸

Im 19. Jahrhundert wurden weitere Anweisungen gedruckt: Zunächst von Eduard Harkort²⁹ und von Fr. W. Schneider (»für Forstleute, Techniker und junge Mathematiker«).³⁰ Im *Polytechnischen Journal* von Johann Gottfried Dingler (Erstausgabe 1820) erschienen nun regelmäßig Meldungen über die Entwicklungen von Rechenstäben in England, die ein aufschlussreiches Schlaglicht auf die Situation in Deutschland werfen, z.B.:

Wir haben von der Nothwendigkeit der Verbreitung der Rechen-Maßstäbe unter unseren Baumeistern, Zimmerleuten etc. schon so oft gesprochen, dass wir uns selbst über unseren unermüdlichen Eifer wundern könnten, wenn wir uns nicht noch mehr darüber wundern müssten, dass nur wenige unserer Baumeister etc. wissen, was ein Logarithmus ist. In jedem Staate rechnet jeder Artillerist jetzt mit Logarithmen; und wie viele Civilisten wissen auch nur, was ein Logarithmus ist! Woher kommt dieß? Daher, dass der Soldat zweckmäßig und von seines Gleichen gebildet wird, und der Civilist auf unseren Schulen von P-n und ihren Knechten Alles lernen, nur das nicht, was er braucht: Mathematik, und Mathematik und wieder Mathematik.³¹

In den folgenden Jahrzehnten sind die Bemühungen in Österreich – z.B. von Professoren an Polytechnischen Schulen – bemerkenswert, die Einführung des Rechenstabes an Ausbildungseinrichtungen und in breiteren Bevölkerungskreisen voranzubringen. Dies wird in den Publikationen sichtbar, die die Verwendungsweise des Rechenstabes bekannt machen

23 Biler, *Instrumentum mathematicum universale*, 1696; siehe auch Cajori, *History*, 1910, S. 23, und Rudowski, *Slide Rules in Germany*, 2006, S. 42.

24 Scheffelt, *Pes mechanicus*, 1. Aufl. 1699, 2. Aufl. 1718.

25 Leupold, *Theatrum*, 1727, S. 41–42 (Scheffelt), S. 71–73 (Partridge), S. 77–79 (Biler).

26 Lambert, *Beschreibung*, 1761, 2. Aufl. 1772.

27 Kleine, *Lambert-Brandersche Rechenstäbe*, 2006

28 Klügel, *Mathematisches Wörterbuch*, 1808, S. 587.

29 Harkort, *Schiebelineal*, 1824, Besprechung in Rudowski, *Polymeter*, 2009, S. 89–113.

30 Schneider, *Anweisung*, 1825.

31 *Polytechnisches Journal* 32 (1829), S. 173, Anm. 64.

sollen. Dazu gehören einerseits Bedienungsanleitungen, andererseits Aufsätze in einschlägigen Zeitschriften, die sich vor allem an Techniker richten: So erschienen u.a. 1830 der Aufsatz von Adam Burg »Über die Einrichtung und Anwendung des bei den englischen Mechanikern und Maschinenarbeitern gebräuchlichen Schieberlineals (Sliding rule), mit welchem sie sämtliche, auf ihre Arbeiten Bezug habenden Rechnungen sehr leicht und schnell ausführen«³², 1843 Leopold Karl Schulz von Straßnitzki³³ *Anweisung zum Gebrauche des englischen Rechenschiebers* und acht Jahre später, 1851, Ernest Sedlaczek³⁴ *Anleitung zum Gebrauche einiger logarithmisch getheilte Rechenschieber (sliding-rule, règle-à-calcul), solcher Instrumente, mittelst deren man alle mit Logarithmen lösbare Aufgaben schnell und sicher vollführen kann*. In Deutschland erschien 1847 die *Anleitung zum Gebrauch des Rechenschiebers* von C. Hoffmann.³⁵ In den Einleitungen oder Vorbemerkungen dieser Schriften findet man in der Regel Hinweise auf den Bekanntheitsgrad und die Verwendungshäufigkeit des Instruments: »In Deutschland ist der Rechenschieber [sic!] noch nicht hinlänglich bekannt, und erst in neuerer Zeit geschieht von den Mechanikern und Maschinenbauern öftere Anfrage danach.«³⁶ In den zeitgenössischen Hand- und Lehrbüchern des Ingenieurwesens sowie in Technischen Wörterbüchern bis circa 1870 gibt es hingegen keinerlei Hinweise auf den Rechenstab. Auch das in zahlreichen Auflagen erschienene ingenieurwissenschaftliche Standardwerk Hütte, *Des Ingenieurs Taschenbuch*, enthält bis zur 11. Auflage (1877) keinen Hinweis auf den Rechenstab.³⁷ In der 13. Auflage (1887) wird in dem neuen Abschnitt »Geodäsie« neben dem Planimeter auch der Rechenschieber erwähnt. Ein kurzer Absatz stellt die gängigen Größen (25 cm und 50 cm Skalenlänge) vor sowie die Einstellungen des Instruments beim Multiplizieren bzw. Dividieren.³⁸ Bis zur 15. Auflage 1892 wird der Text beibehalten, dann in der 16. Auflage (1896) durch Literaturhinweise ergänzt.

Das vermutlich erste deutschsprachige ingenieurwissenschaftliche Lehrbuch, das den Rechenschieber als Rechenhilfsmittel empfiehlt, ist die *Graphische Statik* von Karl Culmann (1821–1881) in der ersten Auflage von 1866. Culmann erläutert ein Berechnungsproblem zur Stärke eines Tragbalkens, das er durch schriftliches Rechnen, ferner auf graphischem Weg und schließlich mit dem Rechenschieber löst. Zu Letzterem entschuldigt er sich für die Kürze seiner Darlegungen in der Meinung, den Rechenschieber und das Operieren mit ihm voraussetzen zu dürfen, da eine Behandlung zu ausführlich für die gesetzten Grenzen des Buches werden müsse.³⁹

Die hier noch ausgebliebene Beschreibung holte Culmann dann in einem umfangreichen, 1868 publizierten Aufsatz nach.⁴⁰ Die zweite Auflage der *Graphischen Statik* von

32 Burg, *Einrichtung*, 1830.

33 Schulz von Straßnitzki, *Anweisung*, 1843.

34 Sedlaczek, *Anleitung*, 1. Aufl. 1851, 2. Aufl. 1856; Sedlaczek, *Visier- und Recheninstrumente*, 1856.

35 Hoffmann, *Anleitung*, 1. Aufl. 1847, 2. Aufl. 1854. »Rechenschieber« ist offenbar kein Druckfehler, sondern wird durchgehend im Text verwendet, auch in der zweiten Auflage.

36 Hoffmann, *Anleitung*, 1847, S. 1.

37 Die 12. Auflage konnte bisher nicht eingesehen werden.

38 Hütte, *Des Ingenieurs Taschenbuch*, 13. Aufl. 1887, S. 374.

39 Cullmann, *Statik*, 1866, S. 245.

40 Cullmann, *Der Rechenschieber*, 1868.

1875 wurde vom Verfasser u.a. durch das ausführliche zweite Kapitel »Logarithmen und Rechenschieber« erweitert. Zu dieser Zeit war der Rechenschieber offenbar immer noch nicht sehr bekannt.⁴¹ Eine mögliche Erklärung dafür gibt Gustav Herrmann (1836–1907), ordentlicher Professor an der polytechnischen Schule zu Aachen:

Mancherlei Ursachen haben zusammengewirkt, um eine allgemeine Verbreitung des Rechenschiebers bisher zu hindern. Dass man überhaupt ein Instrument gebraucht, an welchem Manipulationen vorgenommen werden, deren Ausführung eine gewisse Handfertigkeit erfordert, die wiederum nur durch längere Übung erreicht werden kann, schreckt gar Manchen von dem Gebrauche des Rechenschiebers ab. Dass derselbe die Ermittlung von höheren Wurzeln, z.B. schon von Cubikwurzeln nur in umständlicher Art gestattet, ist schon erwähnt und jedenfalls ist auch der bei guter Ausführung nicht ganz geringe Preis des Instruments ein nicht zu unterschätzendes Hindernis seiner Verbreitung. Trotzdem würde aber das Rechenlineal in der Hand des Ingenieurs viel häufiger gefunden werden, wenn die technischen Bildungsanstalten bislang den graphischen Verfahrensarten beim Rechnen und Construiren grössere Sorgfalt zugewandt hätten. Die erfreulichen Bestrebungen, welche wir neuerdings so allgemein von den technischen Lehranstalten der Cultur der Graphik zugewendet sehen, werden sicherlich auch den Erfolg haben, dass die Techniker von den Vortheilen einen allgemeineren Gebrauch machen, welche ihnen graphische Mittel gewähren.⁴²

Die von Herrmann genannten Gründe für die nur geringe Verbreitung des Rechenstabes werden von anderen Autoren um diese Zeit ebenfalls angeführt. Dagegen sieht Heinrich Bruns, Professor für Mathematik an der Universität Berlin und später Verfasser eines der ersten Lehrbücher über wissenschaftliches Rechnen, den Rechenschieber häufig angewendet. In seinem Bericht über Apparate zum Studium der Arithmetik, die auf der Londoner internationalen Ausstellung 1876 gezeigt wurden, zieht er aus der Anzahl der ausgestellten logarithmischen Rechengeräte (Rechenstäbe, Rechenscheiben, Rechenzylinder) den Schluss, diese Instrumente müssten eine weite Verbreitung und Anwendung haben, zumal der Gebrauch eines Rechenschiebers leichter zu vermitteln sei als der Umgang mit einer Logarithmentafel.⁴³ Aus der 1998 erschienenen Untersuchung von Bertram Maurer geht hervor, dass um 1880 einzelne Technische Hochschulen durchaus Vorlesungen über mechanisches und graphisches Rechnen mit Bezügen zu Rechenschiebern, Rechenmaschinen und Planimetern angeboten haben.⁴⁴ Laut G. Oldenburger, Gewerbeschullehrer in Bochum, der 1885 seinen Aufsatz über »Einige einfache mechanische Rechenapparate« veröffentlichte, bestanden bei seinen Schülern jedoch Verständnisschwierigkeiten und daraus resultierend Mängel in der Handhabung des Gerätes, was am Ende auf die Denkfähigkeit der Lernenden zurückzuführen sei.⁴⁵

41 Einige zeitgenössische Begründungen für die damals geringe Verbreitung des Rechenstabes in Deutschland sammelte Bertram Maurer in seiner 1998 erschienenen Dissertation, siehe Maurer, *Karl Culmann*, 1998, bes. S. 192–195.

42 Herrmann, *Einmaleins*, 1875, S. 9.

43 Bruns, *Apparate*, 1881, S. 123.

44 Maurer, *Karl Culmann*, 1998, S. 393.

45 Oldenburger, *Rechenapparate*, 1885, S. 163.

Auch zwanzig Jahre später hatte sich anscheinend noch keine wesentliche Verbesserung der Vermittlungssituation ergeben. So stellt der Frankfurter Oberlehrer Dr. Robert Burg im Vorwort seiner *Anleitung für die Rechenstäbe und Rechenstab-Uhren der Firma Dennert & Pape* von 1904 fest, dass der logarithmische Rechenstab zwar für das technische Rechnen anerkannt sei, aber nur an einer »kleinen Anzahl technischer Lehranstalten den ihm gebührenden Platz im mathematischen Unterricht erobert« habe. Nur von wenigen Technikern werde das Instrument sachgemäß und sicher verwendet. Als Grund sieht er Mängel bei der Gestaltung von Anleitungen, insbesondere vermisste er einheitliche Rechenregeln und praktische Methoden für die Stellenauswertung. Mit seinem Lehrgang versuchte er insbesondere diesen Schwächen, auch durch technische Hilfen wie eine Rechenstab-Uhr für die Stellenauswertung, entgegenzuwirken.⁴⁶

In dem Aufsatz »Der Rechenstab im Unterricht an Maschinenbauschulen« aus dem Jahr 1908⁴⁷ beklagt J. Weisner, Lehrer an einer Maschinenbauschule, die Situation an preußischen technischen Lehranstalten hinsichtlich des Einsatzes von Rechenstäben. Einerseits sei die Nützlichkeit des logarithmischen Rechenstabes in der Praxis des Ingenieurs und Technikers unbestritten, andererseits werde dem Instrument im Unterricht nicht die gebührende Unterstützung gewährt. Als Ursache für die Geringschätzung macht Weisner einen Teil des Lehrpersonals verantwortlich, z.B. Mathematiker und seminaristisch ausgebildete Lehrer, die nicht hinreichend Einsicht für die praktische Relevanz des Instruments hätten, im Gegensatz zu den aus der Praxis kommenden Ingenieuren mit Erfahrung im Rechenstabrechnen. Die zu seiner Zeit gültigen Lehrpläne sähen die Behandlung des Rechenstabes nicht vor. Weisner geht in seiner Stellungnahme auch auf didaktische und methodische Vorschläge zur Verminderung der Schwierigkeiten des Rechenstabgebrauchs ein. Er befürwortet den Einsatz des Rechenstabes im Unterricht möglichst ab dem ersten Semester und fordert sogar, ein besonderes Fach dazu einzurichten. Der Unterrichtende sollte selbst eine breite Erfahrung mit dem Rechenstab haben und das Zahlenrechnen sollte generell mit dem Rechenstab durchgeführt werden.

Zwischen 1905 und 1915 wurden im Auftrag der Internationalen Mathematischen Unterrichtskommission (IMUK) ausführliche Berichte über den Zustand des mathematischen Unterrichts in den angeschlossenen Ländern verfasst. Für Deutschland war der spiritus rector des Unternehmens der Mathematiker Felix Klein (1849–1925). Unter seiner Leitung entstand ein bisher einmaliges Werk, die fünfbandigen *Abhandlungen über den mathematischen Unterricht in Deutschland*.⁴⁸ Sämtliche Bildungseinrichtungen der damaligen Zeit, die sich mit dem Lehren von Mathematik befassten, wurden in die Untersuchungen einbezogen.⁴⁹ Im Band IV wird die Situation der Mathematik an den technischen Schulen in Deutschland dargestellt. An einzelnen Stellen wird auch auf die Verwendung von Rechenhilfsmitteln, speziell auch des logarithmischen Rechenstabes, im Unterricht einge-

46 Burg, *Stabrechnen*, 1904, Vorwort.

47 Weisner, *Rechenstab im Unterricht*, 1908.

48 Klein, *Abhandlungen*, 1909–1916.

49 Über Kleins Engagement für Schulfragen siehe Mattheis, *Felix Klein*, 2000.

gangen. Exemplarisch sei hier die Zusammenfassung von Martin Girndt, Oberlehrer an der Baugewerkeschule in Köln, zitiert:

Die Verwendung des logarithmischen Rechenstabes in der bautechnischen Praxis ist keine einheitliche. Im allgemeinen kann man sagen, dass in denjenigen Zeichenstuben, in denen Aufgaben aus den Bauingenieurwissenschaften bearbeitet werden, der Rechenstab häufiger im Gebrauch ist als bei den Hochbautechnikern. Trotzdem findet er auch hier nicht selten Anwendung. Seine bequeme Handhabung und Anwendungsfähigkeit sind eben Vorteile, die ihn vor allen anderen Rechenbehelfen auszeichnen. Im ganzen kann man sagen, dass die Anwendung des Rechenstabes seitens des Hochbautechnikers hauptsächlich durch persönliche Neigung und durch das Vorbild anderer Techniker beeinflusst wird. [...] Die Unterweisung in der Theorie und Handhabung des Rechenstabes wird von den Lehrplänen der nach preußischem Muster arbeitenden Schulen nicht gefordert, weder im Hochbau noch im Tiefbau. Tatsächlich wird er wohl überall im Tiefbauunterricht verwendet. Dagegen lehren und üben die bayerischen Schulen, die, wie bereits erwähnt, nur Hochbauklassen haben, seinen Gebrauch schon von der untersten Stufe (I. Kurs) an, trotzdem dem Schüler das Verständnis für das Rechengerät erst viel später vermittelt werden kann. An manchen Schulen befindet sich zur ständigen Belehrung ein großes Modell dauernd in der Klasse. Es wäre lehrreich zu erfahren, wo und in welchem Umfang die Zöglinge der bayerischen Schulen in der späteren Praxis den Rechenstab benutzen. Karlsruhe setzt ein ganzes Semester lang je eine Wochenstunde für die Unterweisung im Gebrauch des Rechenschiebers fest.⁵⁰

Die Navigationsschulen in Preußen verwendeten vereinzelt noch die ältere Gunterskala⁵¹, jedoch wurden Versuche unternommen, moderne Rechenschieber, die für nautische Aufgaben eingerichtet waren, einzuführen. Für manche Autoren blieb es fraglich, ob ein Zeitgewinn durch die Benutzung dieser Rechenstäbe erzielt werden konnte.⁵² Weitere Institutionen, in denen der Rechenschieber benützt wurden, waren die Ausbildungsstätten für Landmesser,⁵³ die preußischen Bergakademien⁵⁴ und die mittleren Fachschulen der Maschinenindustrie⁵⁵. In der mathematischen Ausbildung an Technischen Hochschulen wurde der Rechenstab im Rahmen der »Praktischen Mathematik« behandelt.⁵⁶ In den vom Deutschen Ausschuss für das technische Schulwesen herausgegebenen »Abhandlungen und Berichte« (1910–1919), entstanden auf Initiative des Vereins Deutscher Ingenieure, wird der Rechenstab nur am Rande erwähnt.⁵⁷

50 Girndt, *Bautechnische Fachschulen*, 1916, S. 156.

51 Rechenstab ohne Zunge, ohne Läufer, i.d.R. mit den Skalen Zahlen, Wurzel, Kuben, Sinus, Tangente, Sinusversus versehen; Beschreibung in: Jerrmann, *Gunterscale*, 1888.

52 Schilling/Meldau, *Navigationsschulen*, 1912, S. 45.

53 Klein, *Abhandlungen*, Bd. IV, H. 8, S. 38, 40.

54 Klein, *Abhandlungen*, Bd. IV, H. 7, S. 7, 10, 13.

55 Klein, *Abhandlungen*, Bd. IV, H. 2, S. 71–73.

56 Klein, *Abhandlungen*, Bd. IV, H. 9, S. 74–75.

57 *Abhandlungen und Berichte*, 1910 bis 1919, Bd. I–VI, insbesondere: Bd. I, 1910, S. 58 f.; Bd. II, 1911, S. 131; Bd. IV, 1912, S. 30.

3. Der logarithmische Rechenstab im allgemeinbildenden Schulwesen

Ausgangspunkt der Untersuchung war die häufig zu lesende Feststellung, der logarithmische Rechenstab habe bereits im 19. Jahrhundert eine weite Verbreitung gefunden, insbesondere werde er von Technikern häufig benutzt.⁵⁸ Vor allem mit dem Beginn einer kontinuierlichen Rechenstabproduktion in Deutschland (1872: Dennert & Pape in Hamburg; 1880: Nestler in Lahr; 1882: A.W. Faber in Stein)⁵⁹ gehe auch eine rasche Verbreitung des Instruments an den allgemeinbildenden Schulen einher. Dies konnte jedoch nicht bestätigt werden, ganz im Gegenteil: Es scheint so, dass die tatsächliche Verbreitung des Rechenstabes recht zäh vonstatten ging, entgegen den teilweise geäußerten Forderungen, er müsse jetzt endlich im Mathematikunterricht eingeführt werden. Um 1900 war der Rechenstab in den Gymnasien oder Realgymnasien eher die Ausnahme, in den Mittelschulen begann man in den 1930er Jahren, sich mit ihm zu beschäftigen. Und als er schließlich in den Hauptschulen ankam (ab etwa 1960), wurde er bald obsolet, weil der elektronische Taschenrechner das Feld eroberte.

Ausgehend von der Überlegung, dass die Entwicklung des Unterrichts in der fachdidaktischen Literatur reflektiert wird, wertet die vorliegende Untersuchung die einschlägigen Publikationsorgane in Blick auf entsprechende Äußerungen aus. Ab 1870 erschien die auf Jahrzehnte führende fachdidaktische *Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht* (ZMNU). Im Band 3 von 1872 publizierte der Essener Real-Oberlehrer von der Heyden den Aufsatz »Das Rechenlineal, ein an höheren Lehranstalten einzuführendes Unterrichtsmittel« und schickte seiner Beispielsammlung mit Erläuterungen für den Unterricht die folgenden Bemerkungen voraus:

Nachstehende Zeilen bezwecken, die Aufmerksamkeit besonders der Lehrer der reinen und angewandten Mathematik auf ein Instrument zu richten, das, so genial erdacht und exakt ausgeführt, ebenso unbekannt in Deutschland geblieben zu sein scheint. Wenigstens haben meine Beobachtungen ergeben, dass gerade in den Kreisen, in denen es am ehesten bekannt sein sollte, eine vollständige Unbekanntschaft mit der Einrichtung, dem Gebrauch und der Bezugsquelle eines Instrumentes herrscht, das in den Händen unserer Schüler durch die ausserordentliche Schnelligkeit und eine für die meisten Fälle hinreichende Genauigkeit [...] den Unterricht in der Physik und Chemie gleichwie in der Mathematik in der wirksamsten Weise zu unterstützen berufen ist.⁶⁰

Der Hauptteil des Textes gibt eine beispielgebundene Einführung in die Bedienung des Rechenstabes. Als Bezugsquelle für Rechenstäbe gibt der Autor am Ende des Aufsatzes die Firma Tavernier-Gravet, Paris, an. Er lobt die Rechenstäbe des französischen Herstellers und warnt vor deutschen und englischen Produkten, die wegen mangelhafter Teilung oder schlechter Auswahl des Holzes vollständig wertlos seien.⁶¹ In einer Beilage werden die

58 Siehe Fußn. 2.

59 Zur Entwicklung des Rechenstabes in Deutschland siehe Jeziarski, *Rechenschieber*, 1997; Craenen, *Albert Nestler*, 2001/2004; Kühn/Kleine, *Dennert & Pape*, 2004.

60 Von der Heyden, *Das Rechenlineal*, 1872, S. 336.

61 Ebd., S. 345–346.

Skalen des Rechenstabes abgebildet: $x^2 \parallel x^2$, $x \parallel x$; Rückseite $\parallel \sin, \log, \tan \parallel$. Ferner sind drei mm-Skalen auf dem Körper angebracht.

Erst neun Jahre später druckte die ZMNU eine weitere Äußerung zum Rechenstab ab. In seinem 1881 erschienenen Aufsatz über das graphische Rechnen von Culmann⁶² wirbt Gymnasialprofessor Guido Hauck (1845–1905), später Professor für Geometrie an der Universität Tübingen, in einer Fußnote für die Benutzung des Rechenstabes unmittelbar im Anschluss an die Einführung der Logarithmen. Auch Hauck beklagt – wie viele andere Autoren – den hohen Preis von zehn Mark und schlägt vor, auf einen Rechenschieber aus Pappe für nur 1,25 Mark zurückzugreifen.⁶³

Der zweite (fast unveränderte) Abdruck des Heyden-Aufsatzes aus dem Jahr 1896 wurde durch Nachfragen aus der Leserschaft der ZMNU ausgelöst. Von der Heyden allerdings relativierte seine bisherige Einschätzung der Rechenstäbe aus deutscher Produktion keineswegs, etwa im Hinblick auf die inzwischen aufgenommene Rechenstab-Herstellung der Marken Dennert & Pape, Albert Nestler und A.W. Faber. Dieser zweite Appell hatte im Wesentlichen den gleichen geringen Effekt wie der erste von 1872. Die Resonanz in der ZMNU beschränkte sich auf eine kurze Bemerkung in einem Aufsatz des Frankfurter Oberlehrers Dr. Carl Heinrich Müller »In Sachen des Rechenstabes«.⁶⁴ Müller berichtet über mehrjährige Erfahrungen aus dem eigenen Unterricht, wobei er den Rechenstab von A. W. Faber zum Preis von elf Mark und die zugehörige Bedienungsanleitung positiv bewertet. Seine Schüler ließ er allerdings – vermutlich aus finanziellen Gründen – nur mit Pappstreifen arbeiten, auf denen die einfache logarithmische Skala aufgedruckt war.

Wesentlich mehr schreibt Müller dann in seiner Programmabhandlung von 1899 *Der logarithmische Rechenstab*,⁶⁵ die nicht nur eine ausführliche Betriebsanleitung des Rechenstabes für Lehrer an höheren Schulen enthält, sondern sich auch mit den Argumenten für und gegen praktisches Zahlenrechnen auseinandersetzt. Er nimmt dabei Bezug auf die Publikationen von Bernhard Esmarch und Ernst Hammer⁶⁶ und lobt die Herstelleranleitungen zu den Stäben von Dennert & Pape, Nestler und A.W. Faber. Müller zufolge müsse jeder Schüler seinen eigenen Rechenstab besitzen, zum Kauf schlägt er die (billigen, aus Pappe gefertigten) Rechenstäbe der Gebr. Wichmann vor. In einer weiteren Programmschrift von Hermann Fürle⁶⁷ wird der spezielle Einsatz des Rechenstabes in der Algebra bei der Auflösung von Gleichungen erörtert.

Billige Rechenschieber aus Karton ohne oder mit Nasenläufer bot die Firma Wichmann ab ca. 1899 zum Preis zwischen 1 und 2 Mark an.⁶⁸ Müller äußerte sich dann erneut 1907 in der ZMNU, indem er unter Bezugnahme auf den Nachdruck des Heydenschen Aufsatzes auf eine inzwischen positive Stimmung für den Gebrauch des Rechenstabes in

62 Hauck, *Das graphische Rechnen*, 1881.

63 Ebd., S. 345.

64 Müller, *In Sachen des Rechenstabes*, 1897, S. 180.

65 Müller, *Der logarithmische Rechenstab*, 1899.

66 Esmarch, *Die Kunst*, 1896; Hammer, *Der logarithmische Rechenschieber*, 1898.

67 Fürle, *Theorie*, 1899.

68 Müller, *Der logarithmische Rechenstab*, 1899, S. 6. Junge, *Ein billiger Rechenstab*, 1908, bzw. Müller, *Der logarithmische Rechenstab*, 1909, weisen ca. 10 Jahre später erneut darauf hin.

Gymnasien und in diesem Zusammenhang auch auf seine eigenen Publikationen verweist.⁶⁹ Dennoch: Gerechnet wurde in den höheren Schulen weiterhin fast ausschließlich mit Logarithmentafeln (meist fünfstelligen, zunehmend aber auch vierstelligen).⁷⁰

Neben den schon genannten Programmschriften erschien 1898 das vermutlich erste Schulbuch, das den Rechenstab kurz (auf einer Seite) darstellt, der *Mathematische Leitfaden für Realschulen* von H. Bork, P. Crantz und E. Haentschel.⁷¹ In einer engagierten Stellungnahme zur Einführung der vierstelligen Logarithmentafel in den Unterricht der höheren Schule schlägt C. Rohrbach vor, logarithmische Skalen durch Schüler auf Kartonstreifen auftragen zu lassen, schließlich ermögliche der damit erzeugte Rechenschieber »eine Vertiefung des Verständnisses« des logarithmischen Rechnens.⁷²

Die schon erwähnte IMUK-Untersuchung zum Mathematikunterricht in Deutschland⁷³ widmete die Bände 1 bis 3 dem Mathematikunterricht an den höheren Schulen und den Band 5 dem mathematischen Elementarunterricht und der Mathematik an den Lehrerbildungsanstalten für Volks- und Mittelschullehrer. Neben der historischen Darstellung der Lehrplanentwicklung in den Ländern Deutschlands wird hier auch die aktuelle Situation des Mathematikunterrichts beleuchtet. Die wesentlichen Diskussionspunkte des allgemeinbildenden Schulwesens in jener Zeit betraf die Behandlung des Funktionsbegriffs als Leitlinie im Mathematikunterricht, die Gestaltung des Geometrieunterrichts, die Einführung des graphischen Rechnens, die Ausgestaltung der angewandten Mathematik und die Einführung der Analysis an den höheren Schulen. Beim logarithmischen Rechnen war der Trend zur vierstelligen Tafel weit verbreitet, hingegen finden sich Äußerungen zum Einsatz des Rechenstabes in dem gewaltigen Berichtswerk nur extrem selten. Bei den Berichten über das gewerblich-technische Schulwesen (Band 4, s.o.) spielte der Bezug der Inhalte zur späteren Berufspraxis eine erhebliche Rolle.

Im Zusammenhang mit dieser Analyse des Mathematikunterrichts in Deutschland sind auch die *Meraner Reformvorschläge für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht an höheren Schulen von 1905* zu sehen.⁷⁴ Mit diesen gelang es, bei den Lehrern und Bildungsplanern Aufmerksamkeit für die Forderung nach einer Entwicklung des Mathematikunterrichts zu erzeugen und die Bereitschaft zu Lehrplanänderungen zu fördern. Der Meraner Lehrplanentwurf enthielt zum ersten Mal in Deutschland im Rahmen der Arithmetik der Obersekunda (11. Klasse) explizit den Begriff »Rechenstab«.⁷⁵ In Folge dieser Klassenzuordnung wurde im Entwurf für einen Lehrplan der sechsklassigen Realschule (*Stuttgarter Entwurf von 1906*) der Rechenstab nicht erwähnt, obwohl das praktische Rechnen in der Ausbildung der Realschüler einen hohen Stellenwert einnahm.⁷⁶

69 Müller, *Der logarithmische Rechenstab und die Schule*, 1907, S. 526–527.

70 Siehe die Diskussion in der ZMNU u.a. Schülke, *Logarithmenrechnen*, 1899, und später Toeplitz, *Praxis der Logarithmentafel*, 1927.

71 Bork/Crantz/Haentschel, *Mathematischer Leitfaden*, 1898.

72 Rohrbach, *Logarithmentafeln*, 1896, S. 24.

73 Klein, *Abhandlungen*, 1909–1916.

74 Gutzmer, *Bericht betreffend den Unterricht*, 1905.

75 Gutzmer, *Tätigkeit*, 1908, S. 110, bzw. MU 1980, S. 59.

76 Stuttgarter Entwurf 1906 in: Gutzmer, *Tätigkeit*, 1908, S. 186–188.

Schnelle Auswirkungen hatten die Meraner Vorschläge z. B. auf die bayerischen Lehrpläne für die 1907 neu gegründeten Oberrealschulen in Bayern. Im Rahmen der Algebra für die 10. Klasse (in Bayern: VI. Klasse) gehörte die »Erklärung« und der »Gebrauch des Rechenschiebers« zum festen Bestandteil des Lehrplans.⁷⁷ Zugleich ersetzten diese neuen Lehrpläne der ersten sechs Klassen der bayerischen Oberrealschule die Lehrpläne der sechsklassigen Realschulen von 1894, die damit ebenso verpflichtet waren, den Rechenstab einzuführen. In seiner Schrift *Der Rechenstab im Unterricht* von 1934 verweist der Nürnberger Studienassessor W. Dillmann mehr als 25 Jahre nach der Lehrpläneinführung allerdings nur auf einen Teilerfolg in Bayern, da in den Realschulen der Rechenstab nur halb, in den Gymnasien überhaupt nicht in Gebrauch sei.⁷⁸

Die bis 1912 gültigen Lehrpläne von Württemberg und Baden enthielten keine Aussagen zum Einsatz des Rechenstabes.⁷⁹ Im Jahre 1912 wurden in beiden Ländern neue Lehrpläne erlassen, die stark von den Meraner Vorschlägen beeinflusst waren. Der Lehrplanerlass von Württemberg enthält auch Aussagen zu den Lehrverfahren und damit auch zur Verwendung des Rechenschiebers.⁸⁰ Bedeutungsvoller jedoch war die Zulassung des Rechenschiebers als Hilfsmittel bei den Reifeprüfungen.⁸¹ Die badischen Lehrpläne für Realgymnasium und Oberrealschule nehmen den Begriff »Rechenschieber« im Zusammenhang mit der Einführung der Logarithmen in der Obersekunda auf.⁸² Damit sind die süddeutschen Länder Bayern, Baden und Württemberg die Vorreiter in Deutschland bei der Einführung des Rechenstabes im mathematischen Unterricht der höheren Schulen.

Die Lehrpläne in Sachsen (1883 bis 1904) erwähnen den Rechenstab nicht.⁸³ Im Bericht über die IMUK-Umfrage an den sächsischen Schulen wird lediglich von einer Zuschrift berichtet, die eine obligatorische Behandlung des Rechenstabes im Mathematikunterricht fordert.⁸⁴

In den IMUK-Abhandlungen zum Gymnasium erscheint der Rechenstab nur ganz am Rande der Darlegungen, die sich u.a. mit dem Funktionsbegriff und der Einführung der Differential- und Integralrechnung befassen. So erwähnt der Mathematikdidaktiker Walter Lietzmann unter Bezugnahme auf von der Heyden und C.H. Müller, dass man dreistel- lige Logarithmen in der handlichen Form des Rechenschiebers verwende und dass es für die Schulen und die Schüler geeignete Modelle gebe.⁸⁵ Einen möglichen Einsatz sieht er zunächst bei Berechnungen in den physikalischen Übungen⁸⁶ und gegebenenfalls bei den Hausaufgaben.⁸⁷ Albrecht Thaer (1855–1921), Direktor der Oberrealschule Lübeck und

77 Klein, *Abhandlungen*, Bd. II, H. 1, S. 42.

78 Dillmann, *Der Rechenstab im Unterricht*, 1934, S. 5.

79 Klein, *Abhandlungen*, Bd. II, H. 3 und H. 4.

80 Klein, *Abhandlungen*, Bd. II, H. 8, S. 24.

81 Ebd., S. 38.

82 Ebd., S. 43–44.

83 Klein, *Abhandlungen*, Bd. II, H. 2, S. 14 f.

84 Ebd., S. 65.

85 Klein, *Abhandlungen*, Bd. I, H. 1, S. 70; Bd. I, H. 2, S. 38.

86 Klein, *Abhandlungen*, Bd. I, H. 1, S. 70.

87 Klein, *Abhandlungen*, Bd. I, H. 2, S. 76.

Herausgeber der Zeitschrift *Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften* (ab 1895), machte bei seinen Schulbesuchen die Erfahrung, dass einzelne Anstalten Rechenstäbe der drei deutschen Hersteller Dennert & Pape, Faber und Nestler in ihren Lehrmittelsammlungen aufbewahrten und auch im Unterricht benutzten,⁸⁸ z.B. beim Üben im Feldmessen.⁸⁹ Für den Physik- und Chemieunterricht sei es nur von Vorteil, wenn die Schüler mit dem logarithmischen Rechenschieber vertraut seien.⁹⁰ Und auch auf universitärer Ebene, im Zusammenhang mit der Ausbildung von Mathematiklehrern, erwartete Wilhelm Lorey (1873–1955), Direktor der Handelslehranstalt Leipzig, später Professor an der Universität Frankfurt, dass kein Mathematiker die Universität verlassen dürfe, »ohne den Rechenschieber und eine Rechenmaschine kennen gelernt zu haben, wie dies heute leider vielfach noch der Fall ist.«⁹¹ Ohnehin sollte die Ausbildung von Mathematiklehrern in Angewandter Mathematik verstärkt werden. Diese Forderung erfuhr eine Unterstützung durch die von Felix Klein betriebene Einrichtung eines Lehrstuhls für Angewandte Mathematik an der Universität Göttingen und dessen Besetzung durch Carl Runge (1856–1927) im Jahre 1904.⁹² In dieser Zeit wurden die ersten Hochschul-Lehrbücher über Wissenschaftliches Rechnen, Numerische Mathematik und Praktische Analysis publiziert. Diese enthalten – zum ersten Mal – neben den Algorithmen auch Kapitel über die Rechenhilfsmittel wie Rechenstab und Rechenmaschine.⁹³ Einzelne Ausbildungsseminare für Volksschullehrer behandelten auch das Rechnen mit dem Rechenschieber.⁹⁴

Auf dem V. Internationalen Mathematikerkongress in Cambridge 1912 berichtete Carl Runge über die mathematische Ausbildung der Physiker an Universitäten. Zur Frage (u.a.), ob der Gebrauch mathematischer Apparate, des Rechenschiebers, der Rechenmaschine und des Planimeters gelehrt werde, führte Runge aus:

Der Gebrauch des Rechenschiebers wird gewöhnlich nur gelegentlich im Physikalischen Praktikum oder bei technischen Kursen gelehrt, ebenso der Gebrauch von Rechenmaschine und Planimeter, während ihre Behandlung in mathematischen Vorlesungen eine günstige Rückwirkung auf die Ausbildung sowohl des Physikers wie auch des reinen Mathematikers ausüben würde.⁹⁵

Auf diesem Kongress gab der amerikanische Didaktiker und Mathematikhistoriker David Eugen Smith (1860–1944) einen Bericht über »Anschauung und Experiment im mathematischen Unterricht der höheren Schule«, der zugleich einen Ausblick auf die Verwendung des Rechenstabes in internationaler Perspektive darstellte. In Österreich hätte der

88 Klein, *Abhandlungen*, Bd. I, H. 4, S. 19, 24.

89 Ebd., S. 28.

90 Ebd., S. 43.

91 Klein, *Abhandlungen*, Bd. III, H. 9, S. 254.

92 Ein Foto von Carl Runge mit Rechenstab publizierten Hentschel/Tobies, *Brieftagebuch*, 1999, Tafel III.

93 Runge, *Praxis*, 1900; Perry, *Praktische Mathematik*, 1903; Bruns, *Grundlinien*, 1903; von Sanden, *Praktische Analysis*, 1914; Runge/König, *Numerisches Rechnen*, 1924.

94 Klein, *Abhandlungen*, Bd. V, H. 4, S. 91, 98; Klein, *Abhandlungen*, Bd. V, H. 6, S. 102; Klein, *Abhandlungen*, Bd. V, H. 7, S. 58.

95 Lietzmann, *Berichte und Mitteilungen*, 1917, S. 160.

Rechenschieber an den höheren Schulen noch keine allgemeine Anerkennung gefunden. Der Grund dafür scheine in den Kosten zu liegen; billigere Rechenschieber arbeiteten nicht genau genug, jedoch spiele auch die Frage eine Rolle, »woher die Zeit für die erforderliche Übung zu nehmen sei.« In England, so Smith, fand der Rechenschieber zur gleichen Zeit in 30 % der public schools und 66 % der anderen höheren Schulen keine Verwendung, hingegen benützten diejenigen Schüler das Gerät, die sich auf besondere Prüfungen vorbereiteten. Der Grund für den geringen Gebrauch des Rechenschiebers in England sei die allgemeine Einführung von vierstelligen Logarithmentafeln. Wenig verbreitet sei der Rechenstab auch in Frankreich: Außer in den Vorbereitungsklassen für die technischen Schulen würde er so gut wie gar nicht eingesetzt. In den Lehrplänen der Schweizer Schulen seien die Rechenschieber in sechs der 25 Realschulen und in zwei Gymnasien erwähnt. In den USA würde der Rechenschieber vor allem in den technischen high schools sowie in allen technischen Übungen der colleges benützt. Zudem komme er in »besseren allgemeinen high schools« gelegentlich bei den trigonometrischen Aufgaben zum Einsatz.⁹⁶

In Deutschland erkämpfte sich der Rechenschieber langsam seinen Weg:

Der logarithmische Rechenstab war in Deutschland bis vor kurzem noch wenig verbreitet. Schuld daran war erst der hohe Preis. Noch vor zehn Jahren kostete ein guter Stab 12 1/2 M. Dann kamen billige und minderwertige Fabrikate, die erst recht den Rechenstab diskreditierten. Seit der Preis für gute Stäbe mit trigonometrischer Einrichtung auf 5 M herabgegangen ist, nimmt ihr Gebrauch außerordentlich zu. In Bayern ist er durch Herrn v. Dyck für alle Realanstalten obligatorisch gemacht. In einzelnen Schulen hat er aus den Oberklassen alle logarithmischen, trigonometrischen, Quadrat- und sonstige Tafeln verdrängt. Für physikalische und Versicherungsaufgaben sind allerdings noch Tafeln nötig. Eine große Rolle spielt der Rechenstab auch gerade bei der graphischen Lösung numerischer Gleichungen, algebraischer sowohl wie transzendenter.⁹⁷

Nach dem Ersten Weltkrieg erfuhren die Lehrpläne in Deutschland eine Umgestaltung. Die revidierten Meraner Lehrplanvorschläge wurden 1922 veröffentlicht (neu bearbeitet vom Deutschen Ausschuss für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht, DAMNU) und fanden in den folgenden Jahren Eingang in die staatlichen Lehrpläne der Länder: So war in der Obersekunda der Gymnasien bzw. in der Untersekunda von Realgymnasium und Oberrealschule die Benützung von »Logarithmentafel und Rechenschieber« vorgesehen.⁹⁸

96 Ebd., S. 178 f.

97 So Albrecht Thaer in der Diskussion des Berichts, ebd., S. 184.

98 Siemon, *Quellentexte*, 1980, S. 67, 69, 71. So heißt es in den Richtlinien für die Lehrpläne der höheren Schulen Preußens, herausgegeben von Ministerialrat Hans Richert (1869–1940), Berlin 1925, im Stoffplan Gymnasium Untersekunda: »Erklärung des Rechenschiebers«; im Stoffplan Oberrealschule, Realgymnasium Untersekunda: »Vierstellige Logarithmentafel und Rechenschieber«, ebd., S. 87, 90, 92, und entsprechend im Lehrplan des Oberlyzeums in Preußen für die Obersekunda: »Vierstellige Logarithmentafel und Rechenschieber, logarithmisches Rechnen«, s. Willers, *Die neuen mathematischen Lehrpläne*, 1926, S. 53.

Albert Rohrberg, Oberstudiendirektor in Berlin, war in den 1920er Jahren der produktivste und entschiedene Verfechter des Einsatzes des Rechenstabes im Mathematikunterricht des Gymnasiums. Sowohl die kleine Schrift *Theorie und Praxis des logarithmischen Rechenstabes*⁹⁹ wie auch die methodische Anleitung *Der Rechenstab im Unterricht aller Schularten*¹⁰⁰ fanden große Beachtung in der Lehrerschaft. Die Besprechungen des erstgenannten Schrift machen allerdings deutlich, dass zu dieser Zeit noch »erschreckend viele Mathematiklehrer« nicht mit »diesem ausgezeichneten Hilfsmittel für die Schule« umzugehen wussten, es daher bisher nicht die verdiente Beachtung gefunden habe.¹⁰¹ Rohrberg selbst fragte sich, woher es komme, dass der Rechenstab im kaufmännischen Beruf so unbekannt sei und sieht den Hauptgrund darin, dass im mathematischen Unterricht an höheren Schulen der logarithmische Rechenstab so gut wie gar nicht behandelt und noch weniger als Hilfsmittel wirklich benutzt wurde.¹⁰² An anderer Stelle fordert der Kieler Mathematiklehrer R. Neuendorff, den Gebrauch des Rechenschiebers im Anschluss an die Besprechung der Logarithmen zu erklären und zu üben. Dazu sei es durchaus nicht erforderlich, vorher das Rechnen mit der Logarithmentafel zu behandeln.¹⁰³

Nach dem Zweiten Weltkrieg verlagerte man die Einführung des Rechenstabes an höheren Schulen in jüngere Altersstufen, d.h. vor die Behandlung des Logarithmus. Dazu waren die Erfahrungen aus den Mittelschulen ausschlaggebend. An den Mittelschulen/Realschulen in Deutschland wurde die Behandlung des Rechenstabes um 1935, unabhängig von der Theorie des Logarithmus, verbindlich gemacht. In die Lehrpläne der Volksschulen gelangte er je nach Bundesland erst zwischen 1960 und 1970, nachdem die didaktischen Begründungen in entsprechenden Aufsätzen bekannt gemacht waren.¹⁰⁴

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass man im technischen Bildungswesen – den IMUK-Berichten zufolge – davon ausgehen kann, dass bis ca. 1900 der Rechenstab eher selten, dann zwischen 1900 und 1914 zunehmend in den meisten technischen Bildungsgängen eingesetzt wurde, auch wenn die geltenden Lehrpläne dies nicht vorgeschrieben hatten. Im allgemeinbildenden Schulwesen begann der kontinuierliche Einsatz des Rechenstabs im Unterricht mit dem Meraner Lehrplanentwurf von 1905, der sich aber erst in den 1920er Jahren in den gymnasialen Lehrplänen auswirkte. Bis zur breiten Anwendung im Unterricht dürften weitere Jahre vergangen sein. In den Realschulen wurde er ab den 1930er Jahren, in den Volksschulen ab ca. 1960 eingeführt. Es sieht ganz danach aus, dass der Rechenstab – erfunden im 17. Jh. – erst im 20. Jh. im deutschen Bildungssystem angekommen ist.

99 Rohrberg, *Theorie und Praxis*, 1916.

100 Rohrberg, *Der Rechenstab im Unterricht*, 1929.

101 Rezension von H. Keller in: *Unterrichtsblätter* 24 (1918), S. 20.

102 Rohrberg, *Der Rechenstab im Unterricht*, 1929, S. 7.

103 Neuendorff, *Verwendung*, 1920, S. 12 f.

104 Drenckhahn, *Vom Rechenstab*, 1956; Winter, *Rechenstab in der Volksschule*, 1964; Kürbis, *Stabrechnen*, 1970.

Zum Vergleich: Der elektronische Taschenrechner brauchte vom ersten kommerziellen Modell (Sanyo ICC 82D, 1968) weniger als zehn Jahre bis zur allgemeinen Verwendung.

Danke

an Herrn Prof. Dr. Joachim Fischer (München), Herrn Dr. Hartmut Petzold (München), Herrn Dr. Ulf Hashagen (München), Herrn Dieter von Jezierski (Stein) und besonders Frau Dr. Andrea Lucas (München) für konstruktive Beiträge und für wertvolle Literaturhinweise.

Literatur

- Abhandlungen und Berichte über technisches Schulwesen. Bd. I bis VI, Leipzig 1910 bis 1919, insbes. Bd. I (1910), S. 58 f.; Bd. II (1911), S. 131; Bd. IV (1912), S. 30.
- Berg, Christa (Hg.): Handbuch der deutschen Bildungsgeschichte. Bd. 4: 1870–1918: Von der Reichsgründung bis zum Ende des Ersten Weltkriegs. München 1991.
- Biler, Johann Matthäus: Neu erfundenes Instrumentum mathematicum universale: vermittelst dessen alle proportionen in der Mathesi ohne Circul, Lineal und ohne Rechnung, bloß mit einen Seidenen schwarzen Faden oder Haar ... können gesucht und gefunden werden. Jena 1696.
- Bork, H./Crantz, P./Haentschel, E.: Mathematischer Leitfaden für Realschulen. Leipzig 1898. Besprechung in: ZMNU 29 (1898), S. 119–123.
- Bruns, Heinrich: Apparate zum Studium der Arithmetik. In: Hofmann, A.W. (Hg.): Bericht über die wissenschaftlichen Apparate auf der Londoner internationalen Ausstellung 1876. Braunschweig 1881, S. 121–131.
- Bruns, Heinrich: Grundlinien des wissenschaftlichen Rechnens. Leipzig 1903.
- Bürgi, Jost: Arithmetische und geometrische Progreß-Tabulen. Prag 1620.
- Burg, Adam: Über die Einrichtung und Anwendung des bei den englischen Mechanikern und Maschinenarbeitern gebräuchlichen Schieberlineals (Sliding rule), mit welchem sie sämtliche, auf ihre Arbeiten Bezug habenden Rechnungen sehr leicht und schnell ausführen. In: Jahrbücher des kaiserlichen königlichen polytechnischen Institutes in Wien 16 (1830), S. 101–170, Fig. 3–6, Tafel I.
- Burg, Robert: Das Stabrechnen. Anleitung für die Rechenstäbe und Rechenstab-Uhren der Firma Dennert & Pape. Altona 1904.
- Cajori, Florian: A History of the Logarithmic Slide Rule and Allied Instruments. Chelsea/New York 1910; Reprint Mendham 1994.
- Cox, William: Engineer's Slide-Rule. US-Patent 460930 (1891).
- Craenen, Guus: Albert Nestler – Innovation und Qualität. Soest/NL, Bd. 1: 2001, Bd. 2: 2004.
- Culmann, Karl: Die Graphische Statik. 1. Aufl. Zürich 1866, 2. Aufl. 1875.
- Culmann, Karl: Der Rechenschieber. In: Der Cultur-Ingenieur 1 (1868), S. 337–355, S. 369–389.
- Dieck, W.: Entstehung und Zweck des logarithmischen Rechenschiebers. In: Mathematisches Lesebuch, Bd. 1. Sterkrade 1920, S. 32–45.
- Dillmann, W.: Der Rechenstab im Unterricht des Gymnasiums und der sechsklassigen Realschule. Stein [ca. 1934].
- Drenckhahn, Friedrich: Vom Rechenstab in der Volksschule. In: Pädagogische Blätter 7 (1956), S. 13–25.
- Esmarch, Bernhard: Die Kunst des Stabrechnens. Leipzig 1896. Besprechung in: ZMNU 27 (1896), S. 594–596.

- Fürle, Hermann: Zur Theorie der Rechenschieber. Wiss. Beilage zum Jahresbericht der Neunten Realschule zu Berlin. Berlin 1899. Besprechung in: ZMNU 31 (1900), S. 308–309.
- Girndt, Martin: Die deutschen bautechnischen Fachschulen und der mathematische Unterricht. In: Klein, Felix (Hg.): Abhandlungen über den mathematischen Unterricht in Deutschland, Bd. IV, H. 3. Leipzig 1916.
- Göring, A.: Der Rechenstab aus dem mechanisch-mathematischen Institut von Dennert und Pape. Altona 1873.
- Göring, A.: Der Rechenstab – Beschreibung und Gebrauch desselben. Altona 1883.
- Grüner, Gustav: Fachschulen. In: Berg, Christa (Hg.): Handbuch der deutschen Bildungsgeschichte. Bd. 4: 1870–1918: Von der Reichsgründung bis zum Ende des Ersten Weltkriegs. München 1991, S. 389–398.
- Gutzmer, August: Bericht betreffend den Unterricht in der Mathematik an den neunklassigen höheren Lehranstalten – Reformvorschläge von Meran 1905. In: Ders.: Die Tätigkeit der Unterrichtskommission der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. Gesamtbericht. Leipzig 1908, S. 104–114. Wieder abgedruckt in: Der Mathematikunterricht 26 (1980), H. 6, S. 53–62.
- Gutzmer, August (Hg.): Die Tätigkeit der Unterrichtskommission der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. Gesamtbericht. Leipzig 1908.
- Hammer, Ernst: Der logarithmische Rechenschieber und sein Gebrauch. Eine elementare Anleitung zur Verwendung des Instruments für Studierende und für Praktiker. Stuttgart 1898, 5. Aufl. 1918.
- Harkort, Eduard: Plani-stereometrisches Schiebelineal, 1824. Besprechung in: Rudowski, Werner: Das Plani-stereometrische Schiebelineal. In: www.rechenschieber.org (Zugriff v. 3.12.2009).
- Hauck, Guido: Das graphische Rechnen, seine Entwicklung seit Culmann und sein Verhältniss zur Schule. In: ZMNU 12 (1881), S. 333–355.
- Hentschel, Klaus/Tobies, Renate: Briefftagebuch zwischen Max Planck, Carl Runge, Bernhard Karsten und Adolf Leopold. Berlin 1999.
- Herrmann, Gustav: Das graphische Einmaleins oder die Rechentafel, ein Ersatz für den Rechenschieber. Braunschweig 1875. 22 S.
- Heusinger von Waldegg, Edmund u.a. (Hg.): Handbuch der Ingenieurwissenschaften in vier Bänden. Leipzig: Engelmann, 1880. Bd. I: Vorarbeiten, Erd-, Strassen-, Grund- und Tunnelbau, mit Atlas.
- Heyden, von der: Das Rechenlineal, ein an höheren Lehranstalten einzuführendes Unterrichtsmittel. In: ZMNU 3 (1872), S. 336–346; zweiter Abdruck in: ZMNU 27 (1896), S. 568–576.
- Hoffmann, C.: Anleitung zum Gebrauch des Rechenschiebers. 1. Aufl. Berlin 1847; 2. Aufl. Berlin 1854.
- Hopp, Peter M.: Slide Rules – Their History, Models, and Makers. Mendham 1999.

- Hopp, Peter M.: Joint Slide Rules – Sectors, 2-foot 2-fold and similar slide rules. Huddersfield 2009.
- Hütte – Des Ingenieurs Taschenbuch, 1. Aufl. Berlin 1857; 2. Aufl. 1858; 3. Aufl. 1860; 7. Aufl. 1867; 8. Aufl. 1870, 11. Aufl. 1877, 13. Aufl. 1887, 14. Aufl. 1889, 15. Aufl. 1892, 16. Aufl. 1896, 17. Aufl. 1899.
- Jäger, Rolf: Die Einführung in das Stabrechnen im Verlauf der Geschichte des Rechenstabes. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1969, Teil 2, S. 145–153.
- Jerrmann, Ludwig: Die Gunterscale, Hamburg 1888.
- Jeziarski, Dieter von: Rechenschieber – eine Dokumentation. Stein 1997.
- Jomard, Edme-Francois: Description d'une règle à calculer, employée en Angleterre et appelée sliding rule; precede de quelques reflexions sur l'état de l'industrie anglaise en avril 1815. In: Bulletins de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, Bd. XIV, Nr. 134 (1815), S. 179–190. Englische Übersetzung: The Slide Rule in France – 1815. In: Journal of the Oughtred Society 8 (1999), Nr. 2, S. 11–16.
- Junge, G.: Ein billiger Rechenstab ohne Schieber. In: Unterrichtsblätter 14 (1908), S. 132–133.
- Klein, Felix (Hg.): Abhandlungen über den mathematischen Unterricht in Deutschland. Bd. I – V, in Heften publiziert von 1909 bis 1916. Leipzig.
- Kleine, Karl: Die Lambert-Branderschen Rechenstäbe. In: Schmidt, Werner H./Girbardt, Werner (Hg.): Zwölftes Internationales Treffen der Rechenschiebersammler und Drittes Symposium zur Entwicklung der Rechentechnik, Universität Greifswald. Greifswald 2006, S. 13–22.
- Klügel, Georg-Simon: Mathematisches Wörterbuch. Dritter Theil von K bis P. Leipzig 1808.
- Kühn, Klaus/Kleine, Karl: Dennert & Pape ARISTO 1872–1978. München 2004.
- Kürbis, Brigitte: Stabrechnen in den Richtlinien verschiedener Bundesländer. In: Aristo. Mitteilungen für die Hauptschule 12 (1970), S. 3–4.
- Lalanne, L: Anleitung für den Rechenschieber (dt. Übersetzung). Paris 1851.
- Lambert, Johann Heinrich: Beschreibung und Gebrauch der logarithmischen Rechenstäbe. 1. Aufl. Augsburg 1761, 2. Aufl. 1772.
- Langewiesche, Dieter/Tenorth, Heinz-Elmar (Hg.): Handbuch der deutschen Bildungsgeschichte. Bd. 5: 1918–1945: Die Weimarer Republik und die nationalsozialistische Diktatur. München 1989.
- Leupold, Jacob: Theatrum arithmetico-geometricum. Leipzig 1727 (Reprint Hannover 1982).
- Lietzmann, Walter (Hg.): Berichte und Mitteilungen, veranlasst durch die Internationale Mathematische Unterrichtskommission. Leipzig 1917.
- Lietzmann, Walter: Methodik des mathematischen Unterrichts, 1. Teil. Leipzig 1919.
- Luedecke: Die Rechenapparate von Julius Billeter in Zürich. In: Zeitschrift für Vermessungswesen 20 (1891), S. 346–350.

- Mattheis, Martin (Hg.): Felix Klein und die Berliner Schulkonferenz des Jahres 1900. In: *Der Mathematikunterricht* 46 (2000), H. 3, 80 S.
- Maurer, Bertram: Karl Culmann und die graphische Statik. Diepholz 1998 (Diss. Univ. Stuttgart 1997).
- Mehmke, Rudolf: Der Rechenschieber in Deutschland. In: *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 47 (1902), S. 489–491.
- Mehmke, Rudolf: Logarithmischer Rechenschieber. In: *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, Bd. 1.2. Leipzig 1902, S. 1053–1065.
- Mehmke, Rudolf: Soho-Rules. In: *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 48 (1903), S. 317–318.
- Müller, Carl Heinrich: In Sachen des Rechenstabes. In: *ZMNU* 28 (1897), S. 180.
- Müller, Carl Heinrich: Der logarithmische Rechenstab. Stab-Rechnen für die Oberklassen höherer Schulen. Programm Nr. 411. In: *Jahresbericht des Königlichen Kaiser-Friedrichs-Gymnasiums zu Frankfurt a. M.* Frankfurt 1899, S. 3–52, Taf. I bis V.
- Müller, Carl Heinrich: Der logarithmische Rechenstab und die Schule. In: *ZMNU* 38 (1907), S. 526–534.
- Müller, Carl Heinrich: Der logarithmische Rechenstab. In: *Unterrichtsblätter* 15 (1909), S. 18.
- Napier, John: *Mirifici logarithmorum canonis descriptio*. Edinburgh 1614.
- Neuendorff, R.: Ueber die Verwendung der Logarithmentafel im Schulunterricht. In: *Unterrichtsblätter* 26 (1920), S. 12–13.
- Oldenburger, G.: Einige einfache mechanische Rechenapparate. In: *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 5 (1885), S. 163–165.
- Otnes, Robert: K&E Instruction Manuals. In: *Journal of the Oughtred Society* 6 (1997), Nr. 1, S. 18–19.
- Otnes, Robert: Robertson's Slide Rule with Runner – 1788. In: *Journal of the Oughtred Society* 8 (1999), Nr. 2, S. 7–10.
- Ott, Karl von: *Der logarithmische Rechenschieber. Theorie und Gebrauch desselben*. Prag 1874, 2. Aufl. 1891.
- Ott, Karl von: *Das Graphische Rechnen und die Graphische Statik. 1. Theil: Das Graphische Rechnen*. 4. Aufl. Prag 1879.
- Perry, John: *Praktische Mathematik*. Wien 1903.
- Redlich: Ueber Anwendbarkeit des sogenannten Rechenschiebers. In: *Zeitschrift für Bauwesen* IX (1859), Sp. 593–600.
- Roget, Peter M.: Description of a New Instrument for Performing Mechanically the Involution and Evolution of Numbers. In: *Philosophical Transactions* (1815), Teil I, S. 9–29; wieder abgedruckt in: *Journal of the Oughtred Society* 17 (2008), Nr. 1, S. 15–21.
- Rohrbach, C.: Ueber vierstellige Logarithmentafeln für die Schule. In: *Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften* 2 (1896), S. 20–24.
- Rohrberg, Albert: *Theorie und Praxis des Rechenschiebers*. Leipzig 1916. Besprechung in: *ZMNU* 48 (1917), S. 132–133, und in: *Unterrichtsblätter* 24 (1918), S. 20.

- Rohrberg, Albert: Die Geschichte des Rechenschiebers. In: ZMNU 47 (1916), S. 338–344.
- Rohrberg, Albert: Der Rechenstab im Unterricht aller Schularten. Berlin/München 1929.
- Rohrberg, Albert: Das Rechnen im wirtschaftlichen Leben. Für die Klassen U III bis U II der Knaben- und Mädchenschulen sowie für Frauenschulen. Dresden 1932.
- Rudowski, Werner: The Oldest German Slide Rule. In: Journal of the Oughtred Society 15 (2006), Nr. 2, S. 30–34.
- Rudowski, Werner: How Well Known Were Slide Rules in Germany, Austria and Switzerland Before the Second Half of the 19th Century ? In: Journal of the Oughtred Society 15 (2006), Nr. 2, S. 42–49.
- Rudowski, Werner: The Bissaker Slide Rule in the Science Museum London. In: Bulletin of the Scientific Instrument Society (2008), Nr. 97, S. 34–40.
- Rudowski, Werner: Polymeter – ein deutsches Rechengerät. In: Schmidt, Werner/ Girbardt, Werner: Fünfzehntes internationales Treffen der Rechenschiebersammler, Universität Greifswald. Greifswald 2009, S. 89–113.
- Rudowski, Werner: Eduard Harkorts plani-stereometrisches Schieblinial. In: www.rechenschieber.org/Harkort.pdf (Zugriff. v. 3.12.2009).
- Runge, Carl: Praxis der Gleichungen. Leipzig 1900.
- Runge, Carl/König, H.: Vorlesungen über Numerisches Rechnen. Berlin 1924.
- Russel, J. B.: Rooker: Four Generations of Scientific Instrument Makers Covering the Period 1780–1960. In: Bulletin of the Scientific Instrument Society (2009), Nr. 101, S. 20–27.
- Ruth, Franz: Theorie der logarithmischen Rechenschieber als Anleitung für die Benützung der fünf beigegebenen auf Carton lithografirten Massstäbe und zum Gebrauche für den Selbstunterricht. Mit fünf in den Text gedruckten Holzschnitten. Graz 1878.
- Sanden, Horst von: Praktische Analysis. Leipzig 1914.
- Scheffelt, Michael: Pes mechanicus artificialis oder Neu=erfundener Maß=Stab. Ulm-1699, 2. Aufl. 1718.
- Schneider, Fr. W.: Anweisung zum Gebrauch eines Rechenstabes für Forstleute, Techniker und junge Mathematiker, nach dem Schwedischen. Berlin 1825.
- Schilling, C./Meldau, H.: Der mathematische Unterricht an den deutschen Navigationsschulen. In: Klein, Felix (Hg.): Abhandlungen über den mathematischen Unterricht in Deutschland, Bd. IV, H. 4. Leipzig 1912.
- Schülke, Albert: Neuere Bestrebungen beim Logarithmenrechnen. In: ZMNU 30 (1899), S. 83–89.
- Schuitema, Ir. IJzebrand: The Slide Rule – Technical Cultural Heritage. Amsterdam 2004.
- Schulz von Straßnitzki, Karl Leopold: Anweisung zum Gebrauche des englischen Rechenschiebers. Wien 1843.
- Sedlaczek, Ernest: Anleitung zum Gebrauche einiger logarithmisch getheilte Rechen-schieber (sliding-rule, règle-à-calcul), solcher Instrumente, mittelst deren man alle mit Logarithmen lösbare Aufgaben schnell und sicher vollführen kann. Wien 1851, 2. Aufl. 1856.

- Sedlaczek, Ernest: Ueber Visir- und Recheninstrumente. Wien 1856.
- Siemon, Helmut (Hg.): Quellentexte zur Geschichte der Mathematikdidaktik II. In: Der Mathematikunterricht 26 (1980), H. 6.
- Smallenburg, Nico E.: De LOGA Calculators. Oosterhout 2004.
- Smith, H.J.S.: Arithmetische Instrumente. In: Biedermann, Rudolf (Hg.): Handbuch, enthaltend Aufsätze über die exacten Wissenschaften und ihre Anwendungen. London 1876, S. 25–37.
- Soper, Joseph L.: K&E (Keuffel & Esser) Salisbury Products Division Slide Rules. Pleasanton, Cal., 2007.
- Stanley, Philip: William Cox and the Sector. In: Journal of the Oughtred Society 6 (1997), Nr. 2, S. 13–18.
- Stender, Richard: Der Einzug des Rechenstabes in die Schulen. In: Aristo-Mitteilungen 9 (1959), S. 1–2.
- Stender, Richard: Der Rechenstab erobert sich die Mittelschule! In: Aristo-Mitteilungen 11 (1959), S. 10.
- Tetmajer, Ludwig: Theorie und Gebrauch des logarithmischen Rechenschiebers. Separatabdruck aus Culmann, Karl: Die Graphische Statik. Zürich 1875.
- Thomas, Marc: A Very Early Lenoir Slide Rule. In: Journal of the Oughtred Society 19 (2010), Nr. 1, S. 60–64.
- Toeplitz, Otto: Zur Theorie und Praxis der Logarithmentafel. In: ZMNU 58 (1927), S. 203–211.
- Treue, Wilhelm: Dingers Polytechnisches Journal – eine historische Zeitschrift. In: Technikgeschichte 37 (1970), S. 1–12.
- Tropfke, Johannes, Geschichte der Elementarmathematik, Bd. I. 4. Aufl. Berlin 1980.
- Unger, Friedrich: Gewerbliches Rechnen. In: ZMNU 37 (1906), S. 314–320, S. 402–407, S. 554–562; 38 (1907), S. 139–147, S. 234–241.
- Vollrath, Hans-Joachim: Über ein Paar von Rechenstäben aus dem Mathematischen Kabinett der Universität Würzburg. In: Mainfränkisches Jahrbuch für Geschichte und Kunst 58 (2006), S. 26–32.
- Weisner, J.: Der Rechenstab im Unterricht an Maschinenbauschulen. In: Technik und Schule 1 (1908), S. 111–115.
- Wells, Wells, Francis/Wyman, Tom: La Règle à calcul: Lenoir, Gravet-Lenoir, and Tavernier-Gravet Slide Rules. In: Journal of the Oughtred Society 11 (2002), Nr. 1, S. 23–27.
- Willers, H.: Die neuen mathematischen Lehrpläne für die höheren Mädchenschulen in Preußen. In: ZMNU 57 (1926), S. 49–55.
- Winter, Heinrich: Der Rechenstab in der Volksschule. In: Lehren und Lernen 1 (1964), S. 550–563.
- Wüst, Albert: Anleitung zum Gebrauch des Taschenrechenschiebers. Mit einem Rechenschieber (aus Pappe). Halle 1880.

- Wyman, Tom/Otnes, Bob: An Update on Log-log Slide Rules Before 1900. In: Journal of the Oughtred Society 17 (2008), Nr. 1, S. 11–21.
- Zoller, Paul: The Soho Slide Rule: Genesis and Archaeology. In: Bulletin of the Scientific Instrument Society 57 (1998), S. 5–13.
- Zymek, Bernd: Schulen. In: Langewiesche, Dieter/Tenorth, Heinz-Elmar (Hg.): Handbuch der deutschen Bildungsgeschichte. Bd. 5: 1918–1945: Die Weimarer Republik und die nationalsozialistische Diktatur. München 1989 S. 155–208.

Joachim Fischer¹

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

Hartmut Petzold zum 65. Geburtstag

0. Einleitung

Die Firma *A. Ott* und die Zusammenarbeit mit Alwin Walther. Die noch heute als *Ott Messtechnik* auf dem Gebiet der Hydrometrie tätige Firma *A. Ott* in Kempten stellte 117 Jahre, von ihrer Gründung im Jahr 1873 bis zur Auflösung ihrer Mathematischen Abteilung im Jahr 1990, unter anderem auch mathematische Instrumente her. Eine besondere Domäne waren dabei von Beginn an Instrumente zur Mechanischen Integration, anfangs noch ausschließlich Planimeter in unterschiedlichen Ausführungen (von Polarplanimetern nach Amslerscher Bauart bis hin zu Orthogonalplanimetern nach Wetli-Starke). In einschlägig interessierten Fachkreisen machte die Firma Ott sich erstmals einen größeren Namen, als es ihr gelang, in den Jahren 1906 bis 1916 durch einen Großauftrag des russischen Zarenreichs 5400 Kompensationspolarplanimeter nach Rußland zu liefern. Ab den 1930er Jahren avancierte die Firma zu weltweitem Ruf auch auf dem Gebiet der Mathematischen Instrumente (denn in der Hydrometrie hatte er schon seit längerer Zeit zuvor bestanden), und dies vor allem durch die Entwicklung und Herstellung von Integrierinstrumenten, die es bis dahin entweder noch gar nicht oder nicht in den von Ott dafür gefundenen neuen Formen bzw. Ausführungen gegeben hatte.

Ein wesentlicher, bislang jedoch nur erahnbar gewesener Keim dieser Entwicklung ist dabei die Beziehung zwischen Dr.-Ing. Ludwig Albert Ott (1883–1946) und Prof. Dr. rer. techn. Alwin Oswald Walther (1898–1967). Sie setzte im Jahr 1928 ein – dem Jahr, in dem Walther, von Göttingen kommend, in das Mathematische Institut der TH Darmstadt berufen wurde – und endete nach knapp 18 Jahren mit dem Tod des 15 Jahre älteren Ludwig Ott (er verstarb am 16. März 1946). Ludwig Ott war über die Jahre hinweg der »mathematische Kopf« der von dem früh verstorbenen Albert Ott (1847–1895) gegründeten Firma, während Ludwigs älterer Bruder Hermann Albert Ott (1881–1964) Konstruktion und Produktion der Instrumente verantwortete.²

Alwin Walther hatte durch sein Studium an der TH Dresden sicherlich schon eine gewisse Neigung zur Anwendungsbezogenheit auf den Weg bekommen; als er 1922 nach Göttingen wechselte, wurde er Assistent bei Courant, wo diese Ausrichtung ihn weiter prägte. Seine Berufung an die TH Darmstadt war da nur eine konsequente Folge, und zu den selbstgestellten und vom neuen Dienstherrn akzeptierten (und auch geförderten)

1 Mit Dank an Dr. Ulf Hashagen und Dr. Andrea Lucas für etliche redaktionelle Hinweise und Anregungen.

2 Die bislang umfangreichste Würdigung der Firma Ott findet sich in der Publikation Ott, *Reise*, 1998, die aus Anlaß des 125jährigen Firmenjubiläums herausgegeben wurde.

Aufgaben des Neuberufenen gehörte die Einrichtung eines »Mathematischen Laboratoriums«. Was Alwin Walther aus dieser Aufgabe machte, ließ ihn rasch zum Hauptvertreter einer instrumentell und maschinell unterstützten, stark anwendungsbezogenen Mathematik werden. So fällt in den Zeitraum der Korrespondenz mit Ott, 1928 bis 1945, zunächst die Verwandlung seines anfangs noch weitgehend »normalen« Darmstädter mathematischen Lehrstuhls in einen *Lehrstuhl für Praktische Mathematik* (diese Bezeichnung ist spätestens im Juli 1930 nachweisbar), dann dessen Ausbau zum legendären *Institut für Praktische Mathematik* (*IPM*, spätestens zum WS 1935/36 als solches in den Hochschulverzeichnissen aufgeführt). Anders als der Firma Ott nach dem Tod Ludwig Otts (und sogar bis heute) war dem *IPM* nach Walthers Emeritierung (1966) und ein Vierteljahr später folgendem Tod (am 4. Januar 1967) jedoch keine weitere Existenz beschieden: es wurde nahezu umgehend sang- und klanglos aufgelöst – ein radikaler Schritt oder besser: Schnitt, über dessen Gründe (und auch über die Gründe der Radikalität, mit der diese Zäsur damals in Darmstadt durchgeführt wurde) derzeit nur spekuliert werden kann.³

Das Firmenarchiv Ott. Das mittlerweile so gut wie vollständig aufgelöste *historische* Firmenarchiv Ott enthielt – bei allen »Bereinigungen«, die es im Lauf der Jahrzehnte immer schon erfahren mußte – einige für die Forschung unentbehrliche Bestandteile, deren Bewahrung und manchmal »Rettung in letzter Minute« verschiedenen Mitarbeitern der Firma – hier wären vornehmlich Rudolf Thiel zu nennen oder auch Sieglinde Dinser –, vor allem aber zum Schluß dem (erst Geschäftsführer und dann auch) Eigentümer der Firma, Heinrich Baur, zu verdanken ist. Ihm und besonders dem Einsatz seiner Frau Ulrike ist es ferner zuzuschreiben, daß zum 125jährigen Jubiläum der Firmengründung im Jahr 1998 sowohl die Festschrift »Eine Reise durch Technik und Zeit. 125 Jahre OTT«⁴ herausgegeben als auch ein kleines, aber feines Firmenmuseum eingerichtet wurden (gestaltet von der Architektin Claudia Fuoss-Felder); ferner wurden ein »Sammelraum« für Archivalien, weitere Instrumente usw. bereitgestellt. Beim Verkauf der Firma Ott im Jahr 2003 bestanden die neuen amerikanischen Eigentümer darauf, daß dieser »unnütze« Raum samt seiner Bestände rückstandslos aufgelöst werde. (Das Firmenmuseum durfte in seinem Zustand von 1998 vorläufig erhalten bleiben, was dem Vernehmen nach aber auch erst einiger Überzeugungsarbeit bedurfte.) Als er dies erfuhr, stellte Heinrich Baur, bei dem nach dem Verkauf der Firma noch das Eigentum am Firmengebäude verblieben war, dankenswerterweise rasch den Platz für ein Zwischenlager zur Verfügung, so daß die beabsichtigte und angeordnete, ja: teilweise leider schon begonnene Entsorgung unwieder-

3 Eine Biographie von Alwin Walther steht derzeit noch aus, wiewohl sie äußerst wünschenswert wäre – ebenso wie die Klärung der Umstände bei der Auflösung des *IPM* (und wie etliche andere Dinge auch). Im Augenblick muß man sich mit kürzeren und eher fragmentarischen Würdigungen wie de Beauclair, *Walther*, 1986; Müller-Merbach, *Pionier*, 1998, oder Schwetlick, *Walther*, 2000, begnügen.

4 Ott, *Reise*, 1998.

bringlicher Archivalien und Instrumente⁵ nur partiell durchgeführt wurde. Auch dieses Engagement verdient hier eigens hervorgehoben zu werden.

Die so von den neuen Eigentümern mehr oder minder zur Aussonderung und/oder Vernichtung bestimmten Archivalien und Instrumente wurden von mir im Zusammenwirken mit dem *Deutschen Museum*, München (Dirk Bühler, Wilhelm Füßl, Ulf Hashagen, Hartmut Petzold, Christian Sichau), während einiger Ortstermine in den Jahren 2005 bis 2009 gesichtet und verteilt, nachdem der neue Geschäftsführer der *Ott Messtechnik*, Dr. Anton Felder, freundlicherweise dazu sein volles Einverständnis gegeben hatte. Die für den Bereich der Integrierinstrumente relevanten Archivalien und Instrumente wurden weitestgehend mir überlassen, nachdem dies in den davorliegenden zwei Jahrzehnten bereits *peu à peu* begonnen worden war.

Der Briefwechsel Ott/Walther. Zu den sicherlich herausragendsten Teilen dieses letzteren Bestands gehört der Briefwechsel zwischen (fast ausschließlich) Ludwig Ott und Alwin Walther von 1928 bis 1945. Der Austausch zwischen diesen beiden, der zu seinen besten Zeiten fast im täglichen Wechsel erfolgte, beginnt mit einer Postkarte vom 10. Juni 1928,⁶ mit der Walther die Firma Ott um »Preise, Lieferungsmöglichkeiten und etwaige Rabatte für Ihre math. Präzisionsinstrumente« bittet, da er sich bei seiner »Berufung nach Darmstadt [...] die Einrichtung eines math. Laboratoriums ausbedungen« habe, und endet in der Nachkriegszeit des Jahres 1945 u. a. mit den Bestrebungen, die seit 1938 gemeinsam entwickelte *Differentialgleichungsmaschine IPM-Ott* (eine elektromechanische Analogrechenanlage) fertigzustellen und nach Darmstadt ins *IPM* zu verbringen. Das spannt, wie man ahnt, einen sehr weiten Bogen und hat eine Vielzahl von Facetten, denen im Einzelnen nachzugehen in fast jedem Fall lohnend ist.

Charakteristisch für die Anfangsphase der Beziehung zwischen Ott und Walther ist die Entwicklung zunächst kleinerer neuer Instrumente und Geräte, bei der Schüler und/oder Mitarbeiter von Walther eine tragende Rolle spielen. Unter ihnen gibt es bekannte und weniger bekannte Namen; Personen, über die man viel, und solche, über die man kaum etwas oder so gut wie gar nichts weiß – und denen trotzdem bei genauerem Hinsehen eine Bedeutung zugemessen werden muß, die sich in ihrer vollen Tragweite aber erst aus dem Briefwechsel Ott/Walther erschließt. Eine von diesen letzteren Personen ist Heinz Adler.

5 Darunter z. B. mit großer Sicherheit das einzige je hergestellte Momentenkurvimeter aus dem Jahr 1941, das in teilerlegtem Zustand noch 1998 »gesichtet« wurde. Die für die Zeit nach der Ausstellungseröffnung 1998 vorgesehene Restaurierung – oder, etwas profaner: Zusammensetzung und Wiedergangbarmachung – des Instruments durch Ott-Pensionäre fand leider nicht statt. Es darf vermutet werden, daß die in einen Karton gelegten Teile zu Beginn der »Aufräumaktion 2003« einem unvoreingenommenen Betrachter eher wie Schrott erscheinen mußten und daher mit als erste entsorgt wurden, bevor sich ein behutsamerer Umgang mit dem Rest einstellen konnte.

6 Im Folgenden wird auf diese Korrespondenz meist in der Form »(A an B, Datum)« verwiesen werden, und zwar – um die Lektüre nicht zu erschweren – gleich im Anschluß an die entsprechenden Zitate, nicht in Fußnoten.

*

Heinz Adler. In einem handschriftlichen Brief vom 5. Dezember 1929 an Ludwig Ott brachte Alwin Walther einen seiner Schüler, den damals noch als »cand. phys.« titulierten Heinz Adler, wegen des möglichen Baus eines von Adler zum Patent angemeldeten⁷ Instruments ins Gespräch. Wenngleich Ludwig Ott dieses Instrument – über das (mir derzeit) nichts weiter bekannt ist, als daß es im Zusammenhang mit der »mechanischen Verwirklichung des Rung[e]schen Schemas und ähnlicher Verfahren bei der harmon. Analyse« von Funktionen stand und in einer »Zirkel-Ausführung bereits gebaut und sehr schön und bequem ausgefallen« sei – nicht für das Fertigungsprogramm der Firma Ott geeignet hielt,⁸ so begann damit doch durch Walthers Vermittlung eine über die nächsten Jahre andauernde, nicht immer spannungsfreie, sehr wohl aber fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Adler und Ott. Sie kulminierte in drei konkreten und kommerziell auch langfristig in nennenswerten Stückzahlen hergestellten Instrumenten (teilweise Instrumentengattungen), von denen zwei zeitweise auch unter der Zusatzbezeichnung *Adler-Ott*⁹ bekannt wurden (selbst wenn diese Bezeichnung und die Nennung von Adler in einem der beiden Fälle dann relativ rasch von der Firma Ott wieder aufgegeben, in einem dritten niemals eingeführt wurden): die *Potenzplanimeter Adler-Ott* mit Gelenkmechanismus (im Folgenden in Abschnitt 1 vorgestellt), die *Radialfunktionsplanimeter* mit bewegter Meßrolle und Kurvenschlitzführung, die Ott und Adler sich gemeinsam in den USA patentieren ließen (Abschnitt 3), und der *Integrabh Adler-Ott* (Abschnitt 4). *Linearpotenzplanimeter* mit Kurvensteuerung, wie Adler sie für höhere (ganzzahlige) Potenzen als 2 vorschlug (Abschnitt 2), blieben in der von ihm bevorzugten Form – eben mit Kurvensteuerung statt mit Gelenkmechanismen – hingegen unverwirklicht.

Vita. Zum Lebenslauf von Heinz Adler ist nicht viel bekannt; einzelne Bruchstücke erhält man aus dem »Lebenslauf« in seiner gedruckt vorliegenden Dissertation, andere, vielleicht nicht immer ganz so verlässliche, aus dem Briefwechsel Ott/Walther.

Heinz Adler wurde als Sohn von Dr. phil. Franz Adler und dessen Frau Else, geb. Kuttner, am 18. November 1908 in Frankfurt am Main geboren. Er besuchte als weiterführende Schule die dortige Liebig-Oberrealschule, an der er Ostern 1927 die Reifeprüfung ablegte. Im Herbst 1927 wurde er an der TH Darmstadt immatrikuliert; Ende 1929

7 Eine 2009 vorgenommene entsprechende Patentrecherche nach dem hier gemeinten Heinz Adler in DEPATIS verlief jedoch erfolglos; daher muß darauf geschlossen werden, daß die Anmeldung nicht erfolgreich war und nicht zu einer Patenterteilung führte. Weiterführende Recherchen im Patentarchiv habe ich aus Zeitgründen (Stand: August 2010) bislang nicht unternommen.

8 In seiner Antwort an Walther vom 13. Dezember 1929 verwies Ott stattdessen auf zwei Hersteller von Zeicheninstrumenten, die Firmen von *Clemens Riefler* in Nesselwang und von *E. O. Richter* in Chemnitz, die dafür eher infrage kämen.– Die ja nur sehr kursorische Beschreibung des Instruments durch Walther läßt auf eine mögliche Verwandtschaft mit dem Harmonischen Analysator von Martens schließen, der ab Ende 1933 von den Askania-Werken angeboten wurde (Askania-Prospekt Geo 114 vom September 1933), doch dies muß mangels weiterer Kenntnisse über das Adlersche Instrument spekulativ bleiben.

9 Die Namensgebung *Adler-Ott* geht – auf eine Bitte Ludwig Otts hin (Ott an Walther, 18. Februar 1930) – auf einen entsprechenden Vorschlag von Alwin Walther zurück (Walther an Ott, 21. Februar 1930).

bezeichnete Walther ihn daher zutreffend als cand. phys. Im Herbst 1931 beendete Adler sein »8-semesterige[s] Studium der technischen Physik (Fachrichtung Laboratoriumswesen)«¹⁰ mit der Diplom-Hauptprüfung (er »hatte übrigens vergangene Woche seine mündliche Diplomhauptprüfung, soviel ich an Noten gesehen habe, mit sehr gutem Erfolge«: Walther an Ott, 20. November 1931). Während er laut Walther anschließend in Essen-Bredeney (ohne genauere Firmen-Angabe) arbeitete, besagt die abschließende Dankesnotiz am Ende der Dissertation sowie der daran anschließende Lebenslauf, daß er bei der Firma »Dr. C. Otto & Comp. G.m.b.H., Bochum-Dahlhausen«, in deren keramischem Laboratorium an seiner Dissertation arbeitete. Am 16. Dezember 1932 besuchte er Walther:

Gestern war überraschender Weise Herr Adler bei mir. Er hat in Essen [?] eine Dissertation über Porosität von feuerfesten Steinen angefertigt, teils theoretisch (dünnste und dichteste Lagerung von Kugeln unter Berücksichtigung der Reibung), teils experimentell. Wie er sagt, hat er befriedigende und praktisch bedeutsame Resultate erzielt. Sein Besuch bezweckte, unseren Physiker Prof. Rau um das Referat und mich um das Korreferat zu bitten. Er will die Arbeit im Januar einreichen,

aber auch: »Wirtschaftlich scheint es ihm gegenwärtig nicht besonders gut zu gehen« (Walther an Hermann und Ludwig Ott, 17. Dezember 1932).

Wie es scheint, hatten Adlers Bitten zur Person des Referenten bzw. Korreferenten nur geteilten Erfolg: Während »Prof. Dr. H[ans] Rau« in der Dissertation als Referent genannt wird, Adlers Wunsch hier also in Erfüllung ging, wird als Korreferent nicht Walther, sondern »Prof. Dr. [August] Thum« aufgeführt. Auch das Einreichen der Arbeit scheint sich noch etwas verzögert zu haben – vielleicht wegen Walthers Absage? Jedenfalls wurde die Dissertation am 3. April 1933 vorgelegt, und die mündliche Prüfung fand genau zwei Monate später, am 3. Juni 1933, statt. Das Thema seiner Dissertation lautete »Über Körnungsaufbau und physikalische Eigenschaften körniger, speziell feuerfester Materialien«.¹¹ Der letzte derzeit bekannte Kontakt mit Adler und zugleich auch das letzte (mir derzeit bekannte) biographische Detail ist ein Brief von Ludwig Ott als Antwort auf einen (nicht im Briefwechsel Ott/Walther enthaltenen) Brief Adlers. Otts Brief ging nach Porto in Portugal (Ott an Adler, 1. März 1935); weshalb Adler sich dort aufhielt, ist nicht bekannt. Der Tenor dieses Briefs läßt deutlich auf ein in endgültiger Auflösung befindliches Verhältnis zwischen Ott und Adler schließen, dem nichts Weiteres mehr gefolgt sein dürfte.

Die Phase der engsten Zusammenarbeit zwischen Ott und Adler, die von Walther initiiert und immer wieder begleitet wurde, fällt in die Jahre 1930 bis 1933, also in eine Zeit, in der Adler noch studierte (1930–1931) bzw. – während seiner ersten Berufstätigkeit – promovierte (1931–1933). Dabei liefen die Aktivitäten zu den drei wichtigsten Projekten (den Linearquadrat- und Linearquadratwurzelplanimetern, dem Radialfunktionsplani-

10 Adler, *Körnungsaufbau*, S. 21.

11 Vorhanden in einigen deutschen Bibliotheken, u. a. der UB der Ludwig-Maximilians-Universität München, dort unter der Signatur U 1933/2532.

meter und dem Integraphen) über längere Zeit parallel; daher ist es hier – neben der Herausarbeitung der wenig bekannten und bislang niemals ausführlich gewürdigten Bedeutung von Heinz Adler für die Entwürfe bzw. die Ideen zu diesen Instrumenten – meine weitere Zielsetzung, diese verflochtenen Stränge ein wenig nach den genannten Instrumenten bzw. Instrumentengattungen aufzudröseln. Ferner wird anhand der erwähnten Instrumente die Gelegenheit genutzt, die durch den Briefwechsel Ott/Walther dokumentierbaren kleinen Schritte von Ideen und Prototypen hin zu ausgereiften Geräten an dieser Stelle einmal etwas ausführlicher zu beleuchten. Daß bei diesem Vorgehen einige Wiederholungen und Doppelungen unvermeidbar sind, müssen der Leser und ich in Kauf nehmen.

1. Die Potenzplanimeter *Adler-Ott*, 1930 ff.

Am Anfang stand die Suche der Firma Ott nach einem *Linearquadratplanimeter* – also, bis auf einen multiplikativen Faktor $\frac{1}{2}$, einem cartesischen Momentenplanimeter zur Bestimmung von $\int f(x)^n dx$ für den Spezialfall $n = 2$, oder, nochmals anders und etwas genauer formuliert, einem Instrument für die Ermittlung des Integrals $\int f(x)^2 dx$ zwischen zwei gegebenen Grenzen, wobei $f(x)$ eine in rechtwinkligen (= cartesischen) Koordinaten graphisch gegebene Funktion ist. Das neue Instrument sollte aber einen einfacheren Aufbau als die z. B. von den Firmen Amsler oder Coradi hierfür gebauten sogenannten Integratoren besitzen. Darüber hatte Hermann Ott Alwin Walther bei dessen erstem Besuch in Kempten erzählt: »Ich war«, schreibt Walther 1935 retrospektiv an Paul Werkmeister (1878–1944),¹²

im Dezember 1929 bei der Firma Ott. Dort erzählte mir Herr Ott,¹³ daß die Fa. Siemens ihm die Frage vorgelegt habe, ob es möglich sei, den Rauminhalt von Glühlampen durch Umfahren des Meridians mit dem Planimeter zu bestimmen. Er hat diese Frage verneint.¹⁴ Auf der Rückfahrt überlegte ich mir selbst eine mechanische Auswertung des in Betracht kommenden Integrals $\int_{\pi} y^2 dx$, indem ich die Quadrierung in der beim Rechnen üblichen Weise auf Grund von Proportionen durchführte.¹⁵ Das

12 Prof. Dr.-Ing. Paul Werkmeister ist wohl am besten durch seine Bücher und Publikationen zur Vermessungskunde und zu den Geodätischen Instrumenten in Erinnerung. Von 1925 bis zu seiner krankheitsbedingten vorzeitigen Emeritierung im Jahr 1938 war er Ordinarius für Vermessungskunde an der TH Dresden. Zu seinen Ehrenämtern gehörte neben dem Direktorat des Mathematisch-Physikalischen Salons im Dresdner Zwinger unter anderem auch die Mitgliedschaft im Vorstandsrat des Deutschen Museums. Vgl. dazu kurz: Rößler, *Werkmeister*, 2008.

13 Daß es sich bei *diesem* »Herr[n] Ott« um Ludwig Otts Bruder Hermann handelt, erfährt man nicht aus Walthers Schreiben an Werkmeister, sondern nur aus dem Brief von Walther an Ludwig Ott vom 24. Januar 1930.

14 Zurecht, wenn man unter »Planimeter« das normale, flächenmessende Instrument versteht. Ein handelsübliches »Momentenplanimeter« oder ein »Integrator« (das war die von Amsler schon 1856 eingeführte und trotz der nicht so ganz glücklichen Wahl beibehaltene Bezeichnung für das Instrument) für $n = 2$ war dazu natürlich in der Lage. Solche Instrumente waren jedoch relativ groß, aufwendig herzustellen und daher teuer.

15 Gemeint ist wohl die Einschaltung einer mittleren Proportionalen h zwischen zwei Größen p und q mittels $p : h = h : q$, also $h^2 = pq$. Das läßt sich auch in einem rechtwinkligen Dreieck ABC mit

gefiel mir aber nicht, und ich gab deshalb nach meiner Rückkehr das Problem an Herrn Adler weiter, der sich die Möglichkeit der Quadrierung durch Winkelverdopplung überlegte und für die Winkelverdopplung den schönen Gedanken des gleichschenkligen Dreiecks hereinbrachte (Walther an Werkmeister, 19. Januar [recte: Februar¹⁶] 1935; Abschrift im Briefwechsel Ott/Walther).

Es konnte offenkundig nicht darum gehen, das für die Lösung dieser Aufgabe notwendige Momentenplanimeter für $n = 2$ erst zu erfinden – dazu waren die einschlägigen Instrumente von *Amsler* (gebaut spätestens seit 1867, aber schon 1856 von Jakob Amsler, 1823–1912, in Amsler, *Bestimmung*, 1856 beschrieben), *Coradi* (gebaut nach Ideen von Henry Selby Hele-Shaw, 1854–1941, ab ca. 1900) und *Dennert & Pape* (erstmalig in deren Katalog von 1927 publiziert) zu bekannt; insbesondere die Zahl der seit 1867 von Amsler hergestellten Instrumente dieser Art hatte um 1930 bereits die 1500 Stück deutlich überschritten.¹⁷ Der Ehrgeiz von Walther bestand vielmehr darin, eine andere, einfachere Konstruktion zu finden. Nachdem ihm aber seine eigene Lösung nicht gefiel, setzte er Heinz Adler auf das Problem an. Ohne Adlers Verdienste ungebührlich zu schmälern, sollte man diesem jedoch – entgegen der möglichen Lesart bei Walther – nicht gerade die Aufdeckung des Zusammenhangs zwischen Quadrierung und Winkelverdopplung zuschreiben; zu bekannt und allesamt auf $\sin^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$ (links die Quadrierung, rechts die Winkelverdopplung) beruhend waren die Prinzipien der bis dahin bekannten und hergestellten Momentenplanimeter für $n = 2$. Auch Adler selbst hat diesen Zusammenhang stets als »bekannt« bezeichnet und ihn niemals als seine Erfindung ausgegeben oder für sich reklamiert. Etwas anderes ist natürlich seine konstruktive bzw. technische Umsetzung.

rechtem Winkel bei C als Höhensatz interpretieren: Ist h die Länge der vom Punkt C auf die Hypotenuse c gefällten Höhe, und sind p und q die sich durch den Höhenfußpunkt ergebenden Teilstrecken von $c = p + q$, so ist $h^2 = pq$; vgl. Meyer zur Capellen, *Instrumente*, 1949, S. 23-24, für einen darauf beruhenden Quadriermechanismus.

- 16 Der Fehler im Monat ist entweder bei der Abschrift durch die Firma Ott eingeführt worden oder war schon in Walthers Briefdurchschlag an Ott vorhanden (der anscheinend nach der Abschrift wieder an Walther zurückgesandt wurde). Es wird jedoch an mindestens zwei Stellen der Abschrift evident, daß es sich nicht um den Januar handeln kann: erstens ist das im Feld »Ihre Nachricht vom« angegebene Datum eines Werkmeisterschen Schreibens an Walther der »8.2.35«, so daß Walthers Antwort erst nach diesem Tag, also jedenfalls frühestens im Februar, erfolgt sein kann; zweitens leitet Walther mit seinem Brief Unterlagen an Werkmeister weiter, die ihm erst mit Brief vom 14. Februar 1935 von der Firma Amsler zur Verfügung gestellt worden waren. Da Walther am 19. Februar 1935 Ott über diesen Vorgang informiert, kommt aber auch kein späterer Monat als Februar infrage.
- 17 Jakob Amsler ist vor allem als Erfinder des Polarplanimeters (1854, publiziert 1856) in die Geschichte eingegangen. Die von ihm Ende 1854 zur Herstellung dieser Instrumente gegründete Werkstatt entwickelte sich rasch zu einer bedeutenden Firma, in der neben Mathematischen Instrumenten bald auch Maschinen zur Materialprüfung hergestellt wurden. Dieser letztere Zweig überlebte die Einstellung der Mathematischen Abteilung im Jahr 1970 und ist nach zahlreichen Eigentümerwechseln bis heute aktiv.– Henry Selby Hele-Shaw ist in der Geschichte der Automobiltechnik und der Luftfahrt eine noch heute bekannte Figur (Hele-Shaw-Zelle; Hele-Shaw-Strömungsmodell), aber auch sein »Ausflug« in das Gebiet der Integrierinstrumente (Hele-Shaw, *Integrators*, 1886) blieb nicht ohne Folgen.

Das Prinzip: Ein Gelenkmechanismus für $n = 2$ (und $n = 1/2$), d. h. für eine Quadrier- (und Radizier-) Einrichtung. Man betrachte den Gelenkmechanismus $\{E_2 \underline{CA} \odot \underline{AB} \odot (\underline{BC} \perp \underline{BE}_1)\}$, der zur Gattung der sogenannten Schleifkurbeltriebe gehört (vgl. dazu etwa Ott, Planimeter, 1936, S. 42, und dort die Abb. 5, an die die folgende Skizze angelehnt ist):

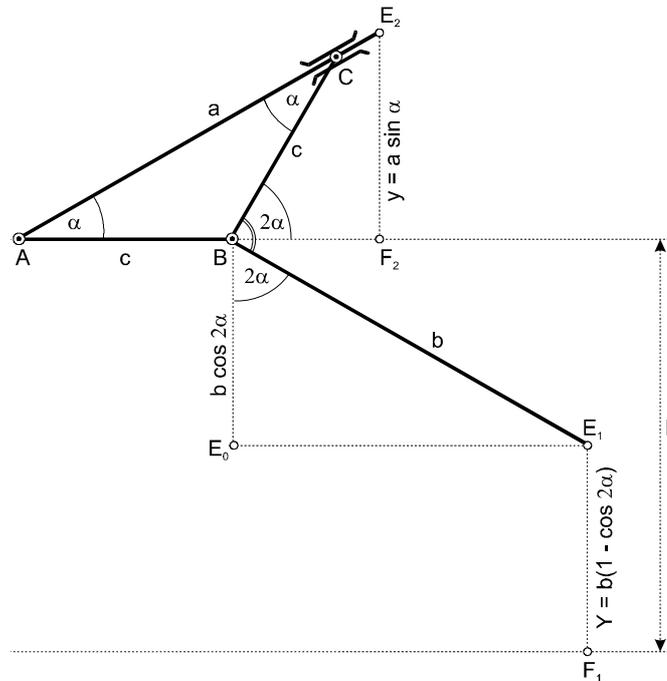


Abb. 1: Prinzip eines Quadrier- bzw. Radiziermechanismus mit Schleifkurbeltrieb.

Die Basisstrecke \underline{AB} habe die feste Länge c ; in A sei drehbar ein Arm $\odot \underline{AE}_2$ der festen Länge $a = \underline{AE}_2 \geq 2c$ angebracht. Der zwischen AB und \underline{AE}_2 gebildete Winkel $\angle E_2AB$ sei α . Ein um B drehbarer Arm $\odot \underline{BC}$ habe ebenfalls die Länge c ; er sei im verschiebbaren Gelenkpunkt \underline{C} mit \underline{AE}_2 gekoppelt und wird daher durch den Arm \underline{AE}_2 geführt (bzw. führt umgekehrt auch ihn). Die durch die Verlängerung der Strecke AB definierte Gerade ist die Bezugsachse für eine senkrechte Ordinate $y = \overline{F_2E_2}$. Fest mit dem um B drehbaren Arm $\odot \underline{BC}$ ist ein um 90° im Uhrzeigersinn gedrehter Arm \underline{BE}_1 der Länge b verbunden. Eine zu AB parallele Gerade im Abstand b ist die Bezugsachse für eine senkrechte Ordinate $Y = \overline{F_1E_1}$.

Da wegen $\underline{AB} = \underline{BC} = c$ das Dreieck ABC gleichschenkelig ist, ist auch $\angle BCA = \alpha$. Nach dem Satz über die Außenwinkel ist daher $\angle CBF_2 = 2\alpha$. Wegen der beiden rechten Winkel $\angle F_2BE_0$ und $\angle CBE_1$ ist dann auch $\angle E_1BE_0 = 2\alpha$. Damit liest man zunächst ab:

$$\sin \alpha = \frac{y}{a}, \cos 2\alpha = \frac{b-Y}{b} = 1 - \frac{Y}{b}.$$

Aus $\sin^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$ ergibt sich somit $(\frac{y}{a})^2 = \frac{1}{2}[1 - (1 - \frac{Y}{b})] = \frac{Y}{2b}$. Also ist

$$Y = \frac{2b}{a^2}y^2 \quad \text{bzw.} \quad y = \frac{a}{\sqrt{2b}}\sqrt{Y},$$

und der Gelenkmechanismus $\{E_2\underline{CA}\odot\underline{AB}\odot(\underline{BC}\perp\underline{BE}_1)\}$ ist eine Quadrier- bzw. Radizier-Einrichtung. Wählt man zusätzlich noch $a = \sqrt{2b}$, also $a^2 = 2b$, so werden die beiden Vorfaktoren jeweils zu 1, und es ist einfach

$$Y = y^2 \quad \text{bzw.} \quad y = \sqrt{Y}.$$

Der – in der Skizze – obere Teil dieses Gelenkmechanismus war jedoch in seinem Prinzip bereits 1856, wie schon erwähnt, von Jakob Amsler zur Winkelverdopplung und dann auch gleich weiter zur Winkelverdreifung beschrieben und in zwei Zeichnungen illustriert worden.

1.1. Das Linearquadratplanimeter Adler-Ott, 1930 ff.

Das Versuchsmodell I zum Linearquadratplanimeter. Der erste Besuch Walthers bei der Firma Ott zeigte rasch Früchte: »Ich habe über dieses Problem [...] etwas nachgedacht und meinen Ihnen ja bekannten Schüler Herrn Heinz Adler ebenfalls darauf gehetzt. [...] Herr Adler hat eine sehr hübsche Konstruktion gefunden und auch schon ausgeführt«, wobei ein Planimeter »durch eine rechtwinklige Führung immer so gestellt wird, daß es gegen die y-Richtung den Winkel 2φ bildet, wenn der eine Arm der rechtwinkligen Führung den Winkel φ gegen die x-Richtung einnimmt« (Walther an Ott, 24. Januar 1930). Die diesem Brief beigelegten Anlagen – eine Skizze sowie eine Photographie des Adlerschen Instruments – finden sich jedoch nicht bei seiner Durchschrift abgelegt.¹⁸ Andere Bestände aus dem früheren Firmenarchiv zeigen jedoch, daß Hermann Ott schon am Folgetag – also am Tag, als Walthers Brief in Kempten einging, dem 25. Januar 1930 – eine Konstruktionsskizze anfertigte, und daß bereits am 30. Januar 1930 ein grob nach dieser Skizze gebautes Instrument gebastelt und photographiert worden war.¹⁹

18 Die fast ausschließliche Quelle für alle nachfolgenden Informationen ist der Briefwechsel Ott/Walther. Da aber in der Regel weder Durchschläge von Briefen an Adler noch Gegenbriefe Adlers in ihm zu finden sind, ist anzunehmen, daß sie in einer oder mehreren separaten Akten geführt worden sind, über deren Verbleib mir z. Zt. nichts bekannt ist – den Umständen bei der schrittweisen Auflösung des Ottschen Firmenarchivs zufolge wird man sie aber wohl verloren geben müssen.

19 Ein Sammel-Ordner, der aus über Raum und Zeit verstreut zu mir gelangten Ottschen Quellen zusammengestellt wurde und dem ich die Bezeichnung »Ott Linearquadratplanimeter« gegeben habe, ist hier die Grundlage.– Man kann bei genauem Hinsehen den Datumsstempel »25. Jan. 1930« auf der Skizze erkennen, und das weitere Blatt, auf dem die hier wiedergegebene Photographie aufgeklebt wurde, ist »30. Jan. 1930« gestempelt.

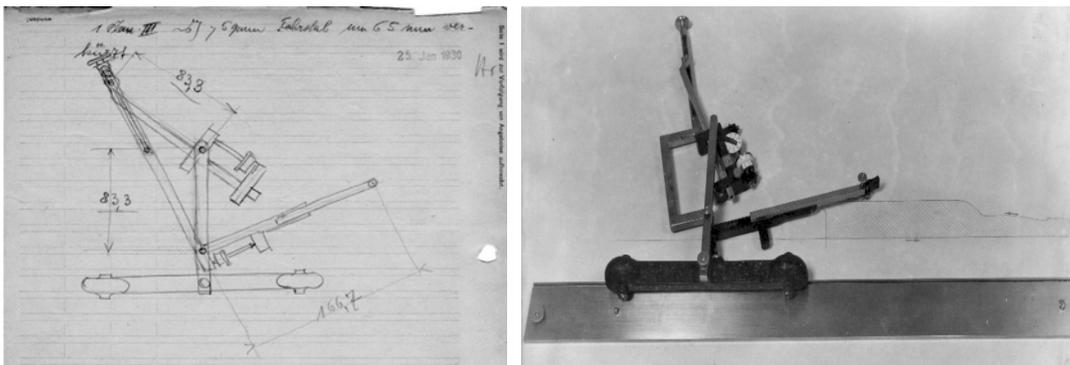


Abb. 2 u. 3: Skizze (25. Januar 1930) und Versuchsmodell I (\leq 30. Januar 1930) zum Linearquadratplanimeter Adler-Ott.

Bemerkenswert ist hier, daß die Skizze schon ein Instrument mit *zwei* Meßrollen zeigt, mit denen also die Integrale sowohl über $f(x)$ als auch über $f(x)^2$ *simultan* ermittelt werden konnten, während das konkrete Versuchsmodell I nur *eine* Meßrolle – diejenige für die Integration über $f(x)^2$ – aufweist, da die Meßrolle für den normalen Linearplanimeterfahrarm ersichtlich ausgebaut werden mußte. Es ist aber auch klar, daß diese Konfiguration wohl nur ihrer raschen Zusammenstellung aus meist vorhandenen Teilen geschuldet war, und daß eine andere Dimensionierung der Bestandteile – insbesondere die simple Verlängerung des vom Führungswagen senkrecht ausgehenden Auslegers – daher durchaus die ausgebauten Meßrolle wieder zu montieren erlaubt hätte.

Das »Hübsche« an der Adlerschen Konstruktion war die Verwendung des oben beschriebenen Gelenkmechanismus – genauer: eines Teils davon – zur Winkelverdopplung. Das Wissen um diese schon von Jakob Amsler im Jahr 1856 beschriebene Einrichtung zur Winkelvervielfachung, insbesondere zur Winkelverdopplung und –verdreifachung, war offenbar bereits früh verloren gegangen. Ein Grund hierfür mag auch in der Amslerschen Entscheidung zu finden sein, sich bei seinen ab 1867 hergestellten konkreten Instrumenten dieser Art ausschließlich Zahnrädern zur Winkelvervielfachung zu bedienen. Aus diesem Grund war – nicht allzu selten in der Geschichte der Mechanischen Integration – der Weg für die unabhängige »Wiedererfindung« dieses Gelenkmechanismus frei, die allerdings erst knappe 75 Jahre später erfolgte. Adler entwarf sich dazu das oben beschriebene Quadriergetriebe (das, wie er bald Gelegenheit haben würde zu zeigen, mit einer kleinen Ergänzung auch als Radziergetriebe zum Wurzelziehen benutzt werden konnte).

Das Versuchsmodell II zum Linearquadratplanimeter. Schon eine gute Woche nach der Fertigstellung des Versuchsmodells I konnte Ludwig Ott zwei Photos und ein weiteres von Hermann Ott hergestelltes Versuchsinstrument an Walther senden. Das eine Photo zeigte das (schon im vorigen Absatz abgebildete) Versuchsmodell I, das zwischen dem 25. und dem 30. Januar 1930 entstanden war; das andere Photo zeigte ein Versuchsmodell II, das, »wie das erste, sehr schön und genau« arbeitete, wemgleich Ott hinzusetzte: »Nur hinsichtlich der mechanischen Formgebung befriedigt es noch nicht recht, doch wird sich

dieser Mangel unter Verwendung eines gefälligen Aluminium-Gußstückes allmählich schon beseitigen lassen.« Trotzdem entschloß er sich, Walther dieses Versuchsmodell II gleich mitzuschicken, »damit Sie selbst bzw. Herr Adler ein Urteil über die Fahreigenschaften und die erreichbare Genauigkeit gewinnen können« (Ott an Walther, 8. Februar 1930). Soweit ich es derzeit überblicke, sind von diesem Versuchsmodell II keine Photos oder Skizzen erhalten.

Das Versuchsmodell III zum Linearquadratplanimeter. Wie anschließend in 1.2 näher ausgeführt werden wird, nahm Ott den Versand des Versuchsmodells II für das Linearquadratplanimeter auch zum Anlaß, das weitere Thema Linearquadrat*wurzel*planimeter anzusprechen, wozu Heinz Adler ihm gleichfalls rasch eine auf dem Quadriermechanismus beruhende Lösung anbot. Offenbar beflügelte das die Brüder Ott bei der Konstruktion eines weiteren Versuchsmodells III (»Jedenfalls wird mein Bruder einmal einen Versuch mit einem so gebauten Instrument machen«: Ott an Walther, 18. Februar 1930), in dem einerseits schon das soeben erwähnte »gefällige Aluminium-Gußstück« Verwendung fand (am Ende des Auslegers), das Versuchsmodell aber andererseits so gestaltet war, daß es zu *drei* verschiedenen Konfigurationen zusammengestellt und in ihnen betrieben werden konnte: als normales Linearplanimeter, als Linearquadratplanimeter und *zusätzlich* noch als Linearquadrat*wurzel*planimeter:

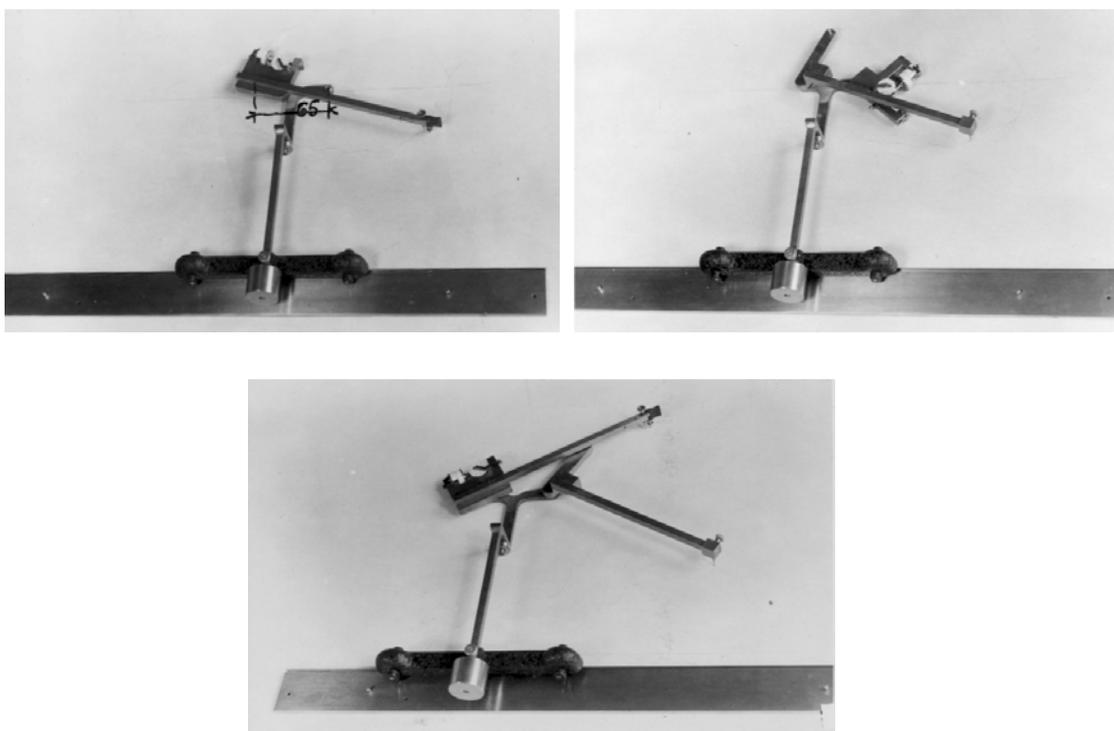


Abb. 4, 5 u. 6: : Versuchsmodell III (\leq Juni 1930) zu den Potenzplanimetern Adler-Ott; oben links: Konfiguration als Linearplanimeter; oben rechts: Konfiguration als Linearquadratplanimeter; unten: Konfiguration als Linearquadratwurzelplanimeter (Ott-Bilder, bezeichnet »3.«, »4.« und »5.« auf den Rückseiten).

Erfreulicherweise fanden sich an anderer Stelle²⁰ die drei abgebildeten, leider undatierten Photos dieses Instruments. Die auf ihren Rückseiten mit den Nummern »3.«, »4.« und »5.« beschrifteten Photos (die Nummern »1.« und »2.« fanden sich bislang leider nicht ein) zeigen ersichtlich das gleiche Instrument, jeweils zu einer der drei erwähnten Konfigurationen zusammengestellt. Hermann Ott legte hinter diesen Photographien des Versuchsmodells III einen Zettel ein, auf dem er neben einigen Maßangaben notierte: »Potenzplanimeter. Musterausführung geliefert Ende Juni nach Darmstadt (Prof. Walt[h]er) zur Ausprobierung«, und hinter »Juni« noch die Jahreszahl »1930« einfügte. Zwar bestätigt der Briefwechsel Ott/Walther diese Lieferung nicht ausdrücklich, es besteht aber auch kein Grund, diese Angabe anzuzweifeln. Die sehr geschickte Kombinationsidee gleich dreier Instrumente, die sich in diesem Versuchsmodell zeigte, wurde jedoch anschließend nicht mehr weiterverfolgt.

Der erwähnte Zettel führt Daten für alle drei Konfigurationen auf, die sich (fast) mit den aus den Abbildungen entnehmbaren Maßen decken. Eine gewisse Schwierigkeit bietet sich bei der Dimensionierung dieses Multifunktionsinstruments ja insofern, als man die drei absoluten »Flächen-« bzw. »Noniuseinheiten« (= 1/1000 der jeweiligen Flächeneinheit) FE_i bzw. NE_i ($i = 1, 2, 3$) als einigermaßen »runde« Zahlen erhalten will; dies sind nämlich die Zahlen, mit denen man das Meßergebnis – die in Rollenumdrehungen U oder in ihren Nonienteilen $k = 1000 U$ angefallenen Meßrollendrehungen – noch multiplizieren muß, um den jeweils gesuchten Integralwert zu bekommen, und sie sollten daher möglichst »glatte« oder »runde« Werte besitzen. Die FE_i ergeben sich aus den Theorien der jeweiligen Konfiguration zu $f_1 \cdot u_1$ für das Linearplanimeter, $f_2^2 \cdot u_2/2$ für das Linearquadratplanimeter und $\sqrt{2}f_3 \cdot u_3$ für das Linearquadratwurzelplanimeter; dabei sind f_i die jeweiligen Fahrarmlängen, u_i die zusammen mit ihnen benutzten Meßrollenumfänge, wobei natürlich für verschiedene Konfigurationen Bauteile mit gleichen Fahrarmlängen und/oder gleichen Meßrollenumfängen verwendet werden konnten. Für die nach Darmstadt gesandte Ausführung wurden $f_1 = 16^{2/3}$ cm, $f_2 = f_3 = 18.00$ cm sowie $u_1 = u_3 = 6.00$ cm, $u_2 \approx 6.2$ cm gewählt, woraus sich absolute »Flächeneinheiten« (die nur im Fall der Konfiguration als Linearplanimeter wirklich Flächen sind) von $FE_1 = 100$ cm², $FE_2 = 1000$ cm³ und $FE_3 = 36$ cm^{3/2} ergeben.²¹

20 In dem schon einmal neben dem Briefwechsel Ott/Walther herangezogenen Sammel-Ordner »Ott Linearquadratplanimeter«.

21 Die insgesamt zwei vorhandenen Blätter mit Be- und Nebenrechnungen zum Versuchsmodell III muß man mit Vorsicht genießen; sie zeigen, wie neu das Gebiet für Hermann Ott war, wie vorsichtig er sich an die passenden Dimensionierungen herantastete, und daß ihm dennoch mindestens zwei größere/größere Fehler dabei unterliefen, die ich korrigiert habe: denn es ist *sowohl* der von ihm für u_2 angegebene Wert von 5.8 cm *als auch* der von ihm für f_2 angegebene Wert von $16^{2/3}$ cm falsch (denn bei $FE_2 = 1000$ cm³ folgte aus $f_2 = 16^{2/3}$ cm $u_2 = 7.2$ cm, oder aus $u_2 \approx 5.8$ cm $f_2 \approx 18.6$ cm). Da aber der Vergleich der Konfigurationen eindeutig zeigt, daß $f_2 = f_3$ gilt, weil in beiden Fällen der gleiche (gewinkelte) Fahrarm benutzt wird, bleibt nur, u_2 entsprechend zu wählen; aber statt den Meßrollenumfang u_2 von seinem Standardwert von genau 6.00 cm auf rund 5.8 cm zu verkleinern, muß er genau entgegengesetzt auf rund 6.2 cm vergrößert werden.– Unter

Untersuchungen am Versuchsmodell III (und am ersten »richtigen« Instrument). Mit den Untersuchungen am Lehrstuhl Walther wurde cand. math. Kurt Wemheuer beauftragt, der einige Genauigkeitsuntersuchungen und Praktikabilitätseinschätzungen vornahm. Heinz Adler sandte im Januar 1931 eine erste Teilfassung der Wemheuerschen Ergebnisse an Ludwig Ott, nachträglich kommentiert von Walther: »Die Genauigkeitsuntersuchungen von Herrn Wemheuer werde ich natürlich noch auf den vollen Umfang bringen lassen« (Walther an Ott, 22. Januar 1931); im Gegenzug Ott an Walther: »Genauigkeitsuntersuchungen von WEMHEUER. Ich sende hiermit das Original dieser Arbeit zurück und füge eine von meinen Leuten gemachte Abschrift für Ihre Akten bei« (Ott an Walther, 26. Januar 1931). Die hier erwähnte Abschrift hat sich zwar nicht unmittelbar im Briefwechsel, dafür aber an anderer Stelle erhalten.²²

Erst fast anderthalb Jahre später war anscheinend der angestrebte »volle Umfang« erreicht: »Anbei übersende ich Ihnen«, schrieb Walther am 21. Juni 1932 an Ott, »eine Ausarbeitung²³ von Herrn Wemheuer über das Potenzplanimeter in Fortsetzung seiner früheren Untersuchungen. Ich selbst habe sie noch nicht durchgelesen, sondern lasse sie Ihnen zunächst zur Kenntnis zukommen.« Darin befaßte sich Wemheuer gleich zu Beginn mit der Aufstellung des Instruments (wobei ihm übrigens, wie man weiter unten sehen wird, seit Mai 1931 auch die erste »richtige« Ausführung des Linearquadratplanimeters zur Verfügung stand, nicht nur das Versuchsmodell III, um dessen Rücksendung Ott im Gegenzug gebeten hatte). Wemheuers Analyse ergab, daß das Instrument eine andere Aufstellung erhalten sollte als bislang benutzt, damit bei der Bedienung keine Kollisionen der Führungshand mit dem Lineal oder anderen Teilen zu befürchten waren.

Preisgabe der cm als Längeneinheit ließe sich übrigens ein kombiniertes Linear-, Linearquadrat- und Linearquadratwurzelplanimeter herstellen, das mit *einer* einheitlichen Fahrarmlänge f und *einem* einheitlichen Meßrollenumfang u auskommt, und überdies nur ganzzahlige Zehnerpotenzen als NE_i (und damit auch ebensolche FE_i) besitzt: Man wähle $f = 200$ mm, $u = 50$ mm, und man erhält $NE_1 = 10$ mm² (= 0.1 cm²), $NE_2 = 1000$ mm³ (= 1 cm³), und $NE_3 = 1$ mm^{3/2}. Man sieht, daß die *crux* mit den cm als Längeneinheit hier beim Linearquadratwurzelplanimeter auftaucht, da die Umrechnung von mm^{3/2} in cm^{3/2} den Faktor $10\sqrt{10}$ mit sich bringt und damit die »runden« Zahlen verlassen werden müßten. (Es sind natürlich auch noch weitere Abmessungen mit ähnlich »schönen« NEs bzw. FEs, übrigens auch in cm als Grundeinheit, denkbar.)

22 Im Sammel-Ordner »Ott Linearquadratplanimeter«.

23 Die maschinenschriftliche Abschrift der anscheinend erneut handgeschriebenen 2. Ausarbeitung wurde von Ott veranlaßt (vgl. Ott an Walther, 25. Juni 1932); mit Brief vom 1. August 1932 sandte Ott eine solche Abschrift an Walther. Ein Durchschlag-Exemplar findet sich beim Durchschlag dieses Briefs; zwei weitere Exemplare der Abschrift des zweiten Teils der Wemheuerschen Untersuchungen finden sich im Sammel-Ordner »Ott Linearquadratplanimeter«, eines davon handschriftlich in Bleistift mit dem Namen des Verfassers, Kurt Wemheuer, ergänzt.

Wemheuer kritisierte (völlig zurecht), daß man in der ursprünglichen Aufstellung über die Führungsschiene hinweggreifen mußte, um den Fahrstift zu führen, während in der von ihm vorgeschlagenen Aufstellung die Hand des Benutzers (und das war üblicherweise die rechte) erstens bequem aufgestützt werden konnte und man zweitens keine Gefahr lief, unbeabsichtigt die Führungsschiene zu berühren, an sie zu stoßen oder gar sie zu verschieben. Die Firma Ott nahm diese Anregung gerne und umgehend auf, und so wurden fortan alle Abbildungen des Instruments in Prospekten, Bedienungsanleitungen etc. auf diese Aufstellung umgestellt: »Es dürfte richtig sein, daß bei dieser Aufstellung die Führung der Integratoren und Quadratplanimeter am bequemsten ist und ich habe Anweisung gegeben, daß in Zukunft diese Anordnung verwendet wird« (Ott an Walther, 3. Oktober 1932). Dabei wurde natürlich auch noch die sich rechts aus der Verwendung eines der bisherigen Instrumente ergebende, etwas ungeschickte Überkreuzung von Fahrarm und Ausleger durch Umkonstruktion beseitigt. Ferner regte Wemheuer an, für die genaue Ausrichtung des Instruments auf die x-Achse Distanzstäbe zu verwenden, wie sie auch von Amsler dessen Integratoren mitgegeben wurden (eigens herausgehoben von Ott an Walther, 30. September 1932), was ebenfalls fortan gemacht wurde.

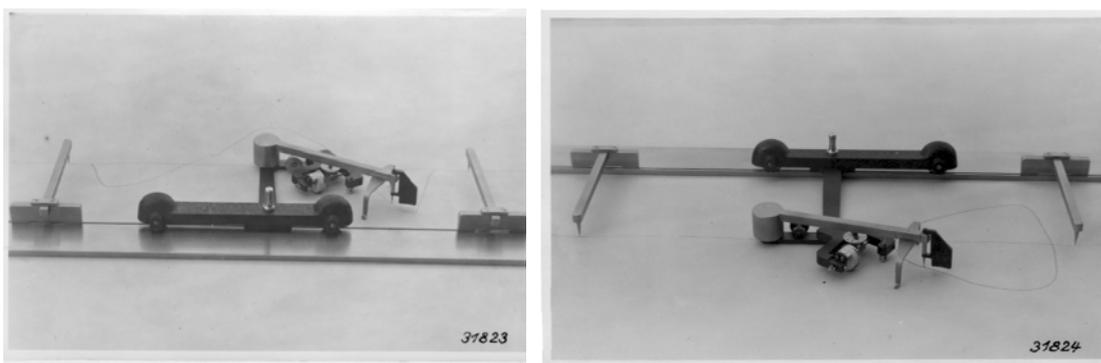


Abb. 7 u. 8: Linearquadratplanimeter Adler-Ott, Instr.-Nr. 40010, 1932; links: ursprüngliche Aufstellung; rechts: Aufstellungsvorschlag nach Wemheuer (Ott-Bilder 31823 und 31824). Beide Bilder zeigen auch schon die von Wemheuer vorgeschlagenen Distanzstäbe nach Amslerschem Vorbild.

Auch diese beiden sinnvollen Modifikationen gehören somit zu den Beiträgen, die von Walther bzw. seinen Mitarbeitern und Schülern im Zusammenwirken mit der Firma Ott geleistet wurden – hier von Kurt Wemheuer. Ott ging in einem weiteren Brief vom 3. Oktober 1932 an Walther ausschließlich und ausführlich auf die neuen Wemheuerschen Untersuchungen ein, was Walther in seiner Antwort vom 5. Oktober 1932 zu einigen kritischen Anmerkungen veranlaßte:

Uebrigens möchte ich mich ohne weiteres keineswegs mit den von Herrn Wemheuer gefundenen Ergebnissen einverstanden erklären. Herr W. hat sehr selbständig gearbeitet und ich habe die Resultate noch nicht nachgeprüft. Ich stelle mir vor, daß eine Veröffentlichung in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, auf die wir doch hinauswollen, erst aufgrund einer Ueberarbeitung von Wemheuers Bemerkungen durch Sie erfolgen sollte.

Und am 20. Oktober 1932 hakte Walther bei Ott nach: »Was meinen Sie über die etwaige Veröffentlichung einzelner Punkte der Untersuchungen von Herrn Wemheuer?« Ott antwortete, er habe »von vornherein angenommen«, daß »nach Abschluß aller Verbesserungs- und Untersuchungsarbeiten Herr Wemheuer seine Ergebnisse publiziert und es ist mir das natürlich sehr recht« (Ott an Walther, 27. Oktober 1932).

Anwendungsgebiete. Walther wies zwischenzeitlich immer wieder einmal auf mögliche neue Anwendungsbereiche hin, um Ott die Weiterentwicklung schmackhaft zu machen:

Bei dem Potenzplanimeter ergeben sich, wie ich gehört habe, noch neue Anwendungsmöglichkeiten in der Wärmetechnik. Hierüber wird Ihnen wohl Herr Adler einmal schreiben, der Ihnen ja vor kurzem einen Brief gesandt hat und jetzt sehr eifrig mit lohnenden Problemen beschäftigt ist (Walther an Ott, 19. Dezember 1930).

Aber erst nachdem gut ein Jahr seit der Lieferung des Versuchsmodells II vergangen war²⁴ bzw. ein Dreivierteljahr seit der Lieferung des Versuchsmodells III, in dessen Verlauf neben den Untersuchungen an diesem Versuchsmodell auch mehrere Vorträge Adlers zu verzeichnen waren, in denen er das Instrument vorstellte (s. u. 1.3.1), fand Ott Zeit für einen längeren Brief an Adler (vom 4. März 1931), per Adresse des Physikalischen Instituts der TH Darmstadt, der ausnahmsweise wieder Eingang in die Korrespondenz Ott/Walther fand. Neben Fragen zum Radialfunktionsplanimeter (s. u. 3) ging es dabei auch um die Gestaltung und Dimensionierung des Linearquadratplanimeters, z. B. die Größe des Auslegers und die Einrichtung für die besonderen Bedürfnisse »der Elektriker«. Auch Walther nahm sich dieser Angelegenheit an:

Mit Herrn Adler habe ich ausführlich gesprochen und hoffe, daß nunmehr die beste Ausführungsform ohne unnötige Ausladung²⁵ gefunden ist. Ich hatte nach Gesprächen mit den Kollegen Reich-Göttingen, Veesebmeyer-Stuttgart, Kutzbach-Dresden den Eindruck, daß das elektrotechnische Instrument gut einschlagen wird. Deshalb ist es auch wichtig, daß für die Veröffentlichung in der E.T.Z.²⁶ ein Klischee der endgültigen Ausführungsform vorliegt, worüber Ihnen ja wohl Herr Adler näheres geschrieben hat. Ihre Abänderungswünsche für das Manuskript sollen bei der Korrektur berücksichtigt werden, da ich das Manuskript mit kleinen Abänderungen meinerseits schon an die E.T.Z. geleitet hatte und nicht mehr weiß, wie weit sich meine Abänderungen mit den Ihren decken (Walther an Ott, 23. März 1931; zur hier erwähnten Publikation mehr in 1.3.3.1).

An jenem 23. März 1931 antwortete offenbar auch Adler an Ludwig Ott (Brief jedoch nicht in der Korrespondenz Ott/Walther enthalten), was wiederum diesen am 28. März 1931 zu einem im Briefwechsel Ott/Walther enthaltenen und nahezu ausschließlich mit dem (Linear-)»Quadratplanimeter« befaßten Antwortbrief veranlaßte:

24 Es ist nicht aus dem Briefwechsel erkennbar, ob und wann gegebenenfalls das Versuchsmodell II an die Firma Ott zurückging. Die Wemheuerschen Untersuchungen wurden sicherlich zunächst am Versuchsmodell III gemacht, auch wenn sich das nicht unmittelbar aus den mir zugänglichen Dokumenten entnehmen läßt.

25 Gemeint ist damit die Länge des Auslegers.

26 *Elektrotechnische Zeitschrift*, üblicherweise ohne Punkte zu *ETZ* abgekürzt.

Sehr geehrter Herr Adler! Für Ihren Brief vom 23. d. M. danke ich Ihnen bestens. Bitte entschuldigen Sie, wenn ich Sie noch in die Ferien verfolge.²⁷ Ein Quadrat-Planimeter nach Zeichnung No. 30139 ist nunmehr im Bau. Das Zusatzgerät für die Geradföhrung des Fahrstifts ist gemäÙ Zeichnung No. 30140 als besonderer Wagen konstruiert worden, der mit dem ersten Wagen durch eine lösbare Bröcke verkoppelt ist. Für die Bestimmung von Effektivwerten spielt dieses Zusatzgerät bzw. die Geradföhrung des Fahrstifts wohl keine Rolle, sodaÙ dessen Herstellung nicht so dringlich ist, oder doch? Ich frage mich auch, ob man besser tun wörd, das Quadratplanimeter von vornherein als Linearplanimeter auszubilden gemäÙ der rechten Seite der Zeichnung 30142, womit ich, wie meine Skizze vom 28.2.30 zeigt, von Anfang an geliebäugelt habe. Ich bin davon wieder abgekommen und habe die Sache aus dem Auge verloren, weil früher immer die Rede davon war, Kurven mit positiven und negativen Ordinaten zu umfahren. Aber bei dem Planimeter für Effektivwerte kommen Negative Ordinaten wohl nicht vor. Ihr neuer Vorschlag für die Entwicklung eines Pegelplanimeters aus der vorerwähnten Form des Wurzelplanimeters gefäÙt mir sehr gut. Die Ausführung könnte sich ungefäh so gestalten, wie auf der linken Seite der Zeichnung 30142 angegeben.– Die Fahrstablänge zu verstellen geht nicht, sondern es müÙte der Fahrstift auf dem Fahrarm verschoben werden. Trotzdem ist die Anwendung eines Zusatzgerätes für die Geradföhrung des Fahrstifts möglich. Es müÙte nur die StöÙze des Fahrarms abgeschraubt und anstelle des Fahrstifts ein Kugelzapfen eingesetzt werden, ähulich wie auf Zeichnung No. 30140 angegeben. Gerade bei Pegelplanimetern ist die Verstellbarkeit des mathematischen Fahrarms sehr wichtig, weil es vorkommt, daÙ an einer Stelle kleine Wasserstandsschwankungen in kleinem MaÙstab und an einer anderen viel gröÙere Schwankungen in gröÙerem MaÙstab dargestellt werden. Mit den besten Wünschen für frohe Feiertage Ihr ergebener
[Unterschrift] (Ludwig Ott an Adler, 28. März 1931).²⁸

Ott sandte eine Kopie dieses Schreibens an Walther (wodurch es in die Korrespondenz Ott/Walther gelangte); Walther schrieb zurück: »Ich freue mich, daÙ die Angelegenheit des Quadratplanimeters so gut vorwärts geht und habe selbst auch an Adler geschrieben« (Walther an Ott, 30. März 1931). Im Gegenzug konnte Ott gute drei Wochen später Konkretes berichten: »Von der letzten Ausführung des Quadratplanimeters füge ich hier 2 Aufnahmen²⁹ bei, eine bei Einstellung auf langen und mittleren, die andere bei ganz kurzem Fahrarm. Auf die letztere Einstellmöglichkeit bin ich erst während des Photographierens gekommen« (Ott an Walther, 23. April 1931).

27 Der Brief ist an Heinz Adler, »bei Dr. Heisler, Königsfeld, Baden« adressiert.

28 Die drei erwähnten Zeichnungen sind leider nicht im Briefwechsel Ott/Walther enthalten; die gleichfalls erwähnte Skizze vom 28.2.30 fand sich in einer unbeschrifteten Mappe und wurde als Kopie von mir in den Briefwechsel eingefügt.

29 Ott-Bilder 31812 und 31813; die Bild-Nummern sind als Anlage genannt, die Bilder aber – wie üblich – nicht in der Korrespondenzakte enthalten. Aber auch sie fanden sich erfreulicherweise an anderer Stelle (einmal mehr im Sammel-Ordner »Ott Linearquadratplanimeter«) und konnten daher als Kopien in den Briefwechsel eingefügt werden.

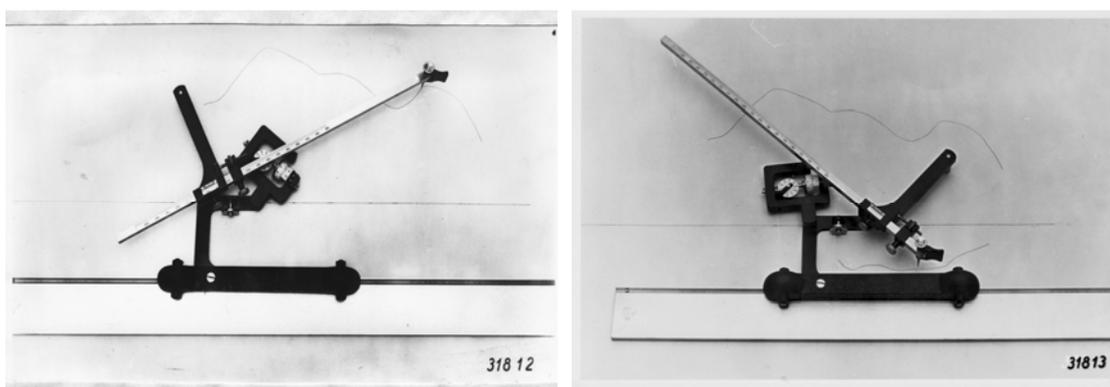


Abb. 9 u. 10: Linearquadratplanimeter *Adler-Ott*, Instr.-Nr. 25002, 1931 (Ott-Bilder 31812 und 31813), links: Aufstellung für mittlere und große Fahrarmlängen; rechts: Aufstellung für kleine Fahrarmlängen.

Das erste »richtige« Exemplar. Mit dieser (bis dahin) »letzten Ausführung« des »Quadratplanimeters« ist jetzt, wie man schon bei flüchtigen Hinsehen erkennt – und damit anders als bisher –, sogar eine Version mit *verstellbarer Fahrarmlänge* gemeint. Die von Ott erwähnte und beim Photographieren von ihm gefundene weitere Einstellmöglichkeit bezog sich auf die Vertauschung der Kugelzapfen, in die der Fahrarm bzw. der Meßrollenarm eingehängt wurden (siehe rechte Abbildung); dies ermöglichte auch kleine Fahrarmlängen (nicht jedoch unter 25 mm, was in der Praxis allerdings wohl kaum vorgekommen sein dürfte). Walther schrieb am 25. April 1931 beeindruckt zurück: »Die Fotos des Quadratplanimeters sind glänzend.«

Kurz darauf durfte er auch das Instrument selbst in Empfang nehmen: Denn am 9. Mai 1931 sandte Ott »das erste Exemplar des Potenzplanimeters für Effektivwertbestimmungen« (also des besagten Linearquadratplanimeters in der Version mit verstellbarer Fahrarmlänge)³⁰ an Walther mit der Bitte um Erprobung entweder durch das Walthersche Institut oder durch das Elektrotechnische Institut oder auch durch Heinz Adler selbst. »Falls das gesandte Planimeter Nr. 25002 sich als genau erweist und Ihren Wünschen entspricht, bitte ich, dasselbe als Stiftung für Ihr Institut zu betrachten und mir dagegen das früher gesandte kleinere Instrument wieder zurückzugeben.«³¹

30 Daß *dieses* Linearquadratplanimeter von Ludwig Ott als »das erste Exemplar« bezeichnet wird, scheint im Widerspruch dazu zu stehen, daß er wenige Zeilen später darum bittet, gegebenenfalls das »früher gesandte kleinere« zurückzugeben. Es kann also nur sein, daß er mit letzterem das Versuchsmodell III meinte, das wohl noch als Prototyp behandelt worden war und deshalb wahrscheinlich auch gar keine Instr.-Nr. erhalten hatte. Zusätzlich entscheidend war wohl auch, daß das neue, »durchkonstruierte« Instrument im Gegensatz zu den ihm vorangegangenen Versuchsmodellen I bis III eine verstellbare Fahrarmlänge besaß.

31 Hier wird erstmals die Instr.-Nr. eines Potenzplanimeters *Adler-Ott* genannt. Es erscheint mir unwahrscheinlich, daß das »kleinere« (also wohl das Versuchsmodell III) die Instr.-Nr. 25001 gehabt haben könnte (siehe vorige Fußnote); vielmehr denke ich, daß das erste »richtige« Linearquadratwurzelplanimeter, das gleichzeitig mit dem »ausgereiften« Linearquadratplanimeter in Angriff genommen, aber früher fertiggestellt und nach seiner Fertigstellung zunächst zur Firma Klinkhoff nach Wien gesandt worden war, die Instr.-Nr. 25001 getragen hat. Eine Bestätigung hierfür habe ich allerdings nicht; über die Instr.-Nr. 25001 liegt mir derzeit kein weiteres Material vor, und

Das neue Instrument wurde von einem Diagramm begleitet, das die Abhängigkeit der Noniuseinheit NE von der Fahrarmskala L bzw. von L^2 zeigte, bei einer Grundgleichung von $\int y^2 dx = f^2 u / 2000 \cdot k$ (mit f = Fahrarmlänge, u = Meßrollenumfang, k = Zahl der abgelesenen Noniuseinheiten NE), wobei Ott damals alles in cm, cm^2 und cm^3 rechnete (den Grund dafür wird man beim Linearquadratwurzelplanimeter erkennen, s. u. 1.2). Die L-Skala auf dem Fahrarm ging insgesamt wohl von ca. 30 bis 300; NE über L^2 aufgetragen ergab zwischen L von ca. 130 und 300 (nur dieses Intervall wurde gezeichnet) natürlich eine Gerade, NE über L aufgetragen zwischen L von ca. 130 und 300 ebenso natürlich eine flache Parabel; beide Kurven schneiden sich bei $L = 300$ (und theoretisch auch bei $L = 0$, falls die Fahrarmskala keinen Nullpunktfehler besitzt); die Noniuseinheit für die Benutzung als Linearquadratplanimeter ist 1 cm^3 bzw. 2 cm^3 für L ca. 180 bzw. 260 (genauer, wie sich durch Rechnung leicht bestätigt, für $L = 182.6$ bzw. $L = 258.2$), was daher auf eine mm-Teilung der Fahrarmskala zu schließen erlaubt.

Am 22. Mai 1931 teilte Walther mit, daß er nunmehr einen seiner Schüler, »Herrn Karl Geduldig,³² mit der Prüfung beauftragt« habe und daß dieser »nebenbei durch Herrn Adler angeleitet und beaufsichtigt« werde; einige Wochen später konnte Walther an Ott melden: »Die Untersuchungen von Herrn Geduldig mit dem Effektivplanimeter schreiten gut vorwärts« (Walther an Ott, 10. Juli 1931). Anfang September kamen erste konkrete Ergebnisse, die aber noch nicht zufriedenstellten: »Herr Geduldig hat eine ausführliche Ausarbeitung seiner Untersuchung des Potenzplanimeters eingeliefert. Aber es ist noch nicht alles in Ordnung, deshalb wird es noch einige Zeit dauern, bis Sie dieses Material erhalten« (Walther an Ott, 10. September 1931).

Kombinationsinstrumente. Um die weitere Geschichte abzukürzen und auch abzuschließen: Die späteren Linearquadrat- und Linearquadratwurzelplanimeter der Bauarten *Adler-Ott* (dieser Namenszusatz ist hier wichtig) wurden dann a) immer als Kombinationsinstrumente Linear-/Linearquadratplanimeter bzw. Linear-/Linearquadratwurzelplanimeter

umgekehrt ist bei den noch vorhandenen Unterlagen zum »Klinkhoff-Instrument« niemals eine Instr.-Nr. erwähnt.– Es wurde als nächstes noch ein Linearquadratplanimeter mit der Instr.-Nr. 25003 hergestellt, wie Instr.-Nr. 25002 eines mit veränderlicher Fahrarmlänge. Dieses Instrument wurde vor dem Versand zur Physikalischen Ausstellung in Paris (siehe weiter unten im Haupttext) am 22. April 1932 nochmals justiert/kontrolliert. Anschließend stellte man fest, daß man die Instr.-Nrn. von 25001 bis 26000 schon vor einiger Zeit für »Aufspanntische zum Schlittenplanimeter« reserviert hatte (bei Ott pflegte man vorweg sogenannte Nummernkreise für bestimmte Instrumentengruppen zu definieren, die dann im Lauf der Zeit durch entsprechende Instrumente *peu à peu* aufgefüllt wurden). Daraufhin wurde der neue Nummernkreis 40001 bis 42000 für die Potenzplanimeter eröffnet; konsequent, wie man bei der Firma Ott in diesen Dingen war, bekam das nächste hergestellte Potenzplanimeter dann die Instr.-Nr. 40004, und die Instr.-Nrn. 40001 bis 40003 wurden zum Andenken an die »fehlnumerierten« Potenzplanimeter mit den Instr.-Nrn. 25001 bis 25003 freigelassen.– Daß es damals aber mit den Instr.-Nrn. bei Ott insgesamt etwas drunter und drüber ging, erkennt man daran, daß die Instr.-Nr. 25003 auch schon für ein sogenanntes »korrigiertes Radialplanimeter« (also mit Kurvensteuerung für krummlinige Polarkoordinaten mit Nulllinie) vergeben worden war, wie man z. B. auf dem Ott-Bild 31215 erkennt, das u. a. in der DRGM-Anmeldung für diese Art von Planimetern im November 1930 verwendet wurde.

32 Die naheliegende Bemerkung, Herr Geduldig werde bei dieser Prüfung hoffentlich »seinem Namen Ehre machen und recht gründlich vorgehen«, ließ Walther sich nicht nehmen.

unter den Typenbezeichnungen Ott 170 bzw. Ott 160 hergestellt und kehrten b) zu unveränderlichen Fahrarmlängen zurück. Die Kombinationsidee stammt offenbar originär von Ludwig Ott (s. o., Brief von Ott an Adler vom 28. März 1931), der für das Linearquadratplanimeter sogar die Simultanmessung von $\int f(x) dx$ und $\int f(x)^2 dx$ in *einem* Arbeitsgang anstrebte (was schon im Brief von Ott an Walther, 18. Februar 1930, niedergelegt worden war), wozu auch physisch *zwei* Meßrollen notwendig waren – eine Version, die anfangs beim Linear-/Linearquadratplanimeter auf Kundenwunsch tatsächlich lieferbar war und bald darauf zum Regelfall wurde. Wie man weiter oben gesehen hat, war selbst die Konstruktionsskizze Hermann Otts vom 25. Januar 1930 bereits daraufhin angelegt worden. Eine frühe und eine spätere Ausführungsform eines solchen kombinierten (besser: simultanen) Linear-/Linearquadratplanimeters zeigen die folgenden beiden Abbildungen:

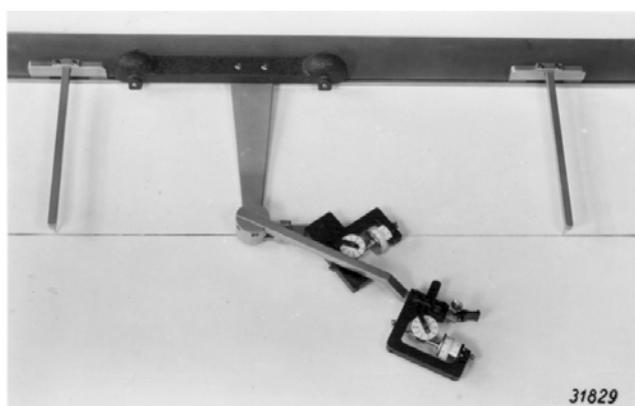


Abb. 11: Kombiniertes Linear-/Linearquadratplanimeter Adler-Ott, Instr.-Nr. des Meßwerks am Fahrarm: 22489 (daher wohl – zweckentfremdet – aus einem Ott-Universalplanimeter stammend), um/vor 1934 (Ott-Bild 31829).



Abb. 12: Kombiniertes Linear-/Linearquadratplanimeter Ott 170, Instr.-Nr. 40548, 1956 (Ott-Bild R31852).

Beim Vergleich des jüngeren Linearquadratplanimeters mit dem von ihm benutzten Teil des Quadriermechanismus – also im wesentlichen nur des Schleifkurbeltriebs mit dem gleichschenkligen Dreieck – erfährt man aus den wenigen bekanntgegebenen Maßen, daß $a = 20$ cm ist (b spielt für die Winkelverdopplung – und nur sie wird fürs Quadrieren benötigt – keine Rolle, und c muß nur so, daß $2c \leq a$ ist, gewählt werden, was in der Tat mit $c = 5$ cm erfüllt ist). Diese Wahl von a (es entspricht der Fahrarmlänge f) im Quadriermechanismus in Verbindung mit einem für beide Meßrollen gleichen Meßrollenumfang u von genau 6.25 cm führt zu den Noniuseinheiten $NE_1 = f \cdot u/1000 = 0.125$ cm² für die Verwendung als Linearplanimeter und $NE_2 = f^2 \cdot u/2000 = 1.25$ cm³ für die Verwendung als Linearquadratplanimeter. Ältere Vorgängerinstrumente (in der Regel solche, die vor 1945 hergestellt wurden) hatten noch NE von 0.1 cm² und 0.8 cm³, woraus man leicht $u = 6.25$ cm und $f = 16$ cm, also einen gegenüber den jüngeren Instrumenten kürzeren Fahrarm, errechnet.

1.2. Das Linearquadratwurzelplanimeter Adler-Ott, 1930 ff.

Vom Quadrieren zum Wurzelziehen. Im Zusammenhang mit der Übersendung des Versuchsmodells II für das Linearquadratplanimeter am 8. Februar 1930 stellte Ludwig Ott die weitere Frage an Walther, ob nicht auch

für das in der Meßtechnik nicht selten vorkommende $\int \sqrt{y} dx$ ein verhältnismäßig einfaches Planimeter gebaut werden könnte. Ich habe wiederholt Nachfrage nach solchen Planimetern zum Auswerten der Streifen von Venturimetern gehabt und auch einmal ein Modell (mit einer Kurvenbahn) für die Wassermesserfabrik Bopp & Reuther-Mannheim, gebaut, dann aber die Sache liegen lassen, weil es dieser Firma mittlerweile gelungen war, lineare Diagramme zu schreiben.³³ In England und Amerika gibt es aber noch verschiedene Registrierungsapparate mit quadratischer Teilung. Vielleicht findet Ihr Herr Adler auch für diese Aufgabe eine elegantere Lösung als sie bisher bekannt sind.

Die Ergänzung des Quadriermechanismus zum Radziermechanismus. In einer zumindest im Briefwechsel Ott/Walther leider nicht erhaltenen Antwort skizzierte Adler offensichtlich rasch die (bei der in 1.1 gegebenen Darstellung des Prinzips schon gestreifte) einfache Ergänzung des Quadriermechanismus zu einem Radziergetriebe, so daß Ludwig Ott nur wenig später in einem Brief an Walther vom 18. Februar 1930 darüber seine Zufriedenheit ausdrücken konnte (und auch einen Brief – derzeit ebenfalls unbekanntes Inhalts – an Adler beilegte). Walther zeigte sich angetan, daß die »Entwicklung bei dem Momentenplanimeter [...] jetzt ein geradezu stürmisches Tempo angenommen« habe (Walther an Ott, 21. Februar 1930), kritisierte aber in diesem Zusammenhang die Bezeichnung als »Momentenplanimeter«. In Otts Antwort darauf fällt beiläufig der künftig von Ott, Walther und anderen benutzte neue Name:

33 In der Tat haben sich Unterlagen (Musterdiagramme der Firma Bopp & Reuther, Instrumentenentwürfe, Berechnungen usw.) von Ludwig Ott aus dem Zeitraum Dezember 1920 bis Januar 1921 hierzu in Form von »fliegenden Blättern« erhalten.

Ich habe in letzter Zeit viel an der zweckmäßigen Konstruktion des Potenzplanimeters³⁴ herumgeknobelt und glaube nunmehr zu einem gewissen Abschluß gekommen zu sein. Jedenfalls wird jetzt je ein Instrument für [die Potenzen] »1/2« und »2« gebaut, mit denen dann weitere Versuche angestellt werden können (Ott an Walther, 15. März 1930).

Im Gegenzug schrieb Walther zurück: »Durch Herrn Adler bin ich über die von ihm erzielten Fortschritte, die er Ihnen mitgeteilt hat, auf dem Laufenden gehalten worden und freue mich sehr darüber« (Walther an Ott, 26. März 1930). Wegen hoher Arbeitsbelastung Ludwig Otts trat jedoch kurz darauf eine gewisse Verzögerung bei der Weiterverfolgung der Potenzplanimeter ein, die Walther zunächst noch verständnisvoll kommentierte: »Natürlich verstehe ich es unter diesen Umständen vollständig, daß es mit dem Potenzplanimeter für den Augenblick sehr langsam vorwärts geht« (Walther an Ott, 16. Mai 1930).

Zum Linearquadratwurzelplanimeter. Um aus der Funktion $Y(x)$ eine Funktion $y(x) = K \cdot \sqrt{Y(x)}$ herzustellen und dann darüber zu integrieren, geht man von der für jedes normale Linearplanimeter geltenden Beziehung $y = f \sin \sigma$ aus (f ist die Fahrarmlänge, σ der Winkel des Fahrarms gegen die x -Achse, die Bezugsachse des Instruments). Wäre dann $Y = f(1 - \cos 2\sigma) = 2f \sin^2 \sigma = 2y^2/f$, so ergibt die Auflösung nach y

$$y = \frac{f}{\sqrt{2f}} \sqrt{Y}$$

(es ist also hier die Konstante $K = f/\sqrt{2f}$). Daß $Y = f(1 - \cos 2\sigma)$ wird, führt man durch den eingangs beschriebenen Quadrier- bzw. Radizier-Mechanismus herbei; dazu betrachtet man dort die von E_1 bis zur Geraden AB führende »Reststrecke« $b - Y$, sieht, daß sie gleich $b \cos 2\alpha$ ist, also $Y = b(1 - \cos 2\alpha)$ gilt, und hat dann nur noch die Bezeichnungen passend auszuwechseln: $a, b \rightarrow f$ und $\alpha \rightarrow \sigma$. (In konkreten Instrumenten ist in der Regel $a \neq b$, was sich jedoch nur auf K auswirkt bzw. benutzt werden kann, um K einen »schönen« Wert zu geben.)

Das Versuchsmodell I zum Linearquadratwurzelplanimeter. Auch zum Linearquadratwurzelplanimeter gab es Versuchsmodelle. Versuchsmodell I, dessen Photographie handschriftlich mit »1. Ausführung / ungünstige Belastungen« bezeichnet wurde,³⁵ kam dafür aber der späteren kommerziellen Form schon sehr nahe:

34 Diese im Haupttext ja schon mehrmals verwendete Bezeichnung (eigentlich eine *Gattungsbezeichnung*, die jedoch in der Anfangsphase von den Briefpartnern unterschiedslos für Gattungen und Arten gebraucht wurde) muß wohl während des Besuchs von Adler bei Ott »erfunden« worden sein; jedenfalls schreibt Walther am 7. März 1930 an Ott: »[...] den Namen finde ich ausgezeichnet.«

35 Im Sammel-Ordner »Ott Linearquadratwurzelplanimeter«.

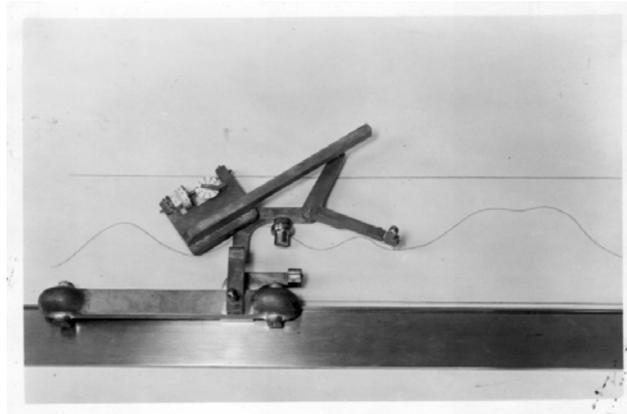


Abb. 13: Versuchsmo­dell I zum Linearquadratwurzelplanimeter Adler-Ott (Ott-Bild, ohne Nr.).

Das Versuchsmo­dell II zum Linearquadratwurzelplanimeter. Als Versuchsmo­dell II zum Linearquadratwurzelplanimeter ist diejenige Konfiguration des Versuchsmo­dells III zum Linearquadratplanimeter (s. o.) zu werten, die es auch als Linearquadratwurzelplanimeter zu betreiben gestattete:



Abb. 14: Versuchsmo­dell II zum Linearquadratwurzelplanimeter Adler-Ott (Ott-Bild, handschriftlich »5.« auf Rs.), d. h. identisch mit dem »universellen« Versuchsmo­dell III zum Linearquadratplanimeter Adler-Ott in der entsprechenden Konfiguration als Linearquadratwurzelplanimeter.

Auch hier: Das erste »richtige« Linearquadratwurzelplanimeter. »Jedenfalls wird jetzt je ein Instrument für $\sqrt{1/2}$ und $\sqrt{2}$ gebaut, mit denen dann weitere Versuche angestellt werden können«, hatte Ott – wie schon zitiert – am 15. März 1930 an Walther geschrieben. Das kann wohl nichts anderes heißen, als daß parallel zum ersten »richtigen« Linearquadratplanimeter (s. o. 1.1) auch das erste »richtige« und nicht mehr nur als Versuchsmo­dell anzusehende Linearquadratwurzelplanimeter hergestellt wurde:

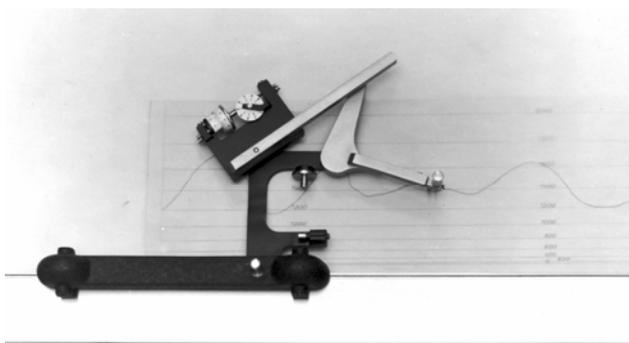


Abb. 15: Erste »richtige« Ausführung des Linearquadratwurzelplanimeters Adler-Ott; Instr.-Nr. vermutlich 25001, (≤?) Oktober 1930 (Ott-Bild 3188).

Anders als beim Linearquadratplanimeter wurde hier jedoch zunächst *nicht* der Lehrstuhl Walther mit der Erprobung beauftragt, sondern die Firma Klinkhoff in Wien. Am 18. November 1930 schrieb Ott an Walther: »Potenzplanimeter Adler-Ott. Abgesehen von der Lieferung des Musterinstrumentes [für das Linearquadratwurzelplanimeter. JF] an eine Wiener Firma hat diese Angelegenheit geruht. Es sind insbesondere noch keine Abbildungen und Drucksachen hergestellt.« Das Instrument war also wohl spätestens im November 1930 nach Wien gesandt worden (während Walther *sein* »richtiges«, aber wegen des verstellbaren Fahrarms und der zwei simultan arbeitenden Meßrollen etwas komplexeres Linearquadratplanimeter erst im Mai 1931 erhielt, s. o. 1.1). Zu einem derzeit unbekanntem, späteren Zeitpunkt kam es jedoch zur Firma Ott zurück und gelangte dann schließlich zu Walther, wo es sich nachweislich im Frühjahr 1932 befand (s. u. 1.3.4). Ott bat ihn damals darum, es für eine Ausstellung in Paris im Mai 1932 ausleihen zu dürfen, kündigte aber anschließend an:

Das Wurzelplanimeter muß dann gleich an die landwirtschaftliche Versuchsanstalt in Großbeeren weiter, weil ich von dort eine Anfrage habe und man das Instrument vor Ankauf gerne sehen und probieren möchte. Wenn es wieder zurückkommt, werde ich es Ihnen zur Verfügung stellen, wenn es aber behalten wird, dann kann ich Ihnen leider vorerst kein anderes senden, denn wegen der Stilllegung des Betriebs kann gegenwärtig eine Neuanfertigung nicht in Frage kommen (Ott an Walther, 1. August 1932).

So kam es auch:

Das einzige bis jetzt gefertigte Instrument, das zuerst bei Ihnen war³⁶ und dann in Paris ausgestellt worden ist, ist nach einigen Änderungen an die Landwirtschaftliche Versuchsanstalt in Großbeeren verkauft worden. Ich schrieb Ihnen über diese Möglichkeit am 1.8.32. Neuere photographische Aufnahmen Nr. 31816-17-18-19-20-

36 Nun, nicht ganz: Wir wissen ja, daß es zuerst zur Firma Klinkhoff nach Wien gegangen war, aber sicherlich zu einem (derzeit allerdings noch) unbekanntem Zeitpunkt wieder zu Ott und von dort zu Walther gelangt war.

21 und 22 dieses Planimeters füge ich hier bei.³⁷ Es sind so viele Aufnahmen gemacht worden um allmählich herauszubringen, wie sich das Instrument für ein Klischee am besten repräsentiert.– Soeben ist eine Anfrage der I. G. Farben-Ludwigshafen nach einem Wurzelplanimeter bei mir eingelaufen, das heißt ein Ersuchen, ihnen ein solches zum Ausprobieren kostenlos zur Verfügung zu stellen, für Diagramme von 48 cm Länge und 20 cm Höhe. Ich werde für diese Streifenbreite eine neue Zeichnung machen und ein Muster herstellen lassen um dieser Anfrage Genüge leisten zu können. Gelegentlich werde ich auch Ihrem Institut wieder ein Wurzelplanimeter zur Verfügung stellen, nur bitte ich um etwas Geduld (Ott an Walther, 20. Dezember 1932).

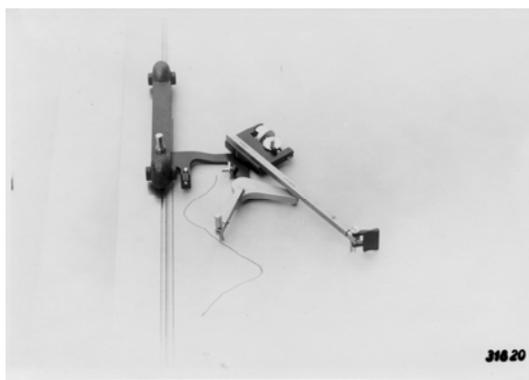
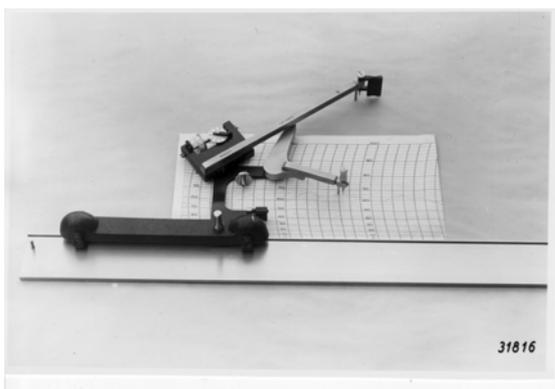


Abb. 16 u. 17: Nochmals: Erste »richtige« Ausführung des kombinierten Linear-/Linearquadratwurzelplanimeters Adler-Ott (Ott-Bilder 31816 und 31820, aufgenommen zwischen August und Dezember 1932; vgl. Ott an Walther, 20. Dezember 1932).

Und auch hier: Kombinationsinstrumente. Wie schon in 1.1 erwähnt, wurden die Linearquadrat- bzw. Linearquadratwurzelplanimeter *Adler-Ott* anschließend immer als Kombinationsinstrumente mit einem normalen Linearplanimeter hergestellt. Anders aber als beim kombinierten Linear-/Linearquadratplanimeter konnte beim kombinierten Linear-/Linearquadratwurzelplanimeter *keine* Simultanmessung von $\int f(x) dx$ und $\int \sqrt{f(x)} dx$ in *einem* Arbeitsgang verwirklicht werden, sondern es war für das Integral $\int \sqrt{f(x)} dx$ ein eigener Arbeitsgang und dabei die Verwendung des zweiten, gewinkelten Fahrarms erforderlich:

37 Zwei davon, die Bilder 31816 und 31820, sind (mir) als Abzüge erhalten und folgen im Haupttext als Abbildungen.

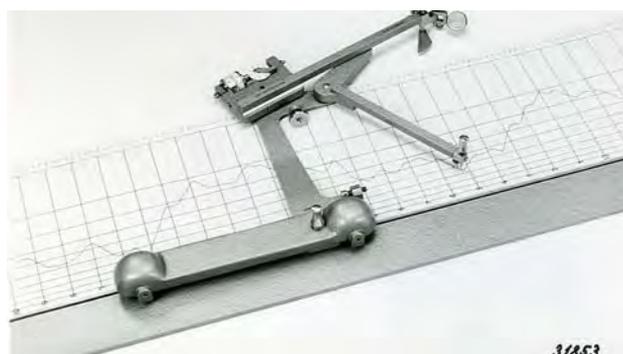


Abb. 18: Kombiniertes Linear-/Linearquadratwurzelplanimeter Ott 160, Instr.-Nr. 40677, um 1957 (Ott-Bild 31853).

Dimensionierung. Es lohnt sich auch hier, einen Blick auf die Dimensionierung von Meßrollenumfang u und Fahrarmlängen f zu werfen. Aus der Rollenablesung U (gemessen in ganzen Rollenumdrehungen und Teilen) soll – analog zur Theorie des »normalen« Linearplanimeters – durch einfache Multiplikation mit einer möglichst »runden« Zahl der Integralwert erhalten werden können. Am Beispiel des (mit der letzten Abbildung vergleichbaren) Instruments Ott Typ 35.001, Instr.-Nr. 130473, um 1970,³⁸ läßt sich dies gut illustrieren (und gibt auch die Möglichkeit, bei fehlenden Unterlagen die ursprünglich angestrebten Werte zu rekonstruieren): Die Länge des »normalen« Fahrarms (ihm entspricht AE_2 im Radizier-Mechanismus) beträgt $f = 166\frac{2}{3}$ mm; er wird benutzt, wenn das Instrument als Linearplanimeter eingesetzt wird. Bei einem Meßrollenumfang u von genau 60 mm ergibt sich also für $U = 1$ eine Flächeneinheit FE von $f \cdot u = 10000 \text{ mm}^2 = 100 \text{ cm}^2$. Die Länge f des Sekundärarms (also des Arms BE_1 im Radizier-Mechanismus), der bei der Benutzung als Linearquadratwurzelplanimeter als Fahrarm fungiert, beträgt 125 mm. Dieser Fahrarm ist bei der Berechnung der absoluten »Flächeneinheit« FE zu betrachten, wenn das Instrument als Linearquadratwurzelplanimeter benutzt wird (FE ist wiederum das Maß, dem eine Rollenumdrehung $U = 1$ entspricht; es handelt sich aber nun, von den Dimensionen her gesehen, nicht mehr um eine Fläche im engeren Sinn, deren Inhalt hier ermittelt wird). Der Meßrollenumfang u ist natürlich weiterhin der gleiche, also genau 60 mm, da das gleiche Meßwerk, nur mit anderer Ansteuerung, benutzt wird; für den nun geltenden Faktor $u \cdot \sqrt{2f}$ ergibt sich damit $948.683 \text{ mm}^{3/2}$. Die zugehörige NE beträgt ein Tausendstel davon, also $0.948683 \text{ mm}^{3/2}$, was immer noch nicht besonders »rund« aussieht. In $\text{cm}^{3/2}$ ausgedrückt, also durch $10\sqrt{10}$ dividiert, wird das jedoch anders, denn dann ist die NE $0.948683 : 10\sqrt{10} \text{ cm}^{3/2} = 0.03 \text{ cm}^{3/2}$. Das sieht schon »runder« aus; rechnet man daher vorteilhafterweise (oder zur Kontrolle) nun doch

38 35.001 war die Bezeichnung, die das früher 160 genannte kombinierte Linear-/Linearquadratwurzelplanimeter nach der Einführung einer Art Dezimalklassifikation der Ottischen Modellnummern (begonnen ab 1966, halbwegs konsequent ab 1968 durchgeführt) erhielt.– Das konkrete Instrument befindet sich in Privatbesitz.

gleich mit cm als Längeneinheit, so wird die absolute FE von $u \cdot \sqrt{2f}$ sofort und problemlos zu $6 \cdot \sqrt{(2 \cdot 12.5)} \text{ cm}^{3/2} = 6 \cdot \sqrt{25} \text{ cm}^{3/2} = 30 \text{ cm}^{3/2}$, die absolute NE (weil 1/1000 der FE) also zu $0.03 \text{ cm}^{3/2}$ – dem angestrebten runden Wert.

1.3. Vermarktungsbemühungen

Wie erwähnt, hatte es vor 1930 unter den Bezeichnungen Momentenplanimeter oder Integratoren schon Instrumente anderer Hersteller zur Ermittlung von $\int f(x)^n dx$ zwischen zwei gegebenen Grenzen und für ausgewählte Werte von n gegeben; simultan messende Geräte für die natürlichzahligen Potenzen bis $n = 2$ (*Amsler, Dennert & Pape*) bzw. bis 3 und bis 4 (*Amsler, Coradi*) mit jeweils n Meßrollen waren um 1930, zum Teil schon seit Jahrzehnten, kommerziell verfügbar. Für die spezielle gebrochene Potenz $1/2$ hatte es nur vereinzelte Sonderanfertigungen gegeben, die meist von Steuerkurven Gebrauch machten; alle diese Instrumente waren jedoch verhältnismäßig aufwendig und dementsprechend teuer. Die neuen Potenzplanimeter für $n = 2$ bzw. $n = 1/2$ der Bauart *Adler-Ott* waren zwar deutlich einfacher in ihrer Konstruktion und damit auch preiswerter, mußten sich ihre Abnehmer aber erst noch suchen. Die zu Beginn der 1930er Jahre allenthalben weiterhin spürbaren Auswirkungen der Weltwirtschaftskrise machten Bemühungen um neue Kunden nicht einfacher. Mit Vorträgen und Vorführungen, mit Ausstellungen sowie durch Anzeigen und Publikationen kam man anfangs zwar langsam, später aber doch mit gutem Erfolg voran.

1.3.1. Vorträge und Vorführungen, 1930–1931

Adler, 12. Juli 1930. Am Samstag, dem 12. Juli 1930, stellte Heinz Adler anlässlich eines Besuchs von Otto Toeplitz (1881–1940)³⁹ mit Studierenden der Universität Bonn beim Waltherschen »Lehrstuhl für / Prakt. Mathematik / Techn. Hochschule / Darmstadt«⁴⁰ als zweiter Vortragender der Veranstaltung »Ein neues Potenzplanimeter« vor: »Herr Adler hat ganz ausgezeichnet gesprochen. Toeplitz sagte mir, daß er durch Adler zum ersten Mal das Planimeter wirklich verstanden habe. Die neuen Instrumente erregten große

39 Prof. Dr. Otto Toeplitz war 1928 als Nachfolger von Eduard Study nach Bonn berufen worden, nachdem er in den 15 Jahren davor an der Christian-Albrechts-Universität Kiel zunächst als außerordentlicher, dann als ordentlicher Professor gewirkt hatte. Neben seinen bis heute bekannten Leistungen in der Mathematik ist seine Rolle als Mitbegründer der *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik* (zusammen mit Otto Neugebauer und Julius Stenzel) und der *Mathematisch-Physikalischen Semesterberichte* (zusammen mit Heinrich Behnke) zu erwähnen. Seine Affinität zur Mathematikgeschichte ließ ihn zum Verfechter der »genetischen« Lehrmethode werden, in der die Vermittlung des Stoffs der historischen Entwicklung folgt. Wegen seiner jüdischen Herkunft wurde er 1935 zwangsemeritiert; 1939 gelang ihm in letzter Minute die Auswanderung nach Palästina, wo er ein Jahr später in Jerusalem verstarb. Sein mathematikhistorisches Hauptwerk Toeplitz, *Entwicklung*, 1949, konnte erst postum erscheinen.

40 Eines der frühesten Auftreten dieser Lehrstuhl-Bezeichnung auf einem Stempel (und zeitlich deutlich vor der Erstverwendung auf Briefbögen); hier auf einem von Walther (ebenfalls per Stempel) unterzeichneten Vortragsprogramm für den besagten 12. Juli 1930 (im Briefwechsel Ott/Walther).

Bewunderung« (Walther an Ott, 1. August 1930). Knapp drei Monate später konnte Hermann Ott Photographien »für die endgültige Ausführung des Potenzplanimeters und Wurzelplanimeters« an Walther senden (Hermann Ott an Walther, 27. Oktober 1930).⁴¹ Neugierig fragte Walther daraufhin an Ludwig Ott zurück:

Haben Sie schon einen Reklamezettel oder dgl. für die Adlerschen Instrumente gedruckt? Adler hatte Ihnen ja s. Zt. einen Entwurf dazu geschickt. Ich würde Ihnen dann auch ein paar Adressen nennen, an die ein solcher Zettel zweckmäßig gesandt wird. Ferner möchte ja dann ein Aufsatz über die Adlerschen Instrumente in der Zeitschrift für Instrumentenkunde und vielleicht auch in Zeitschriften erscheinen, die für die Anwendungen der Instrumente in Frage kommen (Walther an Ott, 7. November 1930).

Doch »[a]bgesehen von der Lieferung des Muster-Instruments [für das Linearquadratwurzelplanimeter. JF] an eine Wiener Firma hat diese Angelegenheit geruht. Es sind insbesondere noch keine Abbildungen und Drucksachen hergestellt«, mußte Ott daraufhin bekennen (Ott an Walther, 18. November 1930).

Adler (?), Januar oder Februar 1931. Am 10. Februar 1931 widmete Walther einen ganzen Brief an Ott ausschließlich dem Thema der (Linear-)Potenzplanimeter, nachdem eine

Vorführung im Elektrotechnischen Institut geradezu Entzücken erregt hat. Die Elektrotechniker werden nach ihrer Meinung von ihm für das Bestimmen von Effektivwerten (quadratischen Mittelwerten) großen Vorteil und Zeitersparnis haben. Vielleicht ist dies einer der Punkte, wo man eine wirksame Propaganda für das Instrument ansetzen lassen sollte. [...] Wahrscheinlich liegt bei den elektrotechnischen Anwendungen ein Gebiet vor, bei dem wir ganz unabhängig von etwaigen weiteren Verbesserungen und Vervollkommnungen bald mit Veröffentlichungen beginnen können.

Es ist anzunehmen, jedoch nicht aus dem Briefwechsel ersichtlich, daß diese Vorführung – deren genaues Datum nicht genannt wird – von Heinz Adler bestritten wurde (daher das Fragezeichen zu Anfang dieses Absatzes), zu diesem Zeitpunkt jedenfalls aber immer noch mit dem beim Lehrstuhl Walther befindlichen Versuchsmodell III des Linearquadratplanimeters.

Adler, 20. Februar 1931 u. ö. Eine erneute Gelegenheit zur Vorführung des Potenzplanimeters für $n = 2$ (weiterhin in Form des Versuchsmodells III) ergab sich, wie Walther berichtete, am Abend des 20. Februar 1931

41 Auch wenn es dann noch bis zum Mai 1931 dauern sollte, bis das erste »richtige« Linearquadratplanimeter Walther erreichte, war man offenbar schon im Oktober 1930 bei der Firma Ott mit den Messungen an diesem Instrument befaßt, wie interne Unterlagen an anderer Stelle belegen. Gleiches gilt für das erste »richtige« Linearquadratwurzelplanimeter, das allerdings schon im November 1930 zur Erprobung an die Firma Klinkhoff in Wien gesandt wurde (s. o. 1.1), später aber auch zu Walther gelangte.

im Rahmen meiner Übungen zur praktischen Mathematik in unserem Elektrotechnischen Institut [...]. Bei dieser Gelegenheit wird Herr K[lingelhoeffer] zur Analyse der gefundenen Kurve den harmonischen Analysator Mader-Ott vorführen und Herr Adler zur Bestimmung der Effektivwerte das Quadratplanimeter (Walther an Ott, 20. Februar 1931),

wozu Ott nachträglich seiner Hoffnung auf einen erfolgreichen Verlauf Ausdruck gab (Ott an Walther, 28. Februar 1931). Das war offenbar der Fall:

Der Vortrag im Elektrotechnischen Institut war sehr wohl gelungen und hat zweifellos stark für Praktische Mathematik und für Ihre Instrumente⁴² geworben. Herr Adler wurde dann noch mehrmals ins Elektrotechnische Institut nach Stellen gebeten, die den Vortrag nicht gehört hatten, aber das Potenzplanimeter gerne sehen wollten. Ich hoffe, noch diese Woche mit Herrn Adler zusammen dessen Veröffentlichung für die ETZ fertig machen zu können (Walther an Ott, 3. März 1931).

Doch es sollte noch fast ein Dreivierteljahr vergehen, bis der Artikel in der *ETZ* erschien (s. u., 1.3.3.1).

1.3.2. Patent- und Gebrauchsmuster-Schutz, 1930 ff.

Gesetzlicher Schutz als Thema. Mitte November 1930 tauchte auch – ausgehend von einer Gebrauchsmusteranmeldung für Radialplanimeter mit besonderem Tisch (s. u. 3) – das Thema des gesetzlichen Schutzes für die zusammen mit Adler entwickelten Geräte auf:

Ich [...] denke, daß es gut sein wird, das auch für das Radialplanimeter mit gekrümmtem Fahrarm und für die Adler-Ott Potenz-Planimeter zu tun. Wie der Schutzanspruch sein müßte, weiß ich allerdings noch nicht recht, da ein Gebrauchsmuster nicht, wie ein Patent, ein von der Materie losgelöstes Prinzip umfassen kann, aber die Lösung wird sich finden (Ott an Walther, 18. November 1930).

Was sich rascher als diese Lösung fand, war Walthers Zustimmung: »Ebenso wie Sie und Herr Adler bin auch ich der Ansicht, daß es gut sein wird, sich für alle die neuen Instrumente gesetzlichen Schutz zu verschaffen. Nun wird es ja bald 1 Jahr, seit bei meinem Besuche bei Ihnen der erste Anstoß zur Schaffung der neuen Instrumente erfolgte« (Walther an Ott, 28. November 1930).

Das dürfte auch ganz im Sinne Adlers gewesen sein, von dem eingangs ja schon berichtet wurde, daß er sein Instrument zur »mechanischen Verwirklichung des Rung[e]schen Schemas und ähnlicher Verfahren bei der harmon. Analyse«, das *vor* der Adlerschen Verbindung zu Ott entwickelt und in einem Prototyp hergestellt worden war, zum Patent angemeldet habe. Auch wenn von einer diesbezüglichen Patenterteilung keine Nachricht vorhanden ist, sieht man jedenfalls daraus, daß Adler durchaus in Kategorien

42 Denn nicht nur das Versuchsmodell III zu den Potenzplanimetern, sondern auch der Harmonische Analysator am Lehrstuhl Walther stammte von der Firma Ott (Bauart Mader), von einer ganzen Reihe von zwischenzeitlich erworbenen Planimetern einmal ganz abgesehen.

des Schutzes (und sicher auch der möglichen anschließenden Vermarktung bzw. Kapitalisierung) seiner Erfindungen dachte.

Gebrauchsmuster statt Patente. Die Erfahrung hatte Ludwig Ott gelehrt, daß es mühsam (und dann doch nicht immer lohnend) sein konnte, Patente zu erlangen, wohingegen die Anmeldung von Gebrauchsmustern mehr oder weniger per Brief mit einer entsprechenden Beschreibung erfolgte und die Eintragung nahezu »postwendend« – nach einer kurzen Sichtung – vom Patentamt bestätigt wurde. Gebrauchsmuster besaßen (und besitzen) eine geringere rechtliche Qualität und haben, anders als Patente, nicht den Status einer Erfindung; sie konnten zu den fraglichen Zeiten außerdem nur auf drei Jahre mit einmaliger Verlängerungsmöglichkeit um weitere drei Jahre angemeldet werden. Typische in früheren Jahren von der Firma Ott angemeldete Gebrauchsmuster waren z. B. eine Lehre für die richtige Einstellung der Polnadel eines Planimeters mit sogenanntem Nadelpol, verbunden mit einer Schraubendreherklinge als Werkzeug (DRGM⁴³ 405243, geschützt ab dem 9. Dezember 1909), oder die Formgebung eines Planimeterretuis mit Aussparungen für eine Nadelbüchse (mit Ersatznadeln für den Nadelpol), ein Kontrollineal etc. (DRGM 408044, »Etui für Kompensationsplanimeter mit Raum zur Unterbringung von Reparaturteilen«, geschützt ab dem 14. Januar 1910, nach drei Jahren nicht verlängert) – nette und nützliche Einfälle allesamt, aber eben auch nur typische Gebrauchsmuster.

Erste Spannungen. In einem Brief Walthers vom 25. April 1931 kommen erste Spannungen zwischen Ott und Adler zur Sprache:

Adler hat mir jetzt Kenntnis von seiner geschäftlichen Auseinandersetzung mit Ihnen gegeben. Sein Hauptgrund war wohl der, daß er sich durch die großzügigen Geschenke, welche Sie ihm mehrmals zu seiner Förderung gemacht haben, etwas bedrückt und unfrei Ihnen gegenüber fühlte und klare Verhältnisse schaffen wollte. Ob es richtig war, dies von vornherein schriftlich zu tun und sich nicht vorher mündlich mit Ihnen zu verständigen, bezweifle ich. Es macht mich eigentlich etwas traurig, daß dadurch in das ideale Verhältnis Ihrer Firma zu meinem Institut dieser geschäftsmäßige Ton hereingekommen ist. Hoffentlich sind Sie nicht verstimmt. Adler hat da einen Bekannten im Ruhrgebiet, welcher ihm wahrscheinlich die geschäftlichen und juristischen Feinheiten souffliert hat, sodaß aus den Briefen an Sie vielleicht gar nicht so sehr Adler selbst, sondern dieser Bekannte spricht. Ich habe jedenfalls Adler etwas ins Gewissen geredet und ihm die ungeheuren ideellen Vorteile vor Augen geführt, die er bisher schon aus Ihrem freundlichen Eingehen auf seine Ideen gehabt hat und die sich materiell überhaupt nicht aufwiegen lassen.

Aus dem Kontext erschließt man, daß es mindestens um Geld, möglicherweise um eine Diskussion über die Anmeldung/Nichtanmeldung von Patenten gegangen sein könnte (aus Gebrauchsmustern war in der Regel »kein Geld zu holen«; hier überwog die temporäre Schutzfunktion vor Nachahmungen, Kopien usw.).

Neue Spannungen. Das Verhältnis zwischen Ott und Adler schwankte immer wieder, trotz der fachlich erfolgreichen Zusammenarbeit. In der Mitte des Jahres 1932 kam es

43 Deutsches Reich Gebrauchs-Muster, gelegentlich auch D.R.G.M. abgekürzt.

erneut zu Spannungen, die mangels direkter Quellen in ihren genauen Anlässen wiederum nur erahnt werden können. Damals ging es um die »Erweiterung« des Linearquadratplanimeters zum Linearkubikplanimeter (also einem Linearpotenzplanimeter für Trägheitsmomente; zum Inhaltlichen s. u. 2). Adler hatte hierzu erste Vorschläge gemacht, die allerdings entweder schon ihm selbst zu kompliziert erschienen oder die bereits beschrittenen Wege verließen. Hinzu kam, daß im April 1932 Paul Werkmeister auf Ott zugekommen war und seinerseits Vorschläge dazu unterbreitet hatte, die Ott – anders als die von Adler gemachten – verwirklichtbar erschienen. Wengleich Walther in dieser Situation die Fahne Adlers hochhielt, was mögliche Prioritätsansprüche anbetraf, sah Ott die Angelegenheit anders.

Wohl ausgehend von einem Brief Adlers an Ott (nicht im Briefwechsel enthalten) kam es daher anscheinend zu einem Zerwürfnis »mittlerer Größenordnung«, wie ich es einmal nennen möchte:

Die Angelegenheit des Potenzplanimeters für Trägheitsmomente scheint sich von der Seite von Herrn Adler aus ziemlich unerfreulich zu entwickeln nach einem Briefe, den er mir geschrieben hat. Da er darin mitteilt, daß er mit Ihnen unmittelbar in Verbindung getreten ist, möchte ich für den Augenblick nichts unternehmen, ohne von Ihnen neue Nachricht zu haben. Meine Einstellung kennen Sie ja aus meinem vorletzten Briefe (Walther an Ott, 1. Juni 1932; die Einstellung Walthers war positiv für Adler).

Dazu kam umgehend Otts Antwort, die äußerst kurz und knapp ausfiel: »Herr Adler. Ich übersende Ihnen hiermit zur Kenntnisnahme Durchschlag meines Briefes [an Adler; leider einmal mehr nicht im Briefwechsel Ott/Walther erhalten. JF] vom 30. Mai. Es ist nicht nötig, weiter auf die Sache einzugehen, da sie für mich erledigt ist« (Ott an Walther, 4. Juni 1932). »Auf die Angelegenheit Adler einzugehen habe ich heute weder Zeit noch Lust. Ich danke Ihnen sehr für den Durchschlag des Briefes«, antwortete Walther (an Ott, 7. Juni 1932). Etwas reumütig heißt es dann 6 Wochen später bei ihm:

Ich selbst werde nicht wieder so unvorsichtig sein, Nachrichten, die ich von Ihnen erhalte, ohne weiteres und ohne Ihre ausdrückliche Genehmigung an Herrn Adler mitzuteilen, wie ich es im April leider gemacht und dadurch zu den letzten unangenehmen Zwischenfällen beigetragen habe. Ich habe übrigens in letzter Zeit nichts mehr von Herrn A. gehört (Walther an Ott, 25. Juli 1932).

Was ganz genau im April 1932 passiert war, muß mangels weiterer Quellen offenbleiben; zu dieser Zeit, überwiegend allerdings dann erst im Mai, tauschten Ott und Walther sich über ihre jeweilige Einschätzung der Verdienste oder Versäumnisse von Adler in Sachen der Gelenkmechanismenvariante für das »Potenzplanimeter für Trägheitsmomente« aus, also der besagten Erweiterung des Linearquadratplanimeters *Adler-Ott* zum Linearkubikplanimeter unter Beibehaltung von Gelenkmechanismen. Da Ott (wie man weiter unten in 2.2 genauer sehen wird) in seinen Briefen zum Teil dezidiert kritische Äußerungen zu Adler von sich gab, wird vermutlich die eine oder andere von Walther kolportiert worden sein.

Als Adler Walther im Dezember 1932 besuchte, um Walther als Korreferenten für seine Dissertation zu gewinnen, kamen wohl auch die Spannungen vom Frühjahr und Sommer zur Sprache: »Ich habe ihm [Adler. JF] etwas ins Gewissen geredet wegen seiner Entgleisungen im Frühjahr. Er sagte mir, daß er sich bei Ihnen entschuldigt habe« (Walther an Hermann und Ludwig Ott, 17. Dezember 1932).

1.3.3. Anzeigen, Prospekte und Publikationen, 1931–1932

1.3.3.1. Adler in der *Elektrotechnischen Zeitschrift* 1931

Die von allen Beteiligten angestrebte Publikation in der *ETZ* machte noch etwas Sorgen:

Zu schade, daß die Veröffentlichung des Aufsatzes in der E.T.Z. über das Potenzplanimeter für Effektivwerte so lange auf sich warten läßt. Ich habe deshalb Herrn Adler vorgeschlagen, zunächst eine ganz kurze Ankündigung dieses Instruments zu entwerfen, die Sie dann vielleicht drucken lassen und an Elektrotechnische Institute und große Firmen versenden können. Professor Reich am Institut für angewandte Elektrizität in Göttingen, Dr. Neugebauer vom Göttinger Mathematischen Institut, Prof. v. Sanden an der Technischen Hochschule Karlsruhe, Prof. Veessenmeyer von der Technischen Hochschule Stuttgart – sie alle interessieren sich für das Instrument, und die dumme *ETZ* bummelt. Ich bin überzeugt, daß wir dann bald auch an die Konstruktion eines Potenzplanimeters für Trägheitsmomente herangehen müssen wofür Ihnen ja Herr Adler s. Zt. eine m. E. brauchbare Idee mit Kurvenscheibe mitgeteilt hatte (Walther an Ott, 10. Juli 1931).

Ott zeigte sich am 22. Juli 1931 dankbar für Walthers Engagement in Sachen Potenzplanimeter, beschrieb zugleich aber auch die derzeitige Situation der Firma Ott, um zu erklären, warum seinerseits immer wieder Verzögerungen eintraten:

Für Ihre Mitteilungen über das Interesse der verschiedenen Professoren und Institute an den Potenzplanimetern bin ich Ihnen sehr verbunden. Es ist wirklich für Außenstehende schwer begreiflich, warum meinerseits die Angelegenheit so langsam gefördert wird. Aber von hinter den Kulissen sieht es anders aus. Die Firma Ott verfügt nicht, wie z. B. Askania, über ein literarisches Büro, sondern es muß alles im Nebenamt gemacht werden und es liegen z. B. auch Bedenken vor, teure Holzschnitte anzufertigen, ehe nicht die volle Überzeugung herrscht, daß die Instrumente die endgültige Form haben (Ott an Walther, 22. Juli 1931).

Ab Ende August 1931 kam wieder mehr Bewegung in die Publikation von Adlers Artikel über das Effektivwertplanimeter in der *ETZ*:

Die *ETZ*-Inseratenabteilung hat mir mitgeteilt, daß die Veröffentlichung des Aufsatzes über das Effektiv-Planimeter bevorsteht und daß ich deshalb ein Inserat aufgeben solle. Ich habe gleichzeitig wegen Sonderdrucken angefragt [...]. Wie ist es mit Sonderdrucken für Ihr Institut bzw. für Herrn Adler, soll ich diese gleich mitbesorgen? (Ott an Walther, 26. August 1931)

Nach Beseitigung einer kleinen Verwirrung mit der Schriftleitung der *ETZ* (Ott an Walther, 26. August 1931, bzw. Walther an Ott, 28. August 1931) konnte Walther am 4. September 1931 an Ludwig Ott melden, daß die »Korrektur des Aufsatzes Adler für die *ETZ* [...] von

mir erledigt worden« sei und er, Walther, »Druckerlaubnis gegeben« habe. Das wird Ott gefreut haben, der sich noch bei der Übersendung des ersten »richtigen« Linearquadratplanimeters leicht pessimistisch gezeigt hatte, »denn bis jetzt hat trotz der Inserate in mehreren Zeitschriften noch niemand Interesse für die Potenzplanimeter gezeigt« (Ott an Walther, 9. Mai 1931). Auch noch fünf Monate später klagte er: »Bisher ist ja die Auswirkung der in 4 Zeitschriften erscheinenden Inserate nahezu null, d. h. die Zahl der Anfragen ist sehr gering und keine derselben hat zu einem Geschäft geführt«, und er fuhr fort:

Nachdem noch keine Druckschrift erschienen ist verwende ich bisher für Angebotszwecke außer den Photographien die beiden hier beigefügten Blätter Ma 1 und Ma 2. Ich will eben ein drittes Blatt Ma 3 zeichnen lassen (mit den hier lose beigefügten Abbildungen) für »Planimeter mit arcus-sinus-Lenker« oder »Planimeter Integraphen«. Was meinen Sie zu dieser Bezeichnungsweise? (Ott an Walther, 17. Oktober 1931).

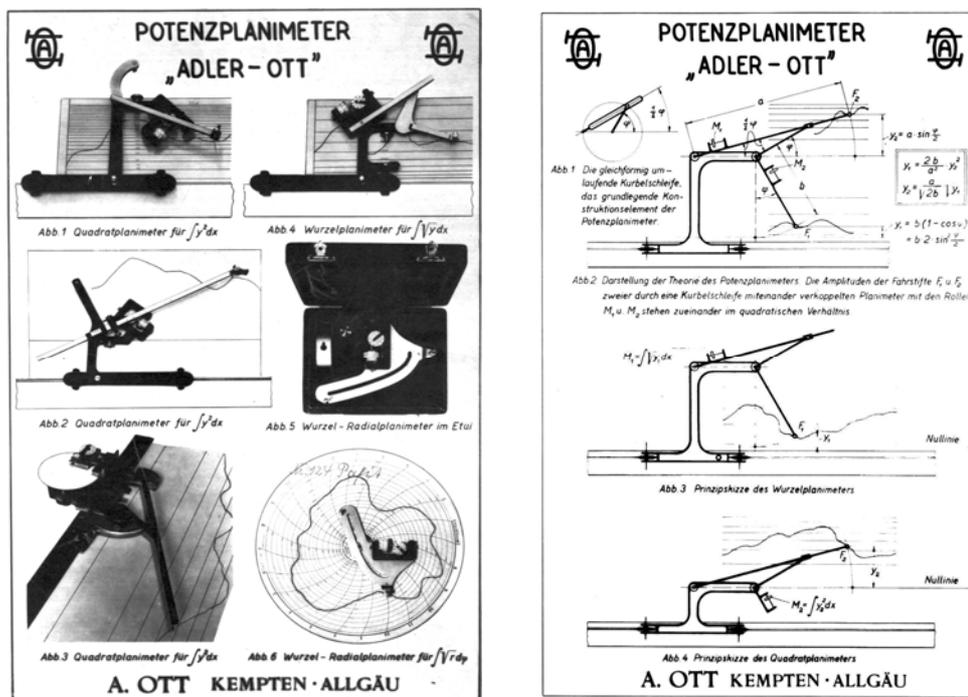


Abb. 19 u. 20: Prospektblätter Ma 1 und Ma 2 zu den Adler-Ott-Instrumenten (≤ November 1931).

Das Blatt Ma 1 zeigte je ein Linearquadrat- und ein Linearquadratwurzelplanimeter mit fester Fahrarmlänge, aber auch ein Linearquadratplanimeter mit verstellbarem Fahrarm; dazu das nahezu parallel entwickelte korrigierte Radialquadratwurzelplanimeter sowohl im Etui sowie in Arbeitsstellung; ferner ein Linearquadratplanimeter in Präzisionsausführung, das dabei von einem Gonnella-Mechanismus Gebrauch machte. Das Blatt Ma 2 ging detaillierter, dafür aber auf sauber ausgeführte Zeichnungen beschränkt (die nur unter der

damals noch relativ schlechten Vervielfältigungsqualität litten), auf die beiden *Adler-Ott* Linearpotenzplanimeter mit Gelenkmechanismus für die Potenzen $\frac{1}{2}$ bzw. 2 ein.⁴⁴

Auf der Mathematiker- und Physikertagung im September 1931 in Bad Elster hatte Walther nochmals die Werbetrommel gerührt: »Wohl aber habe ich Gelegenheit genommen, mehrere Herren, auch von AEG und Siemens, auf das Potenzplanimeter aufmerksam zu machen. Wenn nur der ETZ Aufsatz endlich käme!« (handschriftlicher Brief Walthers an Ott, 30. September 1931, aus Dresden). Im Oktober meldete sich ein Dr. Wolf vom Elektrotechnischen Institut der TH Darmstadt bei Ludwig Ott und unterstrich in seinem Brief nicht nur die bekannte Wichtigkeit des Linearquadratplanimeters, sondern auch die des Linearquadratwurzelplanimeters für die Elektrotechnik (Abschrift im Briefwechsel Ott/Walther, 12. Oktober 1931). Doch die entsprechende Publikation in der *ETZ* ließ immer noch auf sich warten.

Einem »versprengten« Korrekturabzug an anderer Stelle⁴⁵ entnimmt man, daß ein vermutlich letzter Korrekturabzug der für die Firma Ott bestimmten (und mit entsprechenden zusätzlichen Hinweisen und Druckvermerken versehenen) Sonderdrucke Dd 348 am 16. November 1931 gemacht wurde und einen Tag später bei der Firma Ott einging.⁴⁶ Da die Schriftleitung der *ETZ* auf Anfrage von Ludwig Ott schon früher mitgeteilt hatte, daß Sonderdrucke erst geordert bzw. hergestellt werden könnten, wenn der Umbruch des Artikels auf *ETZ*-Layout vollzogen sei, muß dieser Umbruch zu jenem Zeitpunkt also bereits erfolgt sein; mangels weiterer Erwähnungen im Briefwechsel Ott/Walther wird man wohl von einem Erscheinen des Adlerschen Artikels im November 1931 in der *ETZ* ausgehen können.⁴⁷ Dies dürfte Heinz Adler motiviert haben, nun auch einen weiteren, für ein größeres Publikum als die Elektroingenieure abgefaßten Artikel über Potenzplanimeter für die angesehene *Zeitschrift für Instrumentenkunde (ZfI)* vorzubereiten. Aber auch hier lief einiges nicht glatt und endete letztlich sogar in einer anderen Zeitschrift.

1.3.3.2. Werkmeister in der Zeitschrift für Instrumentenkunde 1932

Vorpreschen eines Unbeteiligten. Denn einigermaßen überraschend erschien unter dem schlichten Titel »Potenzplanimeter ›Adler-Ott‹. Bericht von P. Werkmeister in Dresden« ein Referat von Werkmeister im Juli-Heft 1932 der *ZfI*. Ott bat Werkmeister mit

44 Während die vervielfältigten Blätter Ma 1 und Ma 2 mehrfach in verschiedenen Ordnern des Ott-Archivs auftauchten, ist das Blatt Ma 3 mit den angegebenen Instrumenten anscheinend nicht erschienen oder zumindest nicht vervielfältigt worden (ein Entwurf für ein Blatt Ma 4 hingegen hat sich gefunden, jedoch auch keine Vervielfältigungen). Da die von Ott in Parenthese erwähnten Abbildungen – wie üblich – *nicht* beim Durchschlag des Briefs lagen und auch keine Bildnummern mitgeteilt wurden, muß offenbleiben, welche Geräte damit gemeint gewesen sein könnten.– Der 17. Oktober 1931 ist aber immerhin ein *terminus ante quem* für die Entstehung der sonst undatierten Prospektblätter Ma 1 und Ma 2.

45 Sammel-Ordner »Ott Linearquadratplanimeter«.

46 »Dd« steht für »Druckschrift deutsch«.

47 In der Heft-Zählung der *ETZ*, die in wöchentlichen Lieferungen erschien, findet sich Adlers Artikel in Heft 45, entsprechend der ersten Novemberwoche; daß die daraus abgeleiteten Sonderdrucke erst eine Woche später zur Endkorrektur bei Ott eintrafen, stimmt also gut damit überein.

Brief vom 8. Juli 1932 um die Erlaubnis, »eine größere Zahl Sonderdrucke machen [zu] lassen« und regte zugleich an, bei dieser Gelegenheit zwei Verbesserungen vorzunehmen (Ott an Werkmeister, 8. Juli 1932; Abschrift/Durchschlagkopie im Briefwechsel Ott/Walther). Walther gegenüber klagte er jedoch: »Es ist recht schade, daß der ›Bericht‹ so in der Eile hingehaut worden ist« (Ott an Walther, 15. Juli 1932), bezog aber zugleich Adler, auch wenn mit diesem gerade neue Spannungen entstanden waren, wieder mit in die Korrespondenz ein. Ende Juli lagen die Sonderdrucke vor; Ott sandte »vorerst 5 Exemplare« an Walther (Ott an Walther, 1. August 1932). Auch der fand »[d]en Bericht von Werkmeister [...] ziemlich oberflächlich. Insofern begrüße ich es, daß die Arbeit Adler in der Zeitschrift für Vermessungswesen wirklich gedruckt wird« (Walther an Ott, 12. September 1932; zur »Arbeit Adler« s. anschließend in 1.3.3.3).

Der Werkmeister-Aufsatz aus der ZfI 52 (1932), S. 324–326, wurde, mit auf 2 Seiten Gesamtumfang verändertem Umbruch, auch als Sonderdruck Dd 353 in das Druckschriftenprogramm der Firma Ott aufgenommen. Werkmeister skizzierte die beiden Instrumente (Photographien konkreter Instrumente wurden von ihm nicht verwendet) und gab auch die jeweilige Theorie dazu an. Die ebenfalls von Werkmeister hierzu verfertigten weiteren Skizzen sind allerdings nicht besonders übersichtlich ausgefallen, und von einem einzigen Satz abgesehen (»Das Quadratplanimeter kann u. a. zur Bestimmung von Effektivwerten in der Elektrotechnik und von statischen Momenten benützt werden«) findet sich keine Anwendungsmöglichkeit erwähnt. Auch der knappe Verweis auf die korrigierten Radialquadratwurzelpanimeter (»Das Wurzelplanimeter wird auch in der Form eines Radialplanimeters hergestellt«; zu diesem Instrument s. u. 3) blieb ohne einen Hinweis darauf, wozu man ein solches Instrument denn überhaupt brauchen könnte. Auch dies mag die bei Ott und Walther festzustellende Enttäuschung über Werkmeisters Bericht verständlich machen.

1.3.3.3. Adler in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1932

Wie Walther am 5. Januar 1932 Ott mitteilte, gefiel ihm

eine kurze Mitteilung [zu den Adler-Ott Linearpotenzplanimetern. JF] von Herrn Adler für die Zeitschrift für Instrumentenkunde, von der ich gestern einen Durchschlag mit der Bitte um Begutachtung erhielt. Ich nehme an, daß Ihnen Herr A. diesen Aufsatz auch zur Durchsicht schicken wird. Es wird vielleicht am besten sein, wenn Sie Ihre Bemerkungen dazu auch mir mitteilen; jedenfalls bitte ich Sie darum.

In der Tat hatte Adler sein Manuskript mit Brief vom 31. Dezember 1931 auch an Ludwig Ott gesandt (dieser Brief wurde jedoch nicht im Briefwechsel Ott/Walther abgelegt). Das Manuskript (es ist im Briefwechsel Ott/Walther vorhanden) war dabei von Adler als gemeinsame Besprechung des Linearquadrat- und des Linearquadratwurzelpanimeters formuliert worden. Ott gab Adler den Ratschlag, es nicht als Besprechung, sondern als »Originalarbeit« einzusenden, machte einige Veränderungsvorschläge, die von Adler auch übernommen wurden, wie ein Vergleich mit der späteren Veröffentlichung zeigt, und sagte die Herstellung der für die Publikation erforderlichen Zeichnungen und Klischees zu

(Ott an Adler, 8. Januar 1932; Abschrift im Briefwechsel Ott/Walther). Am gleichen Tag schlug er Walther vor, daß die

Einsendung des Manuskripts an die Schriftleitung [...] natürlich entweder durch Herrn Adler oder besser durch Sie erfolgen [muß], nachdem es sozusagen sich um eine Arbeit aus Ihrem Institut handelt. Ich weiß nicht, wie lange Zeit bei der Z. f. Instrumentenkunde zwischen der Annahme und der Veröffentlichung eines Aufsatzes vergeht und würde empfehlen, diesen Punkt schon bei der Einreichung zu berühren.

Der neue Adlersche Artikel erschien jedoch nicht in der *ZfI*, sondern in der *Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV)*. Denn Werkmeister in Dresden hatte ja – allerdings allein auf Abbildungsmaterial beruhend, das ihm Ludwig Ott zur Verfügung gestellt hatte – tatsächlich schon aus eigenem Antrieb sein »Referat« über die neuen Potenzplanimeter *Adler-Ott* verfaßt (s. o. 1.3.3.2) und sich auch von Ludwig Ott, nach dessen Hinweis auf Adlers geplante Publikation für die *ZfI*, nicht mehr von einer Veröffentlichung abhalten lassen (Ott an Walther, 29. April 1932) – ja, sogar nicht mehr abhalten lassen *können*: Er hatte nämlich das Manuskript seines Berichts zu diesem Zeitpunkt schon abgesandt; es war von der *ZfI* bereits zur Publikation angenommen worden und stand kurz vor der Veröffentlichung. Das brachte nun seinerseits Walther

etwas in Verlegenheit gegenüber Herrn Adler. Herr A. hatte mir seine Besprechung im Februar [1932. JF] überreicht.⁴⁸ Ich hielt mehrere Aenderungen für notwendig und habe dann die Angelegenheit teils verbummelt, teils wegen Ueberlastung erst im April zur Uebersendung an die »Zeitschr. f. Instrumentenkunde« fördern können. Dort ist mittlerweile das mir unbekannt Referat von Werkmeister eingetroffen. Deshalb sendet man mir die Besprechung Adler wieder zurück. Ich will nun sehen, was ich machen kann (Walther an Ott, 7. Mai 1932).

Ott wusch (zurecht) seine Hände in Unschuld an diesem Malheur (Ott an Walther, 10. Mai 1932) und suchte, wenngleich wenig hilfreich, nach einem Ausweg: »Könnte man den Artikel von Adler vielleicht in einer anderen Zeitschrift veröffentlichen? Ich weiß allerdings nicht wo.« Walther wußte es schon: »Den Aufsatz von Herrn Adler versuche ich jetzt in der ›Zeitschrift für Vermessungswesen‹ unterzubringen. Hoffentlich löst sich dadurch die Angelegenheit auf« (Walther an Ott, 12. Mai 1932).

So kam es dann auch: Nachdem Walther im Herbst 1932 seinen letzten Blick auf den Aufsatz geworfen hatte, sandte er ihn noch an Ludwig Ott: »Anbei übersende ich Ihnen die Korrektur der Arbeit Adler mit der Bitte um rasche Rücksendung und Angabe, ob Sie noch Aenderungen wünschen« (Walther an Ott, 28. September 1932). Dies erfolgte am 30. September 1932, wobei tatsächlich noch eine textliche Änderung eingefügt wurde, die sich auf Wemheuers zwischenzeitlich eingegangenen Vorschlag, auch den Potenzplanimetern *Adler-Ott* Distanzstäbe zur genauen Ausrichtung des Instruments auf die x-Achse beizugeben, bezog; am 5. Oktober 1932 quittierte Walther die Rücksendung mitsamt der Änderungen. Heft 21 des Jahrgangs LXI der *ZfV*, datiert auf den 1. November 1932,

48 Gemeint ist wohl eine überarbeitete Fassung – wir wissen ja, daß Walther schon am 4. *Januar* 1932 Adlers Manuskript erhalten hatte.

brachte dann auf den Seiten 665–668 die langersehnte Veröffentlichung. Adler stellte darin das Linearquadrat- und das Linearquadratwurzelplanimeter *Adler-Ott* vor; speziell bei ersterem wurde darauf hingewiesen, daß durch die Anbringung einer weiteren Meßrolle unmittelbar am Fahrarm die *simultane* Integration über $f(x)$ und $f(x)^2$ bewerkstelligt werden könne. Auf den im November 1931 in der *ETZ* erschienenen ersten Artikel Adlers wurde in einer Fußnote hingewiesen.

Die *ZfV* war sicherlich nicht die erste Wahl für die Veröffentlichung dieses Beitrags – das wäre schon die *ZfI* gewesen, doch hier war Werkmeister (sicherlich unabsichtlich oder in guter Absicht, aber eben ohne Absprache mit irgendjemandem) Adler bzw. eigentlich Walther zuvorgekommen. Beide Zeitschriften konkurrierten jedoch durchaus in ihren Artikeln, wenn es um die Besprechung neuer Instrumente ging, und nicht immer blieben die Artikel der *ZfV* auf die Belange und Interessen der Vermessungsingenieure beschränkt – so auch hier.

Doch selbst mit dieser, ohnehin eigentlich anders gedachten Publikation verbindet sich noch ein weiteres Mißgeschick. In den Kopfzeilen der *ZfV* findet sich zwischen Zeitschriftentitel samt Jahreszählung und Seitenangabe stets eine Kurzform »<Autor>.<Kurztitel>«. Bei Adlers Artikel lautet sie »Walther. Neue Potenzplanimeter etc.«, und auch in den jährlichen Inhaltsangaben der *ZfV* für 1932 wird dieser Artikel fälschlich Walther zugeschrieben; Adlers Name wird man vergeblich im Autorenverzeichnis suchen – und auch im *Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik* wurde der Artikel unter Walthers Autorenschaft bibliographiert.

Adlers Publikation wurde unter der Bezeichnung Dd 354 ebenfalls als Sonderdruck in die Reihe der Ottaschen Druckschriften aufgenommen; einmal mehr sprachen Ott und Walther sich über die Zahl der zu bestellenden Exemplare ab. Walther benutzte solche Sonderdrucke auch, um seinen Studenten weiteres Material in die Hände geben zu können. Begonnen hatte dies mit der großzügigen Verteilung der sehr ausführlichen Bedienungsanleitungen für den Harmonischen Analysator Mader-Ott, deren Text ohnehin »aus dem Hause Walther« stammte. Von Adlers Aufsatz für die *ZfV* orderte Walther immerhin 1000 Exemplare (Brief Walther an Ott, 8. November 1932).

1.3.4. Eine erste Ausstellung: Paris 1932

Vorstellung auf der Physikalischen Ausstellung in Paris. Ein weiterer Lichtblick in Hinsicht auf die Vermarktungsmöglichkeiten der Linearpotenzplanimeter ergab sich durch eine Anfang Mai 1932 in Paris stattfindende »physikalische Ausstellung«, zu der Ott die entsprechenden Instrumente präsentieren wollte; dazu erbat er sich von Walther das Linearquadratwurzelplanimeter zur Ausleihe (unter Bezug auf das Ott-Bild 3188;⁴⁹ das war das von Klinkhoff zurückgesandte Linearquadratwurzelplanimeter, das offenbar an

49 Dieses Bild 3188 ist im Sammel-Ordner »Ott Linearquadratwurzelplanimeter« im Umfeld des Klinkhoff-Instruments enthalten und paßt auch zu den dort angegebenen Dimensionierungen des Instruments mit der vermutlichen Instr.-Nr. 25001. Es wurde weiter oben schon an entsprechender Stelle reproduziert.

Walther weitergegeben worden war), ebenso wie er Adler um das bei diesem befindliche Linearquadratplanimeter⁵⁰ bitten wollte (Ott an Walther, 17. März 1932). Eine richtiggehende Serienfertigung hatte ja noch nicht begonnen und war aufgrund der wirtschaftlichen Lage auch (noch) nicht erfolgversprechend, so daß auf die bislang existierenden Instrumente bei Walther und Adler zurückgegriffen werden mußte. Beide sandten natürlich die erbetenen Instrumente an Ott (vgl. Walther an Ott, 6. April 1932, sowie Ott an Walther, 12. April 1932), der sie – mit französischen Übersetzungen der Gebrauchsanleitungen versehen – in Paris ausstellen konnte.

Eine Nachfrage von Walther (25. Juli 1932) nach dem Erfolg der Ausstellung konnte Ott der Tendenz nach positiv beantworten:

Die Ausstellung in Paris ist, wie mir mein Vertreter schreibt, von vielen Interessenten besucht worden und die Instrumente haben sehr gefallen. Ein wirtschaftlicher Erfolg hat sich noch nicht eingestellt, doch trägt sich der französische Service de Poudre mit dem Gedanken, einen Integraphen zu erwerben (Ott an Walther, 1. August 1932; zum erwähnten Integraphenkauf s. u. 4).

2. Linearkubikplanimeter mit Gelenkmechanismen bzw. mit Kurvensteuerung, 1930 ff.

Erste Ansätze. Es ist wahrscheinlich »irgendwie« vorstellbar, daß man durch »Angliederung« eines weiteren gleichschenkligen Gelenkmechanismus neben der Winkelverdoppelung auch noch eine Winkelverdreifachung bewerkstelligen könnte, mit deren Hilfe dann $\int f(x)^3 dx$ bestimmbar würde; man erhielte so ein Linearkubikplanimeter oder, bis auf den Faktor $\frac{1}{3}$, ein Momentenplanimeter für $n = 3$. Abstrakte Grundlage hierfür ist die Formel $\sin^3\alpha = \frac{1}{4}(3 \sin \alpha - \sin 3\alpha)$, die ersichtlich die Erhebung in die dritte Potenz im wesentlichen auf eine Winkelverdreifachung zurückführt. Genau das hatte Jakob Amsler bereits 1856 benutzt und auch einen entsprechenden Gelenkmechanismus vorgeschlagen, aber bei seinen späteren konkreten Instrumenten die Winkelvervielfachung nicht mehr durch Gelenke, sondern durch Zahnräder verwirklicht. Amslers Vorschlag war wohl auch daher in der Folgezeit, wie sich zeigen wird, vollkommen in Vergessenheit geraten.

50 Das muß dann die Instr.-Nr. 25003 gewesen sein, denn das Instrument mit dieser Instr.-Nr. wurde vor dem Versand nach Paris nochmals durchgemessen, wie die dazu vorhandenen Unterlagen im Sammel-Ordner »Ott Linearquadratplanimeter« zeigen. Adler hatte also zu einem derzeit unbekanntem Zeitpunkt »sein eigenes« Linearquadratwurzelplanimeter von Ott erhalten.– Walther hatte angeboten, *seines* (also die Instr.-Nr. 25002) zu schicken, falls Adler das bei ihm befindliche nicht entbehren könne (Walther an Ott, 6. April 1932); auf dieses Angebot mußte jedoch nicht zurückgekommen werden (Ott an Walther, 12. April 1932).

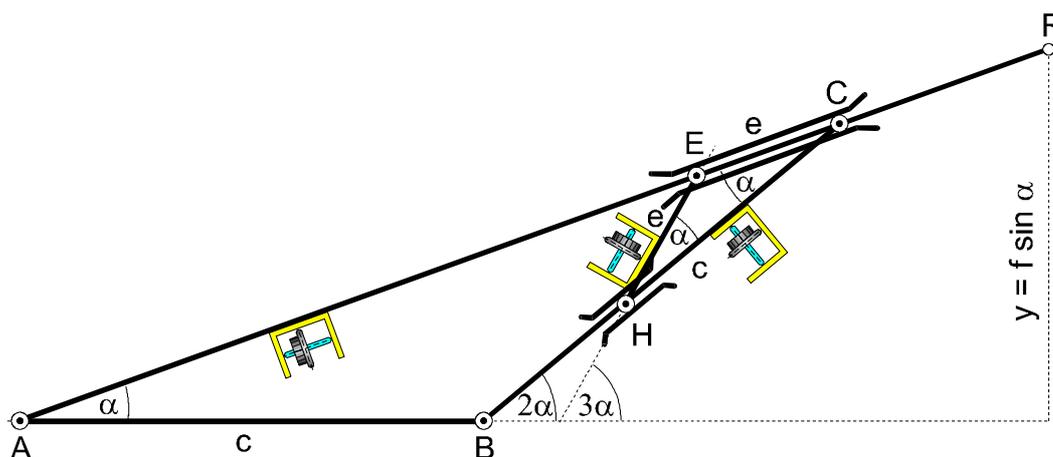


Abb. 21: Amslers Vorschlag für ein simultanes Linear-, Linearquadrat- und Linearkubikplanimeter, 1856.

Walther sah Ott gegenüber in einem solchen Instrument jedenfalls ein Desiderat: »Ich bin überzeugt, daß wir dann bald auch an die Konstruktion eines Potenzplanimeters für Trägheitsmomente herangehen müssen wofür Ihnen ja Herr Adler s. Zt. eine m. E. brauchbare Idee mit Kurvenscheibe mitgeteilt hatte« (Walther an Ott, 10. Juli 1931, wie schon weiter oben zitiert). Doch noch ein halbes Jahr später, als Walther wieder einmal auf dieses Thema zurückgekommen war, reagierte Ott skeptisch:

Ich habe bis jetzt von einem ausnutzbaren Bedarf nichts gemerkt, aber es kann ja sein, daß es nur wegen den miserablen Zeiten so ist. Ich hatte daran gedacht, das Planimeter für dritte Potenzen aus dem Quadratplanimeter zu entwickeln, also als »Quadratplanimeter mit Störungsfunktion« zu konstruieren, aber ich bin noch nicht dazu gekommen, diesen Gedanken weiter zu verfolgen. Leider müssen immer die Dinge zuerst getan werden, die entweder für den Betrieb am allerdringendsten sind, oder am ehesten Aussicht gewähren, einen Käufer in den Laden zu locken (Ott an Walther, 8. Januar 1932).

Wie schon beim Linearpotenzplanimeter für $n = 2$ konnte es weder Adler, noch Walther, noch Ott um die *Erfindung* eines entsprechenden Instruments für $n = 3$ gehen, da die beiden frühesten Hersteller von Momentenplanimetern, *Amsler* und *Coradi*, auch hierfür bereits Geräte im Angebot hatten;⁵¹ vielmehr war das Ziel erneut eine – möglichst einfache und daher preiswert herzustellende – Neukonstruktion. Wie man weiter unten sehen wird, gab die Firma Ott letztlich einer im April 1932 von Werkmeister mit einem eigenen Vorschlag angeregten, von Ott weiter vorangetriebenen, 1933 in ersten Instrumenten gebauten und schließlich 1934 publizierten (und überdies technisch sehr geschickt ausgeführten) Gelenkkonstruktion den Vorzug. Aber das allgemeine Thema der Kurvensteuerung in Instrumenten der Mechanischen Integration sollte in den gesamten

51 *Dennert & Pape*, die sich 1927 mit einem Momentenplanimeter für die simultane Ermittlung der Integrale für $n = 1$ und $n = 2$ in die Reihe der Hersteller dieser Instrumente eingereiht hatten, kamen erst Mitte der 1930er Jahre mit einem 3-Rollen-Instrument für $n = 1, 2$ und 3 hinzu.

1930er Jahren eine wichtige Rolle spielen, auch und gerade in der Firma Ott, und auch hier war Heinz Adler an den Anfängen beteiligt. Daß Kurvensteuerung ein erfolgreicher Ansatz sein konnte, hatten ihm die Radialwurzelplanimeter gezeigt, an denen er zu gleicher Zeit zusammen mit Ludwig Ott arbeitete, und die relativ rasch in eine konstruktiv ausgereifte und kommerziell erfolgreiche Form überführt werden konnten (s. u. 3).

Für das Linearkubikplanimeter (bis auf einen mehr oder weniger unerheblichen multiplikativen Faktor also ein Momentenplanimeter für Trägheitsmomente) machte Heinz Adler, der ja mit seinen Ideen zum Linearquadrat- und zum Linearquadratwurzelplanimeter voll im Thema steckte, ebenfalls Vorschläge: »Für die Winkelverdreifachung [per Gelenkmechanismen. JF] beim Kubikplanimeter für Trägheitsmomente gab er im Laufe des Jahres 1930 mehrere Anordnungen, warf aber die Flinte ins Korn und ging zu anderen Prinzipien mittels Kurvenscheiben über« (Walther an Werkmeister, 19. Januar [recte: Februar] 1935; Abschrift im Briefwechsel Ott/Walther). Adler legte diesen Mechanismen-Wechsel in einem Brief an Walther vom 5. August 1930 dar und begründete ihn (Abschrift dieses Briefs im Briefwechsel Ott/Walther, beim Brief Walther an Ott, 12. Mai 1932).

In diesem Brief skizzierte Adler sowohl seine Idee – und auch eine von Paul Terebisi⁵² beigesteuerte – für eine Lösung mit Gelenkmechanismen, aber eben auch die von ihm bevorzugte Lösung mit Steuerkurven in Form von Hypo- bzw. Epizykloiden.

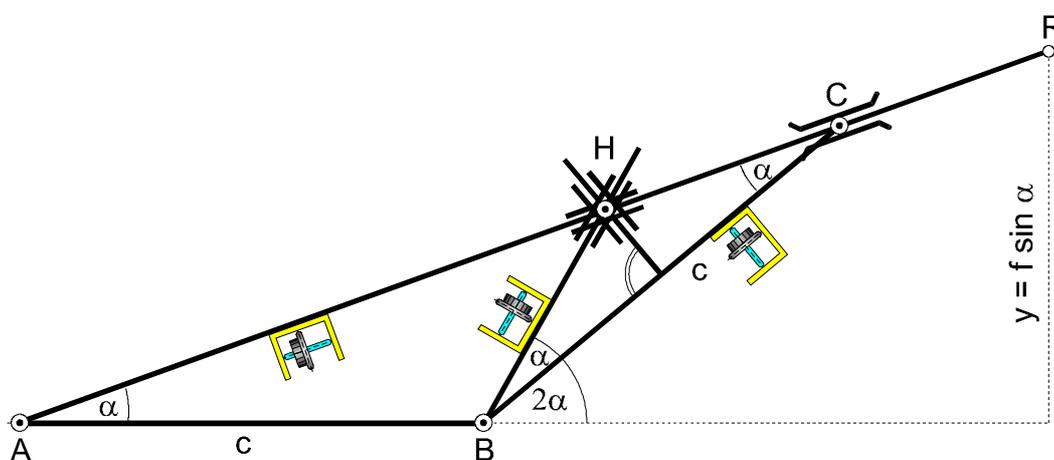


Abb. 22: Adlers Vorschlag für ein simultanes Linear-, Linearquadrat- und Linearkubikplanimeter, August 1930.

52 Paul Terebisi war Ludwig Ott schon durch Walther und dessen Assistenten Gerhard Koehler namentlich bekannt gemacht worden. Terebisi wollte in den Sommerferien 1930 auf eigene Rechnung nach Kempten kommen, sich die Firma Ott anschauen, auch mitarbeiten und zudem seinen eigenen Harmonischen Analysator vorstellen, den er für einfacher hielt als die Mader-Ott-Konstruktion. Walther verwendete sich in einem Brief vom 1. August 1930 für Terebis Aufenthalt in Kempten. Er hielt Terebisi für »begabt, aber etwas fantastisch«, schloß den Brief an Ott jedoch mit dem handschriftlichen Nachsatz »T. ist Ungar, studiert technische Physik und hat schon praktisch in der elektrischen Industrie gearbeitet« nochmals empfehlend ab. Der Besuch kam zustande; Terebis spätere Publikationen zur Harmonischen Analyse wurden weithin bekannt.

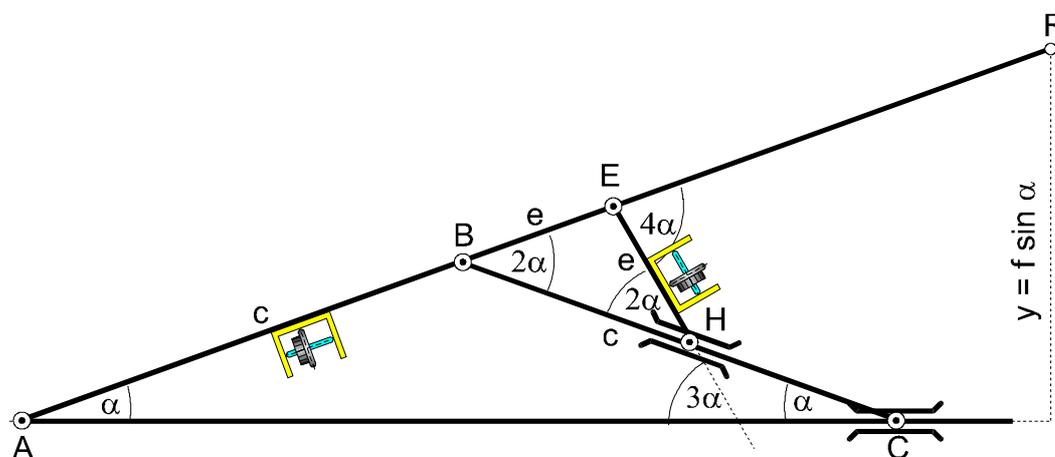


Abb. 23: Terebisis Vorschlag für ein simultanes Linear- und Linearkubikplanimeter, August 1930.

Man ahnt, warum Adler (und, wie Ott später zugab, ohne zunächst selbst weitere Gedanken zu investieren, auch Ott) *diese* Gelenklösungen nicht weiterverfolgte: Adlers Konstruktion besaß in H eine *dreifache* Gelenkkreuzung, die nur mit großem Aufwand zu verwirklichen gewesen wäre, auch wenn er darauf hinwies, daß man *eine* Gelenkführung von diesen dreien in den Punkt B verschieben könne. Immerhin tauchen bei Adlers Vorschlag alle Winkel α , 2α und 3α gegen die x-Achse auf, so daß die Simultanmessung von sechs Integralen $\int \sin n\alpha dx$ bzw. $\int \cos n\alpha dx$ für $n = 1, 2$ und 3 durch entsprechend angebrachte Meßrollen möglich ist (es werden für ein simultanes Linear-, Linearquadrat- und Linearkubikplanimeter nur die drei bei Adler eingezeichneten gebraucht), während Terebisis Vorschlag darunter leidet, daß der für $n = 2$ benötigte Winkel von 2α gegen die x-Achse bei ihm *nicht* auftaucht, sein Instrument also nur für $n = 1$ und $n = 3$ brauchbar ist.

2.1. Kurvensteuerung

Die Adlersche Alternative: Kurvensteuerung. »Ott habe ich noch nichts geschrieben«, teilte Adler am 5. August 1930 Walther mit, da er noch auf die Ergebnisse der Untersuchungen von Wemheuer warten wollte, um sie mitzuschicken (s. o. beim Linearquadratplanimeter, Abschnitt 1.1). In einem (nicht in Ott/Walther enthaltenen) Brief vom 11. August 1930, also nur wenige Tage nach seinem Brief an Walther, scheint Adler Ott dann aber doch eine entsprechende Mitteilung, insbesondere für Integrale mit $n > 2$, und hier vor allem für $\int f(x)^3 dx$, gemacht und dabei nun auch diesem gegenüber – zumindest tendenziell – die Gelenkmechanismen zugunsten von Steuerkurven verworfen zu haben.⁵³ Am 19. August 1930 teilte Ott Walther denn auch prompt mit, er habe von

⁵³ Wie Adler sich eindreiviertel Jahre später erinnerte, habe er damals Lösungen mit Steuerkurven

Adler »einige Anregungen für die Konstruktion eines Potenz-Planimeters für Trägheitsmomente erhalten. Auch diese Sache muß ich mir etwas länger durch den Kopf gehen lassen«.

Dazu kam es zunächst nicht; die äußeren Umstände und andere Vorhaben (Fertigstellung der Potenzplanimeter *Adler-Ott* für $n = 2$ und $n = 1/2$, Arbeiten am Integraphen *Adler-Ott*, alles überschattet durch zeitweise Schließungen erst der Mathematischen Abteilung, dann des Gesamtbetriebs der Firma Ott infolge der schlechten wirtschaftlichen Lage) ließen das Thema des Linearkubikplanimeters bei Ludwig Ott gründlich – nämlich für fast zwei Jahre – ruhen. Anders bei Heinz Adler.

Einem Brief von Ott an Adler vom 29. Dezember 1931 (auch im Briefwechsel Ott/Walther abgelegt) entnimmt man, daß Adler sich offenbar das Momentenplanimeter mit Zykloidensteuerung patentieren lassen wollte und Ott zugleich ein 26 Blatt umfassendes Manuskript (gedacht für die *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, ZAMM*) zur Begutachtung bzw. Stellungnahme vorgelegt hatte. Mit einem (nicht im Briefwechsel Ott/Walther enthaltenen) Brief vom 25. Dezember 1931 hatte er dies Ludwig Ott mitgeteilt, wobei es den Anschein hat, als habe er dabei der Firma Ott angeboten, die Rechte an dem noch anzumeldenden Patent zu erwerben. Ott zeigte sich skeptisch und erklärte sich nicht interessiert, wie überhaupt seine Antwort etwas kühl geraten ist, und sandte das Manuskript zurück:

Wie ich Ihrem Brief entnehme beabsichtigen Sie, sich die Zykloidenführung für Momentenplanimeter patentieren zu lassen. Aus dem bisherigen Briefwechsel werden Sie schon ersehen haben, daß ich sehr skeptisch über die wirtschaftliche Seite der Erfindung von Momentenplanimetern denke und es wird Sie daher nicht verwundern, wenn ich Ihre Frage nach Übernahme dieses Patents nicht anders wie negativ beantworten kann. Da ich unter diesen Umständen an dem Aufsatz [...] nicht recht interessiert bin, möchte ich von einer Stellungnahme dazu absehen. Da Sie wegen der Patentangelegenheit den Aufsatz vermutlich doch etwas zurückhalten müssen, dürfte die Möglichkeit bestehen, ihn jener Firma vorzulegen, mit der Sie wegen der Übernahme des Patents einig werden (Ott an Adler, 29. Dezember 1931).

Das war deutlich; das Adlersche Manuskript ließ Ott aber sicherheitshalber – jedoch ohne dies Adler gegenüber zu erwähnen! – vor der Rücksendung abschreiben; jedenfalls findet sich eine solche Abschrift mit dem Datumsstempel des 28. Dezember 1931 in der Korrespondenz Ott/Walther abgelegt.

Am 30. Dezember 1931 schrieb Ott darüber auch an Walther:

Ich habe gestern⁵⁴ von Herrn Adler einen Brief und ein umfangreiches Manuskript mit dem Titel »Ein neues Momentenplanimeter« erhalten. Von meiner Antwort sende ich Ihnen hiermit einen Durchschlag zur Kenntnisnahme zu. Wenn das Manuskript in seiner jetzigen Form (26 Seiten) in die Miseses-Hefte [sic!⁵⁵] aufgenommen wird, dann

zwar erwähnt, aber »Ott darüber auch nichts Ausführliches mitgeteilt« (undatiertes Zitat aus einem Brief von Adler an Walther, wohl vom Anfang Mai 1932, im Brief Walther an Ott, 12. Mai 1932).

54 Richtig wohl (mindestens!) »vorgestern«.

55 Gemeint ist die von Richard von Mises herausgegebene *ZAMM*.

ist das für mich ein blaues Wunder. Man muß doch auch ein bisschen an die finanzielle Not der wissenschaftlichen Zeitschriften und an die Zeitnot ihrer Leser denken und sich bemühen nur Neues zu bringen und sich kurz zu fassen.⁵⁶ Erfinder sind eigene Leute. Darum will ich über den hartnäckigen Glauben an den finanziellen Erfolg eines Patents für Momentenplanimeter nach den bisher gesammelten gegenteiligen Erfahrungen nichts sagen. Wenn Herr Adler meine pessimistische Auffassung durch einen guten Verkauf seines Patents an eine andere Firma (ich denke er wird sich an die Askania-Werke wenden) Lügen strafen sollte, würde ich mich direkt darüber freuen (Ott an Walther, 30. Dezember 1931).

Walther, der am 5. Januar 1932 antwortete, auch er hätte das Manuskript erhalten, stimmte insbesondere der Ottischen Kritik an dessen Länge zu und beklagte zugleich den Einfluß der Adlerschen »Bekanntnen bei der Firma in Essen-Bredeneu [...], wo er jetzt tätig ist. Diese Leute scheinen sehr stark auf dem Geldstandpunkte zu stehen.« Gleichzeitig regte Walther in seinem Brief trotzdem nochmals an, daß das Quadratplanimeter auch auf die 3. Potenz erweitert werden möge, da »die Ermittlung von Trägheitsmomenten und dergleichen in der Praxis eine recht große Rolle spielt, und daß ein bequemerer Instrument für diesen Zweck als die Amslerschen Planimeter⁵⁷ ein Bedürfnis ist. Vielleicht schreiben Sie mir einmal, wie in diesem Punkte die Angelegenheit steht.«

Daß Ott trotz der Zurücksendung des Adlerschen Manuskripts sich sehr wohl an die Adlersche Zyklidensteuerung erinnerte (kein Wunder, da er ja eine Abschrift hatte machen lassen), zeigt ein Brief an Walther vom 26. Februar 1932:

Vor einiger Zeit ist von der Marinewerft Wilhelmshaven eine Anfrage eingegangen nach einem Integrator für Fläche, statische Momente und Trägheitsmomente. Ich habe ein Angebot⁵⁸ abgegeben auf Grund der hier beigefügten Zeichnung Nr. 30185 und habe mich damit hinsichtlich des Trägheitsmoments eines Rückfalles in die Verwendung von Verzahnungen schuldig gemacht. Nach allen Überlegungen scheint mir für die dritte Potenz eine Anwendung von Verzahnungen doch einfacher und billiger als die Verwendung von Cyklidenkurven.

Walthers Echo: »Wahrscheinlich haben Sie ganz recht, bei der 3. Potenz auf Verzahnungen zurückzugreifen. Alle anderen Methoden, die sich bei der Zusammenarbeit mit Herrn Adler dargeboten haben, waren ja letzten Endes trotz theoretischer Eleganz praktisch unbefriedigend« (Walther an Ott, 9. März 1932). Die Marinewerft bestellte das Momentenplanimeter zwar, verzichtete aber auf die Bestimmung des Trägheitsmoments (Ott an Walther, 17. März 1932), so daß das Problem einer Sonderanfertigung sich nicht mehr stellte.

56 Eine Regel, die Ludwig Ott selbst in der Tat strengstens beherzigte.

57 Gemeint sind die Amslerschen *Integratoren*.

58 Ludwig Otts ausführliches Angebot vom 3. Februar 1932 auf die Anfrage der Marinewerft vom 25. Januar 1932 fand sich als »fliegendes Blatt« in einer Mappe und wurde von mir in den Briefwechsel Ott/Walther einsortiert. Darin wurde auch eine allerdings »noch nicht in der Detail-Konstruktion« vorliegende Version mit »arcus-sinus-Lenker« als zusätzliche Möglichkeit erwähnt, die aus dem Linearpotenzplanimeter, das seine Werte erst am Ende einer vollständigen Umfahung liefert, ein Linearpotenz*integrimeter* macht, das zu jedem Zeitpunkt – also auch an jedem Zwischenwert der Abszisse – den korrekten Wert des Integrals angibt.

2.2. Die 3- bzw. 2-Rollen-Potenzplanimeter Werkmeister-Ott, 1932 ff.

Ein Gelenkmechanismus *à la* Werkmeister. Die Verwendung von Gelenkmechanismen in einem Kombinations- bzw. besser: Simultaninstrument für $n = 1, 2$ und 3 kam dann in der Tat ab April 1932 und basierend auf einer Idee von Paul Werkmeister in Dresden zustande (Brief Werkmeister an Ott, 11. April 1932; als »Lichtkopie« im Briefwechsel Ott/Walther unter dem Datum vom 25. Mai 1932 – zu einem Brief von Ott an Walther – abgelegt). Werkmeister hatte sich für die Linearquadrat- und Linearquadratwurzelplanimeter *Adler-Ott* interessiert, von Ludwig Ott Materialien dazu erhalten und ja auch in der *Zfl* dazu publiziert (s. o. 1.3.3.2). Offenbar hatte Ott ihm bei dieser Gelegenheit auch über das Problem der Erweiterung auf $n = 3$ erzählt, und Werkmeister machte dazu einen Vorschlag. Hierüber berichtete Ott an Walther:

Über das Potenzplanimeter habe ich in letzter Zeit mit Herrn Professor Werkmeister von der Technischen Hochschule-Dresden korrespondiert und es ist dabei eine erfreuliche Idee herausgekommen, wie man die dritte Potenz auch mit Hilfe einer Gelenkkonstruktion erzielen kann. [...] Leider hat diese Konstruktion den Nachteil, daß man den Fahrarm nicht durch die Nulllage durchschlagen kann, also das Instrument entweder für positive oder negative Ordinaten konstruieren müßte. Ich will versuchen, ob man diesen Mißstand nicht in irgendeiner Weise beseitigen könnte ohne daß dadurch das Planimeter allzu kompliziert wird. Das Potenzplanimeter für dritte Potenz müßte nun folgerichtig den Namen bekommen: »Adler-Werkmeister-Ott«. Das erscheint aber wohl ein bißchen langatmig (Ott an Walther, 29. April 1932).

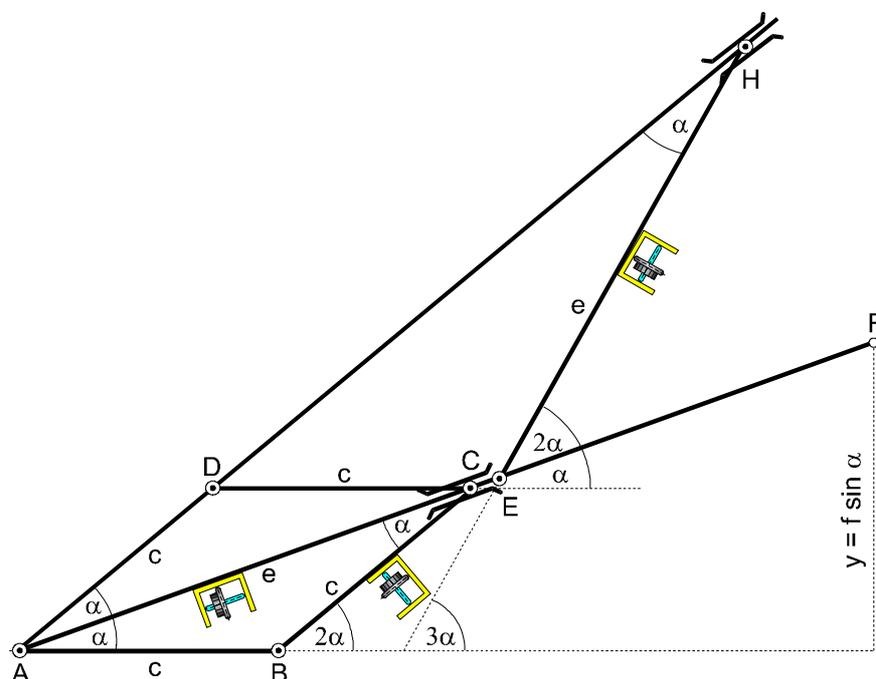


Abb. 24: Werkmeisters Vorschlag vom 11. April 1932 für ein simultanes Linear-, Linearquadrat- und Linearkubikplanimeter.

Im Gegenzug wies Walther daraufhin, die »Idee von Herrn Prof. Werkmeister« schein ihm »schon von Herrn Adler ganz im Anfange diskutiert, jedoch als nach seiner Meinung zu kompliziert fallen gelassen worden« zu sein; er wolle sich aber »deshalb mit Herrn Adler in Verbindung« setzen, da er selbst jetzt nicht die Zeit habe, »die ganze alte Korrespondenz durchzusehen« (Walther an Ott, 7. Mai 1932). Daraufhin sandte Ott ihm am 10. Mai 1932 die Originalbriefe von Adler vom 5. Juli und vom 11. August 1930 (sie sind leider nicht in der Korrespondenz Ott/Walther enthalten, auch nicht als Abschriften) und kommentierte sie wie folgt:

Hinsichtlich der Idee von Herrn Professor Werkmeister liegt die Sache schon so, daß sie Herrn Adler nicht eingefallen ist, obwohl es sich eigentlich um die denkbar einfachste Lösung handelt. [...] Wie Sie sehen, hat Herr Adler die Winkelverdreifachung mit Hilfe von Gelenkführungen zwar für erreichbar aber für kompliziert und einen ungenügenden Umfahrungsbereich gebend, gehalten. Beide Annahmen haben sich erst durch die Idee von Herrn Professor Werkmeister als irrig erwiesen.

Gegen diese Auffassung erhob Walther jedoch Einspruch, und dies sicherlich vor allem auch, nachdem Adler ihm eine zusammenfassende Nachricht *seiner* Sicht der Dinge, eine Prinzipskizze seiner damaligen Idee sowie einen *neuen* Vorschlag hatte zukommen lassen, bei dem sowohl positive als auch negative Ordinaten befahren werden konnten:

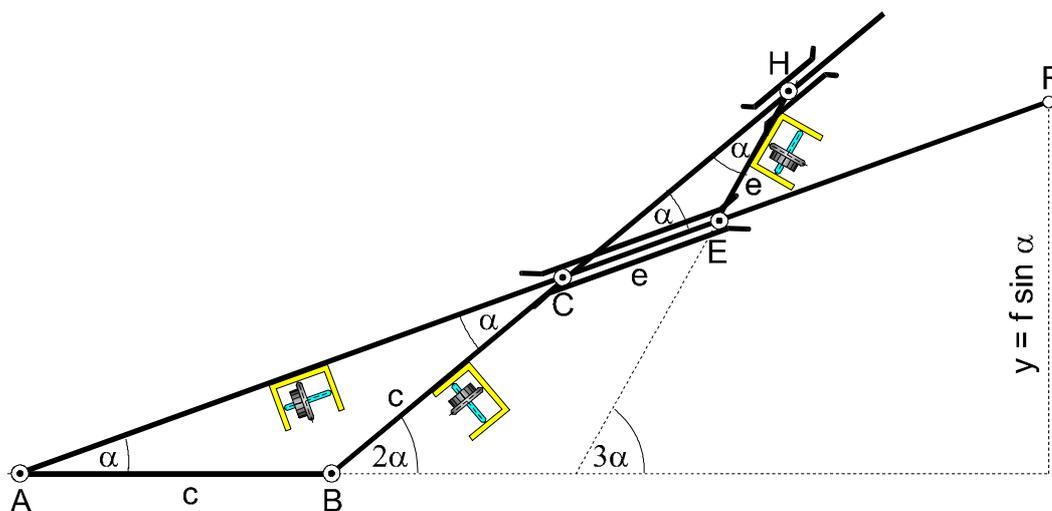


Abb. 25: Adlers neuer Vorschlag vom Mai 1932 für ein simultanes Linear-, Linearquadrat- und Linearkubikplanimeter.

Dazu schrieb Walther an Ott:

Meine Meinung ist die folgende: Die Idee selbst, Winkelverdreifachung durch gleichschenklige Dreiecke herbeizuführen, stammt von Herrn Adler. Doch hat Herr A. für die praktische Ausführung dieser Idee früher (im August 1930) eine Form angegeben, die vielleicht ungünstiger ist als die von Werkmeister. [...] Die neue gegenwärtige Konstruktion von Adler geht ebenfalls [...] über die frühere Konstruktion hinaus [...].- Wieweit alle die verschiedenen Konstruktionen praktisch brauchbar sind,

kann ich nicht entscheiden.– Herr Adler hat zweifellos früher zwar die Idee der Winkelverdreifung von gleichschenkligen Dreiecken vollständig gehabt, sie aber für kompliziert und praktisch unbrauchbar gehalten. Er hat sich allzusehr dem Wege über die Zykloide zugewendet, ohne die Möglichkeiten mit gleichschenkligen Dreiecken bis zum Ende durchzudenken. Hierin hat ihn Werkmeister überholt, wenn sich die Werkmeistersche Konstruktion als praktisch verwendbar erweisen sollte. Adlers neuer Vorschlag überholt vielleicht wieder Werkmeister.⁵⁹ Ich finde es nicht für richtig, Herrn Werkmeister eine neue »Idee« zuzuschreiben; es handelt sich wohl nur um eine neue »Konstruktion.« – Hoffentlich erwachsen aus der Sache keine Prioritätsstreitigkeiten! – Den besten Prüfstein und die letzte Entscheidung kann wohl nur ein praktisches Durchprobieren der verschiedenen Möglichkeiten liefern, das ich sehr warm befürworten möchte. Es wäre schön, wenn[n] auf diese Weise der Wunsch nach dem praktisch so wichtigen Potenzplanimeter für Trägheitsmomente erfüllt werden könnte (Walther an Ott, 12. Mai 1932).

Adlers neuer Vorschlag ist, wie man beim Vergleich mit der Prinzipskizze von Amslers Idee aus 1856 (s. o.) erkennt, praktisch mit letzterer identisch; der einzige Unterschied besteht nämlich darin, daß der Teilmechanismus für die Erzeugung von 3α bei Adler außerhalb des Teilmechanismus für die Erzeugung von 2α liegt, bei Amsler innerhalb (Spiegelung des Teilmechanismus $\{\odot\text{CE}\odot\text{EH}\}$ an C). Dies zeigt einmal mehr, daß Adlers Vorstellungskraft in diesem Fall nur eines kleinen Anstoßes bedurfte, um auf eine Lösung zu verfallen, die der des großen Amsler entsprach.

Walthers Brief vom 12. Mai mit Adlers neuem Vorschlag überschneidet sich mit einem Brief Otts an Walther vom 14. Mai 1932, mit dem Ott die Zeichnung »Nr. 30197, das ist mein letzter und bis auf einige Kleinigkeiten wahrscheinlich endgiltiger Entwurf für das Potenzplanimeter mit 3 Rollen« übersandte.

Der Umfahrbereich stimmt genau überein mit dem Amsler-Integrator Nr. 2 und durch Verkleinerung des Wagens und des Fahrarms ergibt sich auch die Größe Nr. 1 von Amsler. Leider wird eine praktische Ausführung des Instruments wohl auf sich warten lassen, da infolge der sich in letzter Zeit rapid verschärfenden Wirtschaftskrise mein Gesamtbetrieb in den letzten Zügen liegt und wohl nichts anderes als eine Schließung bis auf wenigstens etwas bessere Zeiten übrig bleiben wird. Herrn Adler habe ich bis jetzt von dem neuen Antrieb in der Planimeterangelegenheit durch Herrn Professor Werkmeister noch nichts mitgeteilt, da ich erst die konstruktiven Gedanken ausreifen lassen wollte. Nachdem Sie Herrn Adler geschrieben haben, wäre es mir lieb, dessen Stellungnahme zu erfahren.

Was Ott Walther zunächst nicht mitteilte, war der Umstand, daß Ott diese Zeichnung »Nr. 31097« am gleichen Tag auch an Werkmeister sandte und dabei auch auf dessen Anfrage vom 22. April 1932 einging, was denn die Kosten für ein solches Instrument sein würden.⁶⁰ Eine grobe Kalkulation hatte ergeben, daß die Ottschen Instrumente zu einem Preis verkauft werden konnten, der je nach Ausführung um 20–30 % unter den ent-

59 Bleistiftkommentar von Ludwig Ott: »nein!«

60 Abschrift des Briefs Ott an Werkmeister vom 14. Mai 1932 im Briefwechsel, beigelegt dem Brief Ott an Walther vom 10. Oktober 1932. Der Brief Werkmeisters an Ott vom 22. April 1932 fand sich bislang nicht ein.

sprechenden Preisen für die 3-Rollen-Integratoren der Firma Amsler lag. Für ein erstes Instrument räumte Ott Werkmeister nochmals rund 33% Abschlag ein (»Sollten Sie geneigt sein, ein Instrument in Auftrag zu geben, so würde ich Ihnen die Größe Nr. 1 zum Preise von RM 350.--, die Größe Nr. 2 zum Preise von RM 450.-- anfertigen. Bitte teilen Sie mir jedenfalls mit, ob diese Preise für Ihr Institut erschwinglich sind«: Ott an Werkmeister, 14. Mai 1932).

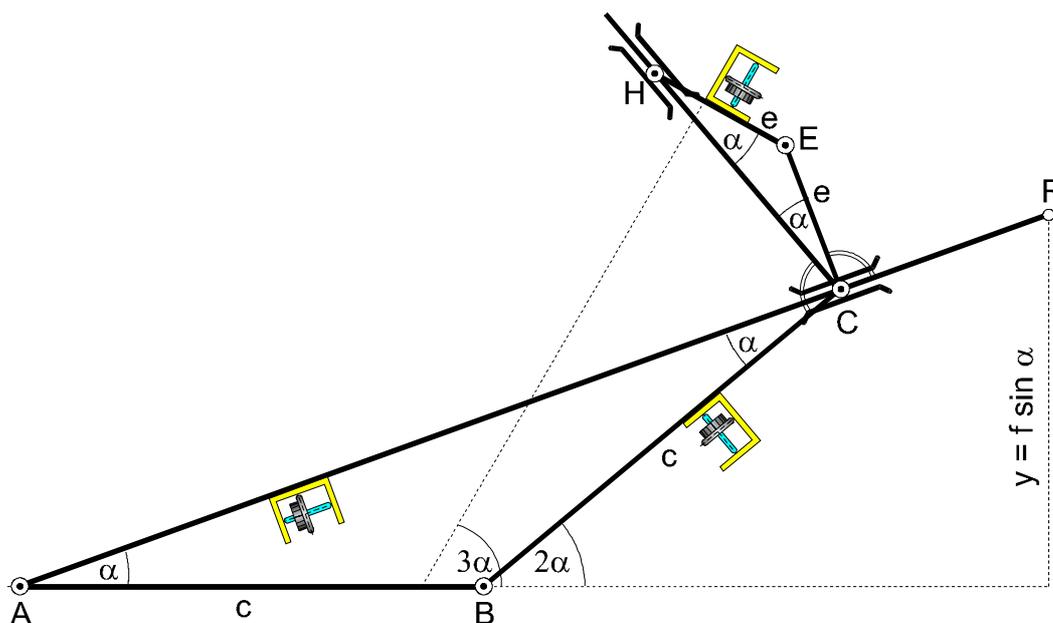


Abb. 26: Otts Abwandlung/Perfektionierung von Werkmeisters Vorschlag, April bis Mai 1932.

Zehn Tage später, am 25. Mai 1932, nahm Ott das Thema Walther gegenüber wieder auf. Er sah in Adlers neuer Idee, die er zwischenzeitlich in Händen hielt, einen Rückschritt gegenüber seiner in Unkenntnis dieser neuen Idee angefertigten Zeichnung »Nr. 30197«, und fuhr fort:

Herr Professor Werkmeister erhebt durchaus keinen Anspruch auf eine neue Idee oder Erfindung und seine Anregung hat sich auf den hier in einer Lichtkopie⁶¹ beigefügten Brief vom 11. April beschränkt. Aber diese Anregung hat mir sofort konstruktive Möglichkeiten gezeigt, während ich die frühere Idee von Herrn Adler wahrscheinlich schon um dessentwillen nicht weiter verfolgt habe, weil Herr Adler selbst die Flinte ins Korn geworfen hat. Erst jetzt sehe ich beim Durchblättern des Briefwechsels, daß Herr Professor Werkmeister nicht einmal den Aufsatz von Herrn Adler in der E.T.Z., dessen Sonderdruck die Nummer Dd 348 trägt, kannte bzw. erhalten hat. Ich wollte ihm diesen Aufsatz zwar einmal schicken, aber es ist damals versehentlich Dd 338 abgegangen.

61 Im Briefwechsel Ott/Walther erhalten.

Die weitere Entwicklung führte letztlich, allerdings zeitlich den Umständen entsprechend langsam, zum »Drei-Rollen-Momentenplanimeter nach Werkmeister« oder »Drei-Rollen-Momentenplanimeter Werkmeister-Ott«, denn schon vor der Ende Mai 1932 für den Augenblick beendeten Diskussion hatte Ludwig Ott ja bereits die Möglichkeit gefunden, ein auch seinen Wünschen und Vorstellungen entsprechendes kombiniertes (ja, sogar ein simultanes) Linear-, Linearquadrat- und Linearkubikplanimeter per Gelenkmechanismus zu realisieren. En passant teilte er in einem Brief vom 3. Oktober an Walther diesem nun doch mit, daß Werkmeister im Juli das Geld für ein 3-Rollen-Momentenplanimeter aufgetrieben und am 7. September 1932 definitiv eines der »Größe Nr. 2« bestellt hatte (zu dieser Größe hatte Ott Werkmeister am 25. Juli 1932 geraten). Darauf Walther:

Die Bestellung durch Werkmeister interessiert mich sehr. Ich möchte Sie fragen, zu welchem Preis Sie mir für mein Institut auch ein solches Instrument liefern könnten, da ich vielleicht etwas Geld dafür freimachen kann. Es kommen von Betrachtern des Potenzplanimeters [gemeint ist hier das Linearquadratplanimeter Adler-Ott. JF], namentlich von Maschinenbauseite, zu oft die Fragen wegen des Trägheitsmomentes. Tatsächlich wird an unserer Hochschule sehr viel Zeit bei Wälde mit den entsprechenden Arbeiten für Dampfturbinenschaukeln verbraucht (Walther an Ott, 5. Oktober 1932).

Ott antwortete Walther daraufhin am 10. Oktober 1932 mit einem Brief, dem er nun auch die Abschriften (bzw. Durchschläge) seiner Briefe vom 14. Mai und vom 25. Juli 1932 an Werkmeister beifügte, so daß wieder vollständiger Informationsgleichstand hergestellt war. Natürlich würde es Ott »freuen, wenn es Ihnen möglich wäre, einen Integrator mit 3 Rollen anzuschaffen.« Diese Hoffnung mußte Walther zunächst dämpfen: »Für das Potenzplanimeter mit 3 Rollen hoffe ich im Laufe des Wintersemesters 300.- RM freimachen zu können, doch wird die formale Bewilligung leider noch einige Zeit auf sich warten lassen, sodaß ich Ihnen eine wirkliche Bestellung leider noch nicht aufgeben kann« (Walther an Ott, 20. Oktober 1932). Aber schon die Ablieferung selbst des ersten fest bestellten Instruments an Werkmeister ließ weiter auf sich warten: »Das Instrument für Professor Werkmeister ist noch nicht abgeliefert. Es wird jetzt gerade auf Grund der ersten Erprobungen verschiedenes daran abgeändert«, mußte Ott am 27. Oktober 1932 an Walther schreiben. Knapp zwei Monate darauf vermeldete dieser:

Ich habe jetzt die erfreuliche, von mir schon nicht mehr erhoffte Mitteilung erhalten, daß mir vom Staate für den Ausbau meines Instituts 300 RM ausserordentlicher Bedarf zur Verfügung gestellt werden. Ich kann daraufhin ein Potenzplanimeter für Trägheitsmomente in der Ausführung, wie Professor Werkmeister angeboten, fest bestellen (Walther an Ott, 17. Dezember 1932).

So konnte Ott sich zwar über die neue, Walthersche Bestellung freuen, mußte diesen jedoch sogar zunächst bitten, erst noch

die endgültige Fertigstellung des Instruments für Professor Werkmeister abzuwarten und dann erst fest zu entscheiden, wie Ihr Gerät gebaut werden soll. Die Fertigstellung des Instruments für Werkmeister hat sich sehr in die Länge gezogen, doch hoffe ich, daß es nunmehr seine endgültige Form hat und in Bälde zur letzten Prüfung kommen kann (Ott an Walther, 20. Dezember 1932).

Trotz dieses Vertröstens bat Walther am 22. Dezember 1932 darum, daß ihm schon eine Teilrechnung über 300 RM ausgestellt werde, damit er sie bezahlen und somit das Geld ausgeben könne; genauer: »damit wir vor Ueberraschungen gesichert sind.«⁶² Und erst am 10. Februar 1933 konnte Ott ankündigen: »Das Potenzplanimeter mit 3 Rollen für Professor Werkmeister wird gerade endgültig fertiggestellt und ich werde Ihnen demnächst Photographien zusenden können.«

Das erste »richtige« 3-Rollen-Momentenplanimeter und seine Dimensionierung. Aus den Versuchen seines Bruders, die nicht so ganz geglückt waren, nämlich mit anfänglich vielen unterschiedlichen Rollendurchmessern und/oder Fahrarmlängen bei den Potenzplanimetern *Adler-Ott* zu arbeiten, hatte Ludwig Ott zunächst die Lehre gezogen, daß ein einheitlicher Durchmesser für alle in ein und demselben Instrument verwendeten Rollen und auch eine möglichst einheitliche Fahrarmlänge zu bevorzugen seien, und hatte sich bei ersterem für $u = 6.25$ cm entschieden.⁶³ Bei einer (maximalen) Fahrarmlänge von $f = 40$ cm ergeben sich damit folgende Werte für die Noniuseinheiten (1/1000 der jeweiligen »Flächeneinheiten«): $NE_1 = f \cdot u/1000 = 0.25$ cm² für $\int f(x) dx$; $NE_2 = \frac{1}{2} f^2 \cdot u/1000 = 5$ cm³ für $\int f(x)^2 dx$; $NE_3 = \frac{3}{4} f^3 \cdot u/1000 = 300$ cm⁴ für $\int f(x)^3 dx$. Die Fahrarmlänge war bei diesem Instrument einstellbar; für $f = 16$ cm = $0.4 \cdot 40$ cm sind die obigen NEs daher mit 0.4, $0.4^2 = 0.16$ bzw. $0.4^3 = 0.064$ zu multiplizieren, was auf $NE_1 = 0.1$ cm²; $NE_2 = 0.8$ cm³; $NE_3 = 19.2$ cm⁴ führt.

Die Publikation Werkmeister 1934. Werkmeister selbst stellte das Instrument in der November-Lieferung der *ZfI* 54 (1934), S. 410–412, vor; sein Artikel wurde auch unter der Bezeichnung Dd 362 in die Druckschriftenreihe der Firma Ott aufgenommen. Der Aufbau seines Beitrags ist ähnlich wie sein Referat aus dem Jahr 1932 zu den Potenzplanimetern *Adler-Ott*, allerdings wurde nun auch ein Photo eines konkreten Instruments als Werkmeistersche Abbildung 2 verwendet (vielleicht war dieses Instrument das 1932 an Werkmeister gelieferte, wahrscheinlich aber doch ein bei Ott photographiertes neueres).

62 Ja, die Öffentlichen Haushalte – damals wie heute schwer einzuschätzen. Nur die Haushaltssperren sind sicher ... bis auf ihr Datum.

63 Die spätere Entwicklung sollte Ludwig Ott jedoch immer wieder zwingen, von diesem an sich ja ganz netten »Vereinheitlichungsgedanken« Abstand zu nehmen (worauf aber hier nicht weiter eingegangen werden kann).



Abb. 27: 3-Rollen-Momentenplanimeter nach Werkmeister; hier: Ott-Bild 35025 (fast identische Abbildung z. B. auch bei Willers, *Maschinen*, 1951, S. 165, Abb. 140).

Die Theorie wurde von Werkmeister ebenfalls ähnlich wie 1932 präsentiert, wobei bei der Ermittlung der Meßeinheiten zwei Unterschiede gegenüber den im vorigen Absatz hergeleiteten Werten zu beachten sind: Erstens hob Werkmeister auf die Flächeneinheiten FE_i ab, so daß die bei ihm zu findenden Werte gegenüber den NE_i zunächst mit dem Faktor 1000 vergrößert sind. Zweitens wurden, dem Verwendungszweck bei der Momentenberechnung entsprechend, die dabei auftretenden Vorfaktoren gleich einbezogen. Für die Fläche $F = \int f(x) dx$ ist dieser Vorfaktor gleich 1; für das statische Moment M gilt $M = \frac{1}{2} \int f(x)^2 dx$, also $\int f(x)^2 dx = 2M$, und für das Trägheitsmoment J ist $J = \frac{1}{3} \int f(x)^3 dx$, also $\int f(x)^3 dx = 3J$. Will man also mit den Meßeinheiten statt auf $\int f(x)^2 dx$ bzw. $\int f(x)^3 dx$ gleich auf die Werte der Momente M bzw. J zusteuern, so ist FE_2 noch zu halbieren, FE_3 zu dritteln. Das führt bei einer Fahrarmlänge von 40 cm auf $FE_1 = 250 \text{ cm}^2$; $FE_2 = 2500 \text{ cm}^3$; $FE_3 = 100000 \text{ cm}^4$, und bei der Fahrarmlänge von 16 cm auf $FE_1 = 100 \text{ cm}^2$; $FE_2 = 400 \text{ cm}^3$; $FE_3 = 6400 \text{ cm}^4$. Diese Werte finden sich also bei Werkmeister angeben.⁶⁴

In einer kurzen Einleitung verwies Werkmeister auf die bereits vorhandenen Instrumente nach Amsler (hergestellt von *Amsler*) und Hele-Shaw (hergestellt von *Coradi*) und hob ziemlich mißverständlich heraus, daß »das im folgenden beschriebene Momentenplanimeter [...] keine Zahnradübersetzungen, sondern nur gewöhnliche Meßrollen« verwende – was natürlich nicht charakteristisch ist; im Gegenteil: das Coradi-Instrument benutzte selbstverständlich auch Meßrollen, die allerdings auf einer mattgeschliffenen Glaskugel rollten, und das Amsler-Instrument benutzte ebenfalls, und sogar wie die üblichen Polarplanimeter, Meßrollen, die *auf der Zeichenebene* glitten und rollten. Der eigentliche Unterschied bestand vielmehr darin, daß die von Amsler *und* Coradi verwen-

⁶⁴ In NE statt FE finden sich diese Werte auch schon im Brief von Ott an Werkmeister vom 25. Juli 1932.

deten Zahnradübersetzungen zur Winkelvervielfachung jetzt eben durch *Gelenkmechanismen* ersetzt worden waren.

Die für $n = 2$ von Adler angegebene Anordnung wurde unter namentlicher Nennung Adlers von Werkmeister herausgestellt; er setzte fort, daß eine »Möglichkeit zur entsprechenden Anordnung der Rolle R_j [für das Trägheitsmoment J . JF] [...] von mir angegeben« wurde, und: »Die Firma A. Ott in Kempten (Allgäu) hat meinen Gedanken in die Tat umgesetzt und das hier beschriebene Instrument gebaut.« Ohne Nennung Adlers verbannte er jedoch dessen ursprünglichen Gelenkmechanismen-Ansatz in eine Fußnote: »Nachträglich hörte ich, daß schon von anderer Seite diesbezügliche Vorschläge gemacht worden sind, die sich aber als mechanisch nicht ausführbar erwiesen hatten.« Dies alles konnte aber eigentlich nur so verstanden werden, daß Adler die Erfindung des Gelenkmechanismus für $n = 2$, Werkmeister hingegen die (praktikable) Zusatz-Erfindung für $n = 3$ zugeschrieben wurde. Daraufhin endlich meldete sich die Firma Amsler zu Wort.

2.3. Die Kontroverse mit Amsler

Amsler vs. Ott, Adler und Werkmeister. Mit Brief vom 16. Januar 1935 an Alwin Walther (Abschrift im Briefwechsel Ott/Walther) beklagte sich die Firma Alfred J. Amsler & Co., Schaffhausen, aus Anlaß der Werkmeisterschen Publikation von 1934 darüber, daß in dessen Aufsatz die verwendeten Gelenkkonstruktionen »als eine Erfindung der Herren Adler für Verdopplung und Werkmeister für die Verdreifachung angegeben« worden seien.

Nun ist aber diese Integratorkonstruktion eine altbekannte Sache, die schon in der grundlegenden, geschichtlichen Schrift des Professors Jakob Amsler aus dem Jahre 1856 dargestellt ist, sicher eine Erfindung Prof. Amslers. Wir würden es gerne begrüßen, wenn die geschichtliche und mathematische Wahrheit durch eine Eingabe an die Z.F.I. [sic!] richtiggestellt würde; diese Eingabe wäre sicher wirksamer, wenn sie von dritter wissenschaftlicher Seite aus geschehen würde. Wir möchten durchaus den Eindruck vermeiden, daß es sich um eine Geschäftsreklame handelt. Wir erlauben uns daher die Anfrage, ob Sie grundsätzlich bereit wären, die unrichtigen Angaben in der Z.F.I. durch eine kleine Erwiderung richtig zu stellen. Wenn ja, so würden wir Ihnen die nötigen Unterlagen zustellen. Wir hoffen auf Grund unserer guten Beziehungen, daß es Ihnen möglich sein wird, für das geistige Eigentum des Professors Amsler sel. einzutreten und zeichnen hochachtungsvoll [...].

Walther verfaßte daraufhin einen Antwortentwurf (undatiert, als Abschrift im Briefwechsel Ott/Walther enthalten), in dem er auf die Selbständigkeit der Adlerschen Konstruktion im Jahr 1930 hinwies, sich aber an den versprochenen Unterlagen interessiert zeigte. Mit Brief vom 26. Januar 1935 informierte Walther auch Ott über die Amslersche Intervention: »Ich beabsichtige, nach dem beiliegenden Entwurf zu antworten, und bitte Sie um Ihre Meinung.« Die bekam er postwendend am 29. Januar 1935. Dabei kritisierte Ott vor allem die späte Wortmeldung der Firma Amsler; bestätigte allerdings nach einem Blick in Amslers Publikation aus dem Jahr 1856 die dort verwendeten Gelenkkonstruktionen; führte die in der konkreten Ausführung durchweg bevorzugte Winkelviel-

fachung per Zahnrädern als möglichen Grund für das Vergessenwordensein an; wies auf die seiner Ansicht nach weder »praktisch brauchbare oder wenigstens vorteilhafte mechanische Lösung des Problems« hin, wie Jakob Amsler 1856 die Gelenke kombiniert hatte; hielt hinsichtlich der Firma Amsler dafür, daß es »[s]eines Erachtens das Richtige [sei], wenn sie sich an den Autor des beanstandeten Aufsatzes, Herrn Professor Werkmeister wendet«; und schloß schließlich das Thema mit dem Satz: »Ich lasse sehr gern den Herren Amsler, Adler, Werkmeister das Verdienst, jeweils gute mathematische Ideen gehabt zu haben und begnüge mich meinerseits mit der Feststellung, dass mir die Übersetzung dieser mathematischen Ideen in eine konstruktiv brauchbare Form gelungen ist.«

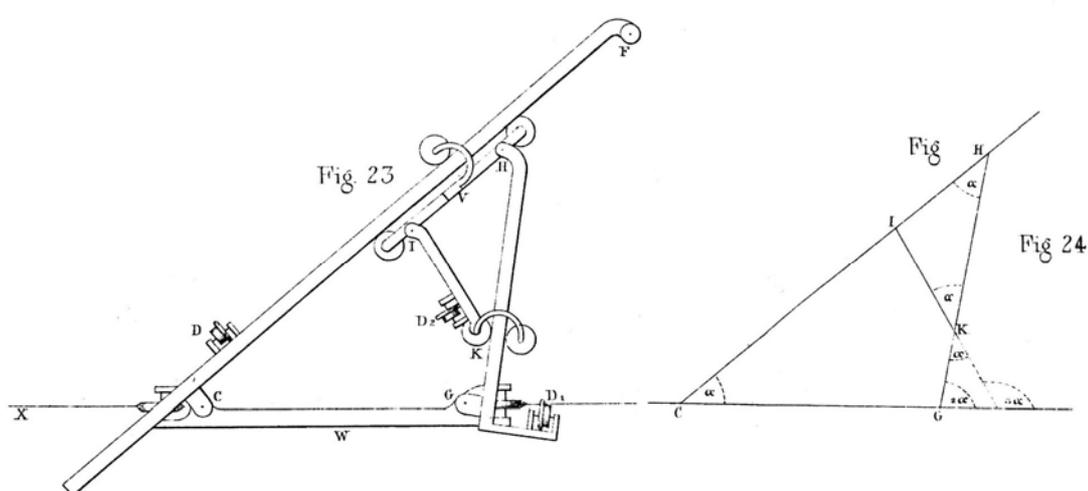


Abb. 28: Prinzip eines 3-Rollen-Integrators mit Gelenkmechanismus nach Amsler; hier Fig. 23 und 24 der Tafel 2 aus Amsler, *Bestimmung*, 1856 (für eine weitere Prinzipskizze s. o. am Beginn von 2).

Am 12. Februar 1935 antwortete Walther der Firma Amsler (Brief nicht im Briefwechsel Ott/Walther enthalten), anscheinend nahe an seinem Entwurf, jedoch – darin Ludwig Otts Empfehlung folgend – unter Einbeziehung von bzw. Hinweis auf Werkmeister. Am 14. Februar 1935 kam die Amslersche Antwort, begleitet von 2 Sätzen Photokopien mit Auszügen aus der Amslerschen Publikation von 1856 und den zugehörigen Abbildungen. Am 19. Februar 1935 gab Walther einen Satz an Werkmeister weiter; in seinem Begleitbrief an Werkmeister heißt es unter anderem: »Daß Sie oder Herr Adler unrichtige Angaben gemacht hätten, kommt selbstverständlich nicht in Frage.« Und:

Daß man eine kleine geschichtliche Notiz in der Zeitschrift für Instrumentenkunde bringt, halte ich nach Einsichtnahme in das Amslersche Buch für richtig; weniger zur »Ehrenrettung« von Jakob Amsler, als vielmehr deshalb, um die vollständige Selbstständigkeit von Herrn Adler und Ihnen hervorzuheben. Ob Sie oder ich, wie die Fa. Amsler will, das machen, ist eine mehr taktische Frage. (Walther an Werkmeister, 19. Januar [*recte*: Februar] 1935; Abschrift im Briefwechsel Ott/Walther).

Dennoch entbrannte dann zwischen Amsler und Ott (vertreten einerseits durch den Chefmathematiker Francis Dubois bei Amsler, andererseits durch Ludwig Albert Ott) ein Prioritätenstreit auf mehreren Ebenen. Dubois ließ es sich (in Dubois, *Planimètres*, 1935, oder auch noch in Dubois, *Planimeter*, 1942/43) nicht nehmen, anlässlich der Vorstellung der *Adler-Werkmeister-Ott*-Linearpotenzplanimeter und der zwischenzeitlich bei Amsler konstruierten und ebenfalls neuen Potenzplanimeter nun auch öffentlich genüßlich darauf hinzuweisen, daß schon Jakob Amsler 1856 den bei *Adler-Ott* und *Werkmeister-Ott* verwendeten Grundmechanismus beschrieben hatte. Die – nun ebenfalls öffentliche – Antwort von Ott hierauf mußte notgedrungen etwas schwach ausfallen, bekam aber immerhin noch die Kurve zur Vorwärtsverteidigung:

Es ist wohl gut, daß dem Verfasser [= L. A. Ott] die betreffende Literaturstelle verborgen geblieben war, da er sich sonst vielleicht von der Verfolgung einer Idee hätte abhalten lassen, aus der selbst das Genie eines Amsler nichts Brauchbares zu machen wußte, während sie schließlich doch zu der Erfindung der hier beschriebenen Integriermeter geführt hat (Ott, *Planimeter*, 1936, S. 43, Fußnote 3).

Soviel nur kurz an dieser Stelle zum öffentlich ausgetragenen Streit; hinter den Kulissen – hauptsächlich niedergelegt in Briefen – hatte die Angelegenheit, wie gesehen, zunächst eine versöhnlicher klingende Wendung genommen.

2.4. Die weitere Entwicklung der Potenzplanimeter *Adler-Ott* bzw. *Werkmeister-Ott*

Um die weitere Entwicklung richtig einschätzen zu können, muß zunächst ein kurzer, zusammenfassender »Blick zurück« geworfen werden: Ausgehend von vor allem Alwin Walthers Drängen nach einer Erweiterung der Linearpotenzplanimeter-Konstruktionen *Adler-Ott* mit Gelenkmechanismus für die Potenzen $n = \frac{1}{2}$ und 2 auf $n = 3$ hatte ursprünglich Heinz Adler Vorschläge auch für die dritte Potenz gemacht, was ihn jedoch weg von den Gelenkmechanismen und hin zur Kurvensteuerung gebracht hatte. Basierend auf Adlers Winkelverdopplung für $n = 2$ hatte Werkmeister dann seine Idee für $n = 3$ skizziert und dies im April 1932 Ludwig Ott mitgeteilt, woraus letzterer rasch eine brauchbare Grundkonstruktion entwerfen konnte. Die darauf beruhenden 3-Rollen-Potenzplanimeter *Werkmeister-Ott* waren von vornherein mit veränderlicher Fahrarmlänge konzipiert worden, während die beiden *Adler-Ott*-Instrumente ganz zu Anfang feste Fahrarmlängen besessen hatten. Da Funktion und Konstruktion des Potenzplanimeters *Adler-Ott* für $n = \frac{1}{2}$ ohnehin keinen veränderlichen Fahrarm erlaubten, blieb das bei ihm auch weiterhin so; hingegen hatte sowohl das Versuchsmodell III als auch das erste »richtige« Potenzplanimeter *Adler-Ott* für $n = 2$ einen veränderlichen Fahrarm bekommen. Wenn man aber beim 3-Rollen-Potenzplanimeter *Werkmeister-Ott* die gesamte Mechanik samt Meßwerk für $n = 3$ einfach wegließ, hatte man wieder ein (simultanes) Linear- und Linearquadratplanimeter mit veränderlichem Fahrarm – also genau das entsprechende *Adler-Ott*. Das hätte bei den Kunden zur Verwirrung geführt, und daher entwickelte sich im Lauf der Zeit folgende Aufteilung in wesentlich vier Modelle mit Gelenkmechanismen zur Winkelvervielfachung:

(1) Das kombinierte (aber *nicht* simultane) Linear- und Linearquadratwurzelplanimeter *Adler-Ott* behielt sein *eines* Meßwerk und die – notwendigerweise – feste Fahrarmlänge f ; es wurde ab 1930 bis zum Schluß (natürlich begleitet von einigen Veränderungen im Design) im Programm der Firma Ott geführt. Nahezu den gesamten Zeitraum über trug es die Modellnummer 160, zum Schluß jedoch die 35.001 (mit Fahrstift) bzw. 35.002 (mit Fahr- lupe). Als einziges Spezialinstrument neben den »üblichen« Planimetern überlebte es noch bis zur Aufgabe der Mathematischen Abteilung im Jahr 1990 (es ist z. B. in der letzten gedruckten Mathematischen Preisliste für das Jahr 1988 noch aufgeführt, während Integratoren, Integraphen, Integrimeter, Derivimeter, Harmonische Analysatoren, Stieltjes-Planimeter usw. schon längst nicht mehr bei Ott hergestellt wurden).

(2) Das kombinierte Linear- und Linearquadratplanimeter *Adler-Ott* wurde ab etwa 1933 *nur noch mit fester Fahrarmlänge* f gebaut; hatte man anfangs bei ihm auch noch die Wahl, eine Ausführung mit zweiter Meßrolle für die *simultane* Messung von Fläche *und* statischem Moment zu bestellen, wurde dies schon kurze Zeit später zur Regelausstattung. Diese Standardversion mit der Modellnummer 170 existierte bis etwa Ende der 1950er Jahre parallel zur »abgemagerten« 2-Rollen-Version (4) des *Werkmeister-Ott* 3-Rollen-Instruments (3), die sich damit (praktisch) nur durch die veränderliche Fahrarmlänge vom *Adler-Ott*-Instrument unterschied.

(3) Das 3-Rollen-Potenzplanimeter *Werkmeister-Ott* wurde in zwei Größen und mit unterschiedlicher Zahl von Fahrstiften mit jeweils fester Position weiterentwickelt und hergestellt. Während das kleinere Instrument mit 2 oder später auch 3 festen Fahrstiften und daher ebenso vielen einsetzbaren Fahrarmlängen f (üblich waren 5, 12.5 und 25 cm) ausgeliefert wurde, konnte das größere mit 3 oder 4 solchen Fahrarmlängen bestellt werden (hier kam noch die Fahrarmlänge 50 cm hinzu, auf Sonderwunsch auch noch 64 cm). Der für alle Rollen einheitliche Meßrollenumfang u war bei diesen Geräten jetzt auf genau 6.4 cm festgelegt worden. Um 1938 ersetzte man die »vielen« Fahrstifte durch *einen festen* in maximaler Fahrarmlänge und *einen* über eine $\frac{1}{2}$ -mm-Skala *einstellbaren* Fahrstift. Die Herstellung dieser als Ott 182 bzw. 186 (kleinere bzw. größere Ausführung) bezeichneten Instrumente wurde nach 1945, spätestens wohl 1950, aufgegeben, da man ab dann bei Ott für Potenzen ≥ 3 nur noch auf die schon vor dem Zweiten Weltkrieg (spätestens ab 1938) konstruierten *kurvengesteuerten* Potenzplanimeter der Modellreihe 190 ff. setzte.

(4) Durch Weglassen der Mechanik für $n = 3$ entstanden aus den 3-Rollen-Potenzplanimetern *Werkmeister-Ott* ab etwa 1933 auch entsprechende 2-Rollen-Potenzplanimeter *Werkmeister-Ott*, die im Gegensatz zu der damals für das Linearquadratplanimeter *Adler-Ott* getroffenen Festlegung einen längenveränderlichen Fahrarm besaßen. Es war also eigentlich eher nur eine Frage der Zeit, bis sie das Linearquadratplanimeter *Adler-Ott* (2) mit fester Fahrarmlänge vollständig ersetzen würden; dieser Zeitpunkt war gegen Ende der 1950er Jahre gekommen. Danach blieben die 2-Rollen-Potenzplanimeter *Werkmeister-Ott* noch bis Anfang der 1970er Jahre im Programm der Firma Ott. Nahezu den gesamten Zeitraum über trugen sie die Modellnummern 180 bzw. 184 (kleinere bzw. größere

Ausführung), zum Schluß jedoch die 35.051 (kleine Ausführung, mit Fahrstift), 35.052 (klein, mit Fahrlupe), 35.061 (groß, mit Fahrstift) sowie 35.062 (groß, mit Fahrlupe).

Die Namen von Adler und Werkmeister wurden jedoch spätestens in der Zeit nach 1945 nicht mehr in den für die Potenzplanimeter einschlägigen Prospekten der Firma Ott erwähnt.

3. Die Radialfunktionsplanimeter *Adler-Ott*, 1930

3.1. Die Instrumente

Ein neues Thema. Mit dem Linearquadratwurzelplanimeter Adler-Ott stand ein Instrument zum »Ausmessen von Diagrammen mit quadratischen Ordinaten« zur Verfügung, das auf graphisch gegebenen Funktionen in *cartesischen Koordinaten* operierte. Aber: »Wie ich Ihnen schrieb«, teilte Ludwig Ott Alwin Walther mit,

gibt es in England und Amerika noch Registrierapparate mit quadratischer Teilung.⁶⁵ Ich habe nun die diesbezüglich vorhandenen früheren Korrespondenzen nachgesehen und leider gefunden, daß es sich um Registrierung auf Scheiben handelt. Man braucht also ein Radialplanimeter für quadratische Teilung.⁶⁶ Es gibt auch hierfür schon Lösungen mit Leitkurve, für die ich mich aber nicht erwärmen kann, weshalb ich deren Fabrikation trotz vorhandener Nachfrage nicht aufgenommen habe (Ott an Walther, 18. Februar 1930).

D. h., die Auswertung dieser Scheibendiagramme erforderte ein Quadratwurzelplanimeter für in *Polarkoordinaten* aufgezeichnete Funktionen, also ein sogenanntes (in der ausführlichen, wenn auch etwas langatmigen und zudem historisch gewachsenen Bezeichnung) *Radialquadratwurzelplanimeter*. Doch das war noch nicht alles.

Radialquadratwurzelplanimeter oder Radialfunktionsplanimeter? Ohne dieses Thema im Folgenden weiter zu vertiefen und die Angelegenheit damit komplizierter zu machen, möchte ich hier doch ganz kurz einige zusätzliche Eigenheiten dieser Fragestellung erwähnen. Denn die erwähnten Scheibendiagramme sind – aus technischen Gründen – nicht in echten r, φ -Polarkoordinaten aufgezeichnet, sondern in einer doppelten Modifikation davon: erstens erfolgt die Aufzeichnung nicht vom Nullpunkt des Koordinatensystems aus, sondern erst ab einer Nulllinie $r = r_0 > 0$; zweitens – und gravierender – erfolgt die Aufzeichnung in der Regel *nicht radial* vom Diagramm- oder Scheibenzentrum aus, sondern *längs Kreisbögen*, deren Entstehung durch den Ausschlag eines Schreibarms um einen festen Punkt vorstellbar ist. Diese Kreisbögen verlaufen zwar durch das Zentrum, aber insgesamt ist das entstehende Koordinatensystem ein *krummliniges Polar-*

65 Die nicht ganz glücklich gewählte, aber seit langem etablierte Nomenklatur versteht unter einem Diagramm mit quadratischer Teilung eines, bei der aus meßtechnischen Gründen nur das Quadrat einer zu messenden Größe statt der Größe selbst registriert wird. Das heißt, daß zur Integration über die Größe zuvor aus der Aufzeichnung die Wurzel zu ziehen ist – und das war für Aufzeichnungen in *cartesischen Koordinaten* mit dem Linearquadratwurzelplanimeter Adler-Ott gelungen.

66 Also ein Radialquadratwurzelplanimeter, das Pendant zum Linearquadratwurzelplanimeter, jedoch statt für Aufzeichnungen in *cartesischen Koordinaten* nun für reine oder, wie sich noch zeigen wird, leicht modifizierte Polarkoordinaten.

koordinatensystem mit Nulllinie, und ein Integrierinstrument, das aus einer in diesem System aufgezeichneten Funktion vor der Integration noch die Quadratwurzel zu ziehen hat, muß auch diese Eigenheiten berücksichtigen. Das heißt aber, daß schon die Aufzeichnung – obwohl es immer kurz so formuliert wird – nicht wirklich rein »quadratisch« in echten Polarkoordinaten erfolgt, sondern nach einer *nur im Grunde quadratischen* Gesetzmäßigkeit, die jedoch zusätzlich den erwähnten Modifikationen unterworfen wird. Es liegt also eine viel allgemeinere – und auch von den Charakteristika des Aufzeichnungsgeräts (Größe der Nulllinie, Länge des Schreibarms) beeinflusste – funktionale Abhängigkeit vor, die aus der Sicht eines echten Polarkoordinatensystems ganz einfach nicht mehr rein quadratisch sein *kann*. Ein Radialquadratwurzelplanimeter, das dies berücksichtigt, ist also eigentlich ein *spezielles* (auf das konkrete krummlinige Koordinatensystem und das Wurzelziehen zugeschnittenes) *Radialfunktionsplanimeter* oder – was allerdings erst sehr spät als Bezeichnung eingeführt wurde – ein sogenanntes *korrigiertes Radial(quadrat)wurzelplanimeter*.

Ein Wunsch und seine Erfüllung. Auch hier kam es schnell zu einer Reaktion: »Für Ihre Wünsche hinsichtlich des Radialplanimeters sendet Ihnen Herr Adler heute einen Vorschlag« (Walther an Ott, 21. Februar 1930); Walther kündigte zugleich ein Telephonat mit Ott an, »um Näheres über einen etwaigen Besuch von Herrn Adler in Kempten mit Ihnen zu besprechen.« Irgendwann innerhalb der nächsten 14 Tage kam Adler dann nach Kempten zu Besuch (denn Walther dankt am 7. März 1930 für den Empfang Adlers in Kempten). Offenbar ging es mit den Radialpotenzplanimetern *Adler-Ott* dabei auch weiter voran – vor allem aber mit den parallel dazu und schon weiter vorangetriebenen Linearpotenzplanimetern. Der Fortgang dieser Arbeiten jedenfalls freute Walther, und so gab er seinem Wunsch Ausdruck: »Hoffentlich klappt es nun auch mit dem Radialplanimeter« (Walther an Ott, 26. März 1930).

Das aber war nur teilweise der Fall, wie ein Brief Ludwig Otts an Alwin Walther vom 6. Juni 1930 zeigt:

Ich sende Ihnen gleichzeitig 2 Exemplare einer gestern und heute gefertigten Studienzeichnung [leider nicht im Briefwechsel erhalten. JF] zu einem Radialplanimeter mit quadratischen Ordinaten, nach dem mir von Herrn ADLER am 23.3.30 mitgeteilten Schema. Wie die mechanische Durchbildung sich gestaltet, ist noch offen, aber ich halte das Planimeter in der einen oder anderen Form jedenfalls für ausführbar. Leider besteht das Bedenken, daß diese Instrumente sich wesentlich teurer stellen werden als ein von einer amerikanischen Firma auf den Markt gebrachtes Radialplanimeter mit Kurvenführung. Es bleibt daher nichts übrig als weiterzustudieren und unter Umständen auch ein Radialplanimeter mit Kurvenführung, aber in besserer Art als jene der amerikanischen Firma zu bauen (Ott an Walther, 6. Juni 1930).

Und einen Monat darauf konnte Ott vermelden:

Das erste Exemplar eines Radialplanimeters für quadratische Teilung, nach dem amerikanischen System – mit Kurvenführung – ist im Rohbau fertiggestellt und gefällt mir selbst sehr gut. Ich bin nicht im Zweifel, daß ein Instrument mit Gelenkführungen

niemals so einfach und in ähnlicher Preislage gebaut werden kann (Ott an Walther, 4. August 1930).

Am 19. August 1930 sandte Ott an Walther einen Brief, der sich ausgiebig über das neue Radialquadratwurzelplanimeter ausließ:

Beiliegend übersende ich Ihnen Photographien zweier Radialplanimeter. Das eine für lineare und das andere für quadratische Teilung der Diagramme. Wie Sie sehen ist die Planimeterrolle in unveränderlicher Lage auf einem kleinen Tisch angebracht und es wird das Diagramm unter ihr durchgeschoben. Nach den bisherigen Erfahrungen lassen sich die Kurvenschlitze für den Zapfen, auf den das Diagramm gesteckt wird, ziemlich leicht herstellen und ist das Nachfahren der geschriebenen Kurven durch Bewegung des Papiers ganz bequem. Ich bin gerade daran, noch eine dritte Form dieses Planimeter-Typs zu konstruieren, bei welcher der gerade und der parabolische Schlitz stetig ineinander übergehen, sodaß dann ein und dasselbe Planimeter für beide Arten von Diagrammteilungen benützt werden kann. (Siehe die beige-fügte [in Kopie erhaltene, auf den 18.8.30 datierte, aber hier nicht wiedergegebene. JF] Skizze). Das ist vielleicht von Vorteil, weil in einem und demselben Unternehmen beide Arten von Diagrammen nebeneinander vorkommen können und man nur ein einziges Instrument braucht.

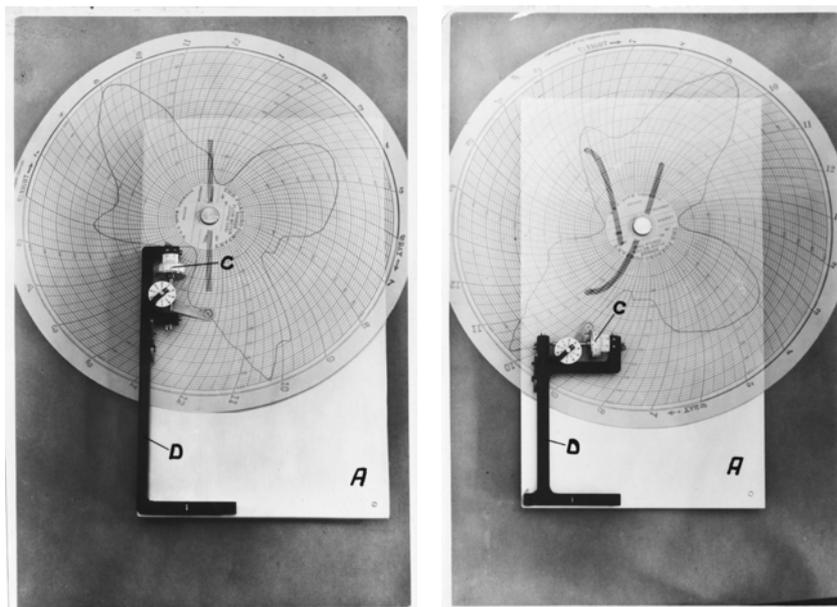


Abb. 29 u. 30: Abbildungen der beiden Radialplanimenterausführungen mit ortsfester Meßrolle; hier aus der Anmeldung zu DRGM 1159447 (Abbildungen auch erwähnt in Ott's Brief vom 19. August 1930).

Walther fand »die Ausführungen ausserordentlich elegant« und freute sich »darauf, diese Instrumente einmal in Wirklichkeit kennen zu lernen« (Walther an Ott, 3. Oktober 1930). Am 27. Oktober 1930 konnte (Hermann) Ott an Walther »eine Reihe von Photographien« übersenden:

Einmal 2 Stück für die endgültige Ausführung des Potenzplanimeters und Wurzelplanimeters,⁶⁷ dann 3 Stück für die endgültige Ausführung der Spezialplanimeter für kreisförmige Diagramme. Von den letzteren wurde vor kurzem je ein Musterinstrument an Foxboro abgeliefert von den ersteren ein Wurzelplanimeter an Klinkhoff-Wien. Die Untersuchung aller Instrumente hat Umfahrungsresultate ergeben deren maximale Fehler etwa bei 0,2 %, deren mittlere Fehler bei ca. 0,1 % lagen. Bei den Radialplanimetern lagen die Fehler teilweise noch erheblich darunter.

Am 18. November 1930 kam noch mehr Fahrt in die Angelegenheiten:

Potenzplanimeter Adler-Ott. [...] Von dem Radial-Potenzplanimeter mit Kurvenschlitz im Fahrgestell nach der von Herrn Adler im August gemachten Anregung ist nun auch ein Muster gemäß der beigefügten Photographie hergestellt. Die Messingplatte mit Schlitz, auf welche der Planimeterrahmen aufgeschraubt ist, muß noch etwas zugeschnitten werden, denn in der jetzigen Ausführung verdeckt sie zuviel von der Kurve. Ich habe auf gewissen Einzelheiten der nach Amerika gelieferten Muster von Radialplanimetern mit besonderem Tisch ein Gebrauchsmuster angemeldet und denke, daß es gut sein wird, das auch für das Radialplanimeter mit gekrümmtem Fahrarm und für die Adler-Ott Potenz-Planimeter zu tun. Wie der Schutzanspruch sein müßte, weiß ich allerdings noch nicht recht, da ein Gebrauchsmuster nicht, wie ein Patent, ein von der Materie losgelöstes Prinzip umfassen kann, aber die Lösung wird sich finden (Ott an Walther, 18. November 1930).

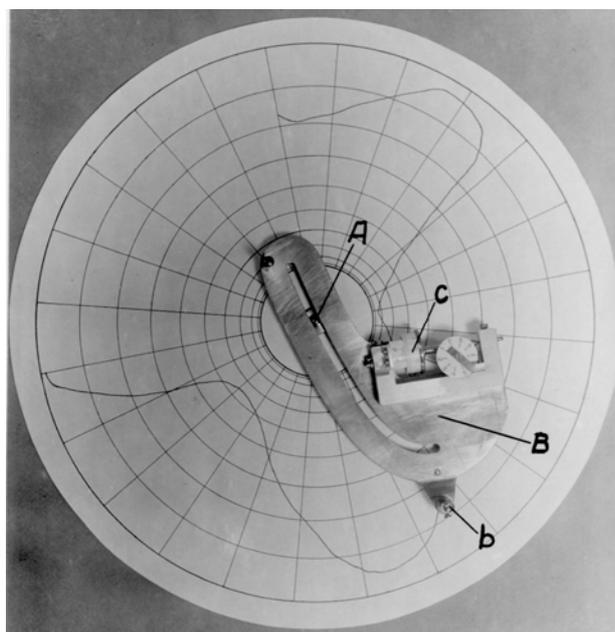


Abb. 31: Abbildung eines frühen Radialwurzelplanimeters mit ortsfestem Diagrammzentrum; hier aus der Anmeldung zu DRGM 1159448.

67 Gemeint sind das Linearquadrat- und das Linearquadratwurzelplanimeter *Adler-Ott* in den jeweils ersten »richtigen« Ausführungen (s. o. 1.1 und 1.2).

Adler hatte also offensichtlich die Relativbewegung zwischen Meßrolle und Diagramm ausgenutzt: während sich bei den von Ott in Anlehnung an amerikanische Vorbilder konstruierten Radial- bzw. Radialwurzelpanimetern das Diagrammzentrum in einem geraden bzw. gekrümmten Schlitz bewegte, die Meßrolle aber fest montiert war, benutzte Adler einen entsprechend geformten Schlitz, der über das Diagrammzentrum geführt wurde, um die Meßrolle über das Diagramm zu führen. Anders als bei den Ottischen Entwürfen war dadurch die Führung des Instruments mit nur *einer* Hand möglich, während bei Ott die Scheibe in der Regel mit beiden Händen bewegt werden mußte.

Die Veränderung der Relativbewegung beim Radialpotenzplanimeter wurde von Walther begrüßt:

Das Radial-Potenzplanimeter mit Kurvenschlitz nach Herrn Adlers Anregung im August finde ich ganz glänzend. Es ist ein Vergnügen, von diesem schönen Gedanken und von der Photographie Ihrer Ausführung Kenntnis zu nehmen. Ebenso wie Sie und Herr Adler bin auch ich der Ansicht, daß es gut sein wird, sich für alle die neuen Instrumente gesetzlichen Schutz zu verschaffen (Walther an Ott, 28. November 1930).

In irgendeiner Weise muß es anfangs aber doch Schwierigkeiten mit der Akzeptanz der Radialwurzelpanimeter (durch Foxboro?) gegeben haben, die sich jedoch nur sehr indirekt aus zwei Sätzen von Walther erschließen lassen: »Herr Adler gab mir Ihren Brief vom 15. Januar zu lesen. [...] Schade, daß es in Amerika mit Potenzradialplanimetern nicht geklappt hat« (Walther an Ott, 22. Januar 1931); *was genau* damit gemeint war, muß derzeit offen bleiben.

Am 3. März 1931 teilte Walther mit, daß er mit Adler zusammen die Publikation zu den Linearpotenzplanimetern Adler-Ott in der *ETZ* vorbereite (s. o. 1). Dies und die anderen gemeinsamen Themen nahm Ott zum Anlaß für einen längeren Brief an Adler (vom 4. März 1931), der ausnahmsweise wieder Eingang in die Korrespondenz Ott/Walther fand. Neben Fragen zur Gestaltung und Dimensionierung des Linearquadratplanimeters ging es auch um das Radialfunktionsplanimeter:

Radialplanimeter. Der Patentanwalt hat mir den Entwurf für das U.S.A. Patent gemacht, aber er gefällt mir noch nicht so recht, weil ich darauf gekommen bin, daß es zweckmäßig sein dürfte, auch die Kombination des Radialplanimeters mit einem gewöhnlichen Polar-Planimeter, gemäß der beigefügten Zeichnung, in den Patentschutz aufzunehmen. Eine im Prinzip gleiche Kombination hat auch meinem früheren U.S.A. Patent für das Universalplanimeter zugrunde gelegen. Wenn auch vielleicht die Kombination von Radialplanimeter in der neuen Form und Polarplanimeter in der Praxis keinen Anklang finden sollte ist es doch gut, dieselbe in den Patentschutz einzubeziehen, weil sonst ein Dritter auf die Kombination für sich allein ein Patent erwerben und dadurch das erste Patent wesentlich schädigen könnte.

Offensichtlich hatten Adler und Ott sich weiterhin Gedanken über eine Gelenkversion gemacht, denn Ott fährt unmittelbar im Anschluß fort:

Radialplanimeter für $\int r^2 d\varphi$. Ich habe mir überlegt, wie ein solches aussehen müßte und habe gefunden, daß die Kombination identisch ist mit dem Universalplanimeter

in Verbindung mit dem Polstab [...].⁶⁸ Folglich müßte eine sinngemäße Umkehrung dieses Planimetertyps ohne weiteres ein Radialplanimeter für $\int \sqrt{r} d\phi$ ergeben. Aber es zeigt sich leider, daß auch auf diesem Weg kein Instrument zu konstruieren ist, das an Einfachheit mit dem Radialplanimeter mit Kurvenschlitz in Wettbewerb treten kann.

3.2. Auch hier: Patent- und Gebrauchsmuster-Schutz, 1930 ff.

Was den rechtlichen Schutz betraf, entschied sich der mit einschlägigen Erfahrungen ausgestattete Ludwig Ott, in Deutschland anders zu verfahren als in den USA; so hatte er es auch schon beim »Universalplanimeter« gehalten, als er in Deutschland im August 1911 ein Gebrauchsmuster anmeldete, in den USA jedoch im Oktober 1911 ein Patent einreichte (das, nach einigen Schwierigkeiten, im September 1913 erteilt wurde).

Consecutio temporum: Ein deutsches Patent – oder doch nur ein Gebrauchsmuster? Im 1932 gewährten Patent US 1886576 von Ludwig Ott und Heinz Adler für das hier zu behandelnde Instrument ist zu lesen, daß eine entsprechende *Patentanmeldung* in Deutschland am 27. November 1930 eingereicht worden sei. Diese Datumsangabe deckt sich noch mit den späteren Darstellungen in Ott, *Entwicklung*, 1937, S. 44, sowie der Fußnote 1 in Ott, *Développement*, 1937, S. 206, wo ebenfalls auf eine »deutsche Priorität vom 27. November 1930« verwiesen wird. In Ludwig Otts unveröffentlichter Systematik der Integriergeräte vom Dezember 1935 (die möglicherweise aber auch *nach* diesem Datum noch be- und überarbeitet worden ist) weichen die angegebenen Daten jedoch gravierend von den in Ott, *Entwicklung*, 1937, bzw. Ott, *Développement*, 1937, gegebenen ab: denn in dieser Systematik ist für die im US-Patent behandelten Potenzradialplanimeter *kein* deutsches Patent und auch *keine* deutsche Priorität mehr angegeben, sondern stattdessen nur das Gebrauchsmuster DRGM 1150448 vom 8.12.1930. Was hat es also damit auf sich?

Die Gebrauchsmuster DRGM 1150447 und DRGM 1150448: Ott, 1930. Die beiden DRGM 1150447 und 1150448 wurden laut Datum ihrer Begleitbriefe am 18. bzw. 15. November 1930 abgesandt, trafen aber beide (nach noch dazu unüblich langer Laufzeit) am gleichen Tag, dem 27. November 1930, bei der Annahmestelle des Reichspatentamts in Berlin ein, und wurden ebenfalls gleichzeitig am 8. Dezember 1930 eingetragen (daher ist der *Eingangstag* beim Reichspatentamt dasjenige Datum, das später in der US-Anmeldung als Anmeldedatum für das deutsche »Patent« genannt wird).⁶⁹ DRGM 1150447 – obwohl die Unterlagen hierzu drei Tage später als der Antrag für

68 Diese etwas in die Irre führen könnende Formulierung meint ein Polarplanimeter mit der speziellen Einrichtung, daß die Meßrolle auf Fahrstifthöhe liegt. Das aber ist genau die – theoretische – Grundkonfiguration für das Polarplanimeter von Miller von Hauenfels, 1855, der ja auf die Sektorformel in Polarkoordinaten zusteuerte und daher den Integranden $r^2/2$ behandelte (multiplikative Faktoren wie hier $1/2$ können ja stets außer Betracht bleiben). Ott gewann mit seinen Überlegungen also etwas (insbesondere ihm) mehrfach Bekanntes zurück, führte aber Adler gegenüber nur das ihm und Adler sicher geläufigere Beispiel des sogenannten Ottschen Universalplanimeters an.

69 Ordner »Patente II« von Hermann Ott (Privatbesitz JF, vormals Firmenarchiv Ott).

DRGM 1150448 datiert waren, erhielt es die niedrigere DRGM-Nummer – bezieht sich auf ein Radial*funktions*planimeter (und daher *a fortiori* auch auf ein Radial*wurzel*planimeter) mit feststehender Integrierrolle, DRGM 1150448 auf ein solches mit festem Diagrammzentrum. Ludwig Ott reklamierte – zumindest in seiner nicht veröffentlichten Systematik – die Priorität für *diese beiden* Radialplanimetertypen für sich, und zwar mit der Angabe des jeweiligen DRGM.⁷⁰ Angesichts der zu vermutenden Kenntnis des Patents US 1650490 von Brown und Spink aus den Jahren 1926/1927 (Einreichung/Erteilung) bei Ludwig Ott⁷¹, das eine ganz ähnliche Konstruktion beschrieb und vorsah, muß dies durchaus die Frage aufwerfen, wieso er hier ein deutsches Gebrauchsmuster, dessen Prüfung – aber auch Anspruch – deutlich niedriger anzusetzen war und ist, im Rang *über* ein noch dazu *früher* erteiltes (ausländisches) Patent Dritter stellte. Über die Gründe hierfür kann man nur spekulieren.

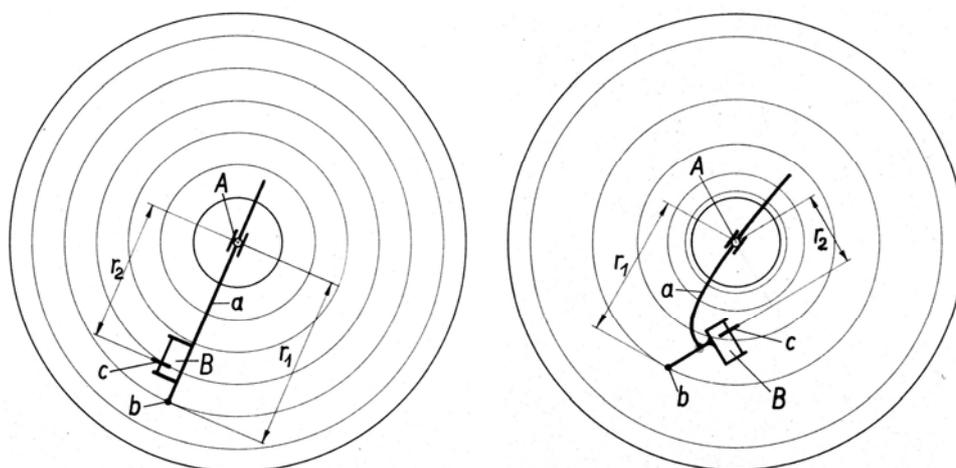


Abb. 32 u. 33: Zeichnungen zum Radial- und zum korrigierten Radialwurzelplanimeter aus der Anmeldung zu DRGM 1159448.

Das Patent US 1886576: Ott und Adler, 1931. Das Patent US 1886576 wurde für »Ludwig Ott, of Kempten, and Heinz Adler, of Frankfort-on-the-Main, Germany, assignors to the firm A. Ott, of Kempten, Germany, a partnership formed by Ludwig Ott and Hermann Ott« am 21. Mai 1931 eingereicht und am 8. November 1932 erteilt. Die in der Unterzeile des Patents zu findende und weiter oben schon erwähnte deutsche Priorität vom

70 Diese unveröffentlichte Systematik war und ist meine einzige Quelle für den Hinweis auf diese beiden Gebrauchsmuster. In der gedruckten Literatur wird, soweit ich weiß, an keiner Stelle darauf Bezug genommen.

71 Zumindest befindet sich noch heute eine Kopie des Patents und ein Notizblatt mit stenographisch niedergelegter Übersetzung von Teilen der Ansprüche im Ordner »Patente II« von Hermann Ott. Leider sind weder Kopie noch Notizblatt datiert, so daß man nicht definitiv feststellen kann, ob Ott sich diese Kopie erst im Rahmen einer späteren Auseinandersetzung besorgte und durcharbeitete, oder sie schon kannte, als er selbst mit dem Thema in Berührung kam. Letzteres halte ich aufgrund der allgemein äußerst guten Literatur- und Patentkenntnisse von Ludwig Ott für wahrscheinlicher.

27. November 1930 wird, wie bereits erwähnt, von Ludwig Ott noch in Ott, *Entwicklung*, 1937, S. 44, und Ott, *Développement*, 1937, S. 206, Fußnote 1, zitiert, auch wenn – mindestens ihm selbst – klar war, daß diese Priorität sich nicht auf ein Patent, sondern lediglich auf ein Gebrauchsmuster stützte (und auch das Datum daher nicht mehr stimmte). Zugleich wird in diesen beiden Publikationen von Ludwig Ott immer das frühere, eventuelle Prioritätsansprüche besser untermauernde Datum der *Anmeldung* beim *United States Patent Office* genannt, also der 21. Mai 1931, nicht aber das anderthalb Jahre spätere Datum der *Patenterteilung*. (Eine solche »Zitierweise« entspricht zwar deutschen Gepflogenheiten, bei denen der Beginn des Patentschutzes rückwirkend auf das Anmeldedatum bezogen wurde, ist aber im Zusammenhang mit US-Patenten, wo anders verfahren wird, nicht ganz korrekt.) Auch in seiner Systematik der Integrierinstrumente ist das *Eingangsdatum* der Gebrauchsmuster beim Patentamt zu lesen, also der 27. November 1930, nicht das (hier allerdings nur einige wenige Tage später liegende) *Eintragungsdatum*. Zumindest wird man daraus schließen dürfen, daß es Ludwig Ott in diesem speziellen Fall auf die jeweils frühesten und gegebenenfalls zitierbaren oder belegbaren Daten, und hier sogar auf *Tage*, ankam.

In den einleitenden Sätzen des Patents US 1886576 wird auf das frühere Patent US 1072153 von Ludwig Ott aus dem Jahr 1913 Bezug genommen (das sogenannte »Universalplanimeter-Patent«), zu dem das jetzige Patent eine Fortsetzung sei; konsequenterweise findet man daher nun auch in diesem neuen Patent die Kombination des Radialfunktionsplanimeters mit einem Polarm, die aus dem Instrument ein normales Polarplanimeter macht, wie es auch im Universalplanimeter-Patent vorkam. Es ist (mir) jedoch nicht klar, welche weiteren Details der Patentanmeldung den feinen Unterschied zum – noch dazu viel umfassender formulierten – Gesamtanspruch von US 1650490 von Brown und Spink aus den Jahren 1926/1927 ausmachen sollen.⁷² Offenbar aber sah das *US Patent Office* einen solchen Unterschied, nahm die Anmeldung daher trotz der zu diesem Zeitpunkt sicherlich noch bestehenden Gültigkeit von US 1650490 an und erteilte Ott und Adler das Patent.

4. Der Integraph *Adler-Ott*, 1931 ff.

Die Anfänge. Am 6. Februar 1931 fragte Alwin Walther in einem Brief an Ludwig Ott: »Was sagen Sie zu Adlers neuem Integraphen? Das primitive Versuchsinstrument funktionierte großartig. Ich hatte den Eindruck, daß sich auf dieser Basis billig ein wirkliches Gebrauchsinstrument herstellen läßt, von größerer praktischer Bedeutung als das Coradische Monstrum.« Ott antwortete postwendend am 10. Februar 1931: »Herrn Adler habe ich ersucht, mir das Muster seines Integraphen zur Ansicht zu senden. Ich werde die Angelegenheit mit aller gebührenden Sorgfalt verfolgen und fördern«, nochmals wieder-

⁷² Auf diese Problematik und auf das erwähnte US-Patent von Brown und Spink kann hier nicht weiter eingegangen werden. Es sei jedoch zumindest erwähnt, daß auch hier Prioritätsstreitigkeiten mit Amsler entstanden, da Amsler Instrumente nach US 1650490 für die amerikanische Firma Foxboro herstellte.

holt am 11. Februar 1931: »Herrn Adler habe ich um Einsendung seines Integraphenmodells ersucht.« Im Gegenzug dann wieder Walther am 20. Februar 1931: »Herr Adler und ich freuen uns sehr, daß Sie und Ihr Bruder dem neuen Integraphen Beifall schenken. Sicher wird nun die Kunst Ihrer Firma dem schönen Gedanken von Herrn Adler die beste Ausführungsform verleihen.« Ott mußte jedoch die Euphorie wieder etwas bremsen: »Hinsichtlich des Integraphen ist noch nichts geschehen. Ich bin erst heute dazu gekommen, denselben in das Konstruktionsbüro zu geben« (Ott an Walther, 28. Februar 1931).– Dies ist der Beginn der Geschichte des zweiten jemals kommerziell hergestellten und zugleich des nach seiner endgültigen Markteinführung um 1937 (relativ) erfolgreichsten Integraphen in der Geschichte der Mechanischen Integration.

Die (teilweise) Vorgeschichte: Bruno Abdank-Abakanowicz, Jules-Ambroise Pollard und Gottlieb Coradi. Eine »Schraube mit veränderlicher Ganghöhe« (*vis à pas variable*) – in der Form des Zusammenspiels eines Schneidenrads mit einem Zylinder von »weicher« Oberfläche, oder einer Rolle, die mit ausreichendem Druck auf dem Zylindermantel aufliegt und während der Drehung des Zylinders nur rollen und/oder ihre Richtung ändern, nicht aber gleiten kann – läßt sich in unterschiedlichster Weise realisieren, was die Relativbewegung beider Teile zueinander angeht. Dies gilt auch dann noch, wenn der Zylindermantel zu einem Rechteck ausgerollt ist. Bruno Abdank-Abakanowicz (1852–1900)⁷³ hatte schon am 20. März 1882 der *Académie des Sciences* in Paris ein entsprechendes Modell präsentiert,⁷⁴ bei dem die Rolle sich nur auf einer festen Parallelen zur x-Achse bewegen und zugleich ihre Rollenebene entsprechend einer gewünschten oder vorgegebenen Steigungsrichtung ändern konnte:

73 Biographische Details zu Bruno Abdank-Abakanowicz sind Mangelware. Schon bevor er um 1880 seinen Wohnsitz nach Paris verlegte, hatte er in Warschau mit Vorarbeiten zur Konstruktion eines Integraphen begonnen. Dieses Thema ließ ihn in den folgenden Jahren nicht mehr los; es fand jedoch 1888 einen gewissen Abschluß mit der kommerziellen Verfügbarkeit des von Coradi hergestellten Integraphen der Bauart Abdank-Abakanowicz (s. u.). Über die Tätigkeit von Abdank-Abakanowicz in den anschließenden 12 Jahren bis zu seinem Tod im Jahr 1900 ist mir nichts bekannt. Seine Witwe schenkte zahlreiche Demonstrations- und Versuchsmodelle an das *Conservatoire National des Arts et Métiers* in Paris, wo sie heute mit Gewinn zur quasi »materiellen« Ergänzung von Abdank-Abakanowicz' einschlägigen Publikationen Abdank-Abakanowicz, *Intégraphes*, 1886, und Abdank-Abakanowicz, *Integraphen*, 1889, herangezogen werden können.

74 Bericht in den *Comptes Rendus* der *Académie des Sciences* für den 20. März 1882. Die Präsentation wird erwähnt in Abdank-Abakanowicz, *Intégraphes*, 1886, S. 12, Fußnote (1) und nochmals in Abdank-Abakanowicz, *Integraphen*, 1889, S. 12, Fußnote *): »Der Verfasser hat am 20. März 1882 der Académie des Sciences in Paris ein Modell dieser Art vorgelegt.«

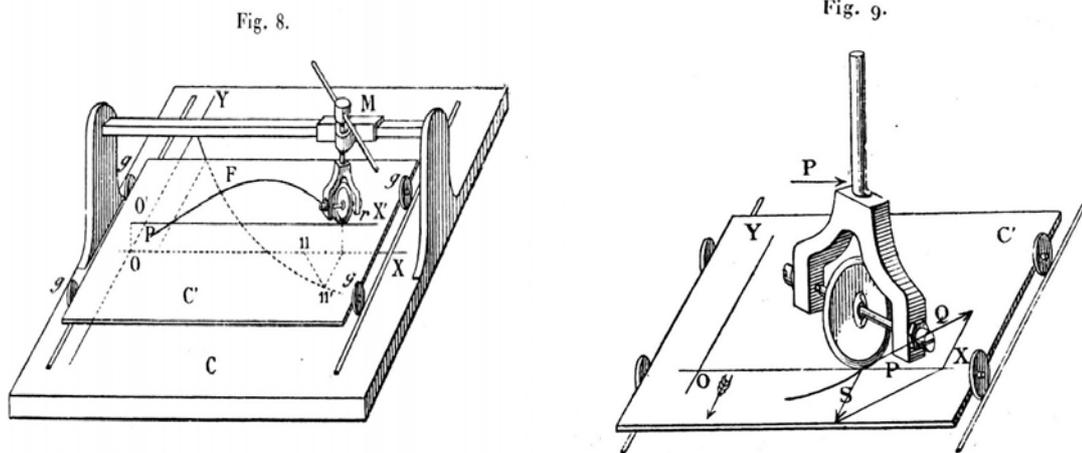


Abb. 34 u. 35: Prinzipmodell von Abdank-Abakanowicz, um 1882; Prinzip (links) und Detail (rechts); aus Abdank-Abakanowicz, *Intégraphes*, 1886, S. 12 und 13, Fig. 8 und 9 (identisch mit Abdank-Abakanowicz, *Integraphen*, 1889, S. 12 und 13, Fig. 11 und 12).

Dies erzwingt, daß nun das Rechteck (= die Zeichenfläche) in y-Richtung verschiebbar sein muß, da bei Schrägstellung der Rolle und ihrer Verschiebung in x-Richtung sofort auch eine y-Komponente entsteht, die wegen der Fixierung der Rollenbewegung auf die erwähnte x-Parallele und der Verhinderung des Gleitens der Rolle (durch die Schneide oder durch entsprechend hohen Druck auf eine normale Rolle) daher nur von einer in y-Richtung beweglichen Unterlage aufgefangen werden kann.

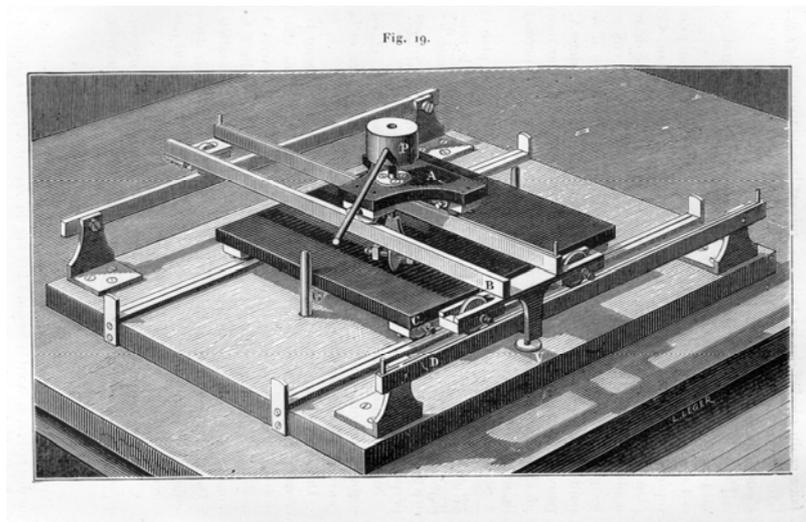


Abb. 36: Ausführung des Prinzipmodells von Abdank-Abakanowicz, um 1882; aus Abdank-Abakanowicz, *Intégraphes*, 1886, S. 22, Fig. 19 (identisch mit Abdank-Abakanowicz, *Integraphen*, 1889, S. 21, Fig. 22).

Diese Idee war es, die Anfang der 1930er Jahre von Heinz Adler wieder aufgenommen oder besser: wohl unabhängig von Abdank-Abakanowicz wiederentdeckt wurde, und von der eingangs zwischen Walther und Ott die Rede war. Wie man aus den Zeichnungen erkennt, geht das 1882 der *Académie des Sciences* vorgestellte Prinzipmodell von Abdank-Abakanowicz noch über das Problem hinweg, *wie* tatsächlich aus den Ordinaten einer Funktion $y = f(x)$ die entsprechende Rollenrichtung α mit $\tan \alpha = f(x)$ auf die Rolle übertragen werden soll, damit die von der Rolle hinterlassene Spur eine Funktion $F(x)$ erzeugt, für die $F'(x) = f(x) = \tan \alpha$ ist, und damit $F(x)$ eine Integralkurve zu $f(x)$. Denn die Zeichnungen weisen nur eine Art Führungsstange für die Rolle auf, womit offensichtlich deren Richtung allenfalls manuell, aber ohne einer gegebenen Kurve genau folgen zu können, verändert werden konnte; daher können sie nur als *Prinzipmodelle* angesehen werden.

In einer entsprechenden Steuerung wäre möglicherweise ein weiterer Beitrag von Heinz Adler zu suchen; andererseits aber lagen die Lösungen, die Abdank-Abakanowicz selbst schon für die Erzeugung von α aus $f(x)$ gefunden hatte, spätestens seit seinen umfassenden Publikationen von 1886 bzw. 1889 vor, so daß eine Kombination des Integraphen mit beweglicher Zeichenfläche und einer dieser Lösungen auf der Hand lag – und in der Tat auch schon weit vor Adler ausgeführt worden war. Die naheliegendste davon, nämlich eine bestimmte Länge in x-Richtung innerhalb des Instruments als Einheitsstrecke (also der Länge 1) zu deklarieren und aus einem längs der x-Achse verschiebbaren rechtwinkligen Dreieck mit der festen Ankathete 1 (in x-Richtung) und der veränderlichen Gegenkathete $f(x)$ (in y-Richtung) – also dem Steigungsdreieck – die Rollenrichtung α über $f(x) = f(x) : 1 = \tan \alpha$ zu erzeugen, wurde zwischen 1886 und 1889 von Abdank-Abakanowicz in Zusammenarbeit mit Jules-Ambroise Pollard (1852–1915), damals Direktor der *Ecole du génie maritime*, verwirklicht.⁷⁵

75 Abdank-Abakanowicz, *Integraphen*, 1889, S. 59.– In Abdank-Abakanowicz, *Intégraphes*, 1886, wird weder diese Ausführung noch die Zusammenarbeit mit Pollard erwähnt, so daß man davon ausgehen kann, daß sie allenfalls während oder nach der Publikation von Abdank-Abakanowicz, *Intégraphes*, 1886, begann, und erst zur Zeit der Publikation der veränderten und ergänzten deutschen Ausgabe von 1889 zu dem dort erwähnten und abgebildeten Instrument gediehen war.

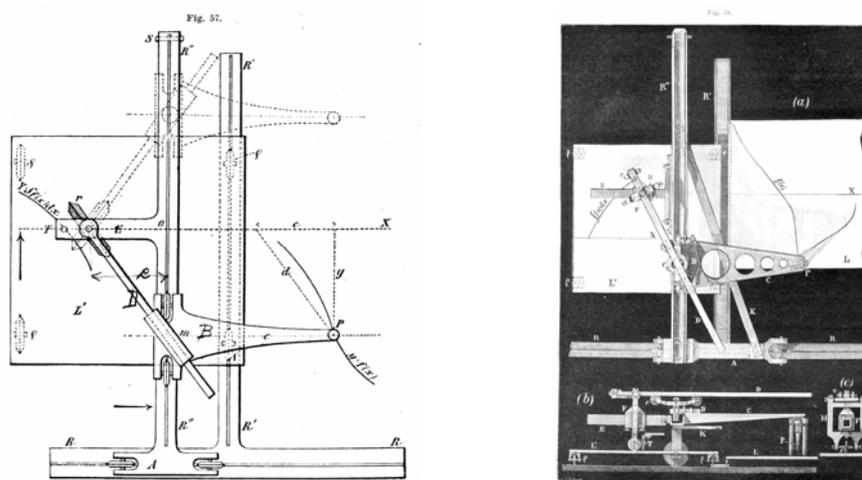


Abb. 37 u. 38: Integrator mit beweglicher Zeichenebene, System Abdank-Abakanowicz/Pollard, zwischen 1886 und 1889; links: Prinzip; rechts: Zeichnung einer Ausführung (aus Abdank-Abakanowicz, *Integraphen*, 1889, S. 56, Fig. 57, und S. 58, Fig. 58).

Heinz Adler schritt entweder auf diesem Weg weiter oder, eher anzunehmen, entwickelte ihn für sich neu. (Denn es erscheint mir äußerst unwahrscheinlich, daß Adler von Abdank-Abakanowicz' Büchern oder gar von dessen verstreuten Artikeln Kenntnis gehabt haben sollte – das wäre nämlich eine Kenntnis, die, wie man später sehen wird, selbst bei seinem »Mentor« Walther nicht vorhanden war.) Den Anlaß zu diesem »Entwicklungsauftrag« an Adler könnte die große Unzufriedenheit Walthers mit dem Funktionieren des Coradi-Integraphen seines Lehrstuhls gegeben haben, so daß Adler sich unter Beibehaltung der zentralen Funktion des Schneidenrads auf die Suche nach anderen Konstruktionen machte.

Bei der Frage, warum diese Kombination eines Schneidenrads mit einer beweglichen Zeichenfläche in den vergangenen fast 45 Jahren nicht weiterverfolgt worden war, wird wohl unter anderem auch das Material eine Rolle gespielt haben: erst die Verfügbarkeit von Leichtmetall erlaubte es so richtig, eine ebenso stabile wie zugleich leichte sowie allein durch das Schneidenrad und seinen Eindruck auf einem Papierbezug in y-Richtung verschiebbare Zeichenfläche preiswert herzustellen. Stattdessen hatte die von Gottlieb Coradi (1847–1929)⁷⁶ ab 1888 entwickelte und kommerziell hergestellte Form des Ab-

76 Gottlieb Coradi und der spätere Gründer der Firma Ott, Albert Ott, hatten sich 1870 bei Starke & Kammerer in Wien kennengelernt. 1874 stieg Coradi in die ein Jahr zuvor gegründete Firma Ott in Kempten ein, die danach als Ott & Coradi firmierte. Coradi heiratete eine Schwester von Albert Ott, machte sich aber ab 1880 im heimatlichen Zürich selbständig. Von Anfang an widmete er sich dort – neben »normalen« Planimetern – dem Bau von hochpräzisen Spezialinstrumenten aus dem Gebiet der Mechanischen Integration; Herstellungsqualität und eine ausgesuchte Materialbehandlung machten ihn schon rasch zu einer ersten Adresse für Aufgaben dieser Art. Mitte der 1980er Jahre mußte die bis dahin erfolgreiche Firma nach mehr als 100 Jahren ihrer Existenz jedoch endgültig aufgegeben werden.

dank-Abakanowicz'schen Integraphen ihren Siegeszug angetreten; bei ihr wurde aber – wohl wegen der gerade erwähnten Schwierigkeiten – auf eine Eigenbewegung der Zeichenebene verzichtet. Eine Neukonstruktion ab 1903 machte die Coradischen Instrumente etwas zierlicher; sie blieben aber weiterhin komplex und waren in gewissem Sinn sogar diffiziler zu handhaben als die früheren Modelle. Sie oder ihre älteren Vorgänger waren die »Coradischen Monstren«, auf die Walther sich bezogen hatte – doch von einigen verstreut im Eigenbau angefertigten Einzelstücken abgesehen waren sie bis dahin die einzigen kommerziell verfügbaren Integraphen, und bis zum Ende der 1920er Jahre waren davon schon deutlich mehr als 325 Stück hergestellt worden, also im langjährigen Schnitt etwa acht dieser Geräte pro Jahr.

Die ersten Ausführungen durch die Firma Ott. Nachdem Ende Februar 1931 das Versuchsmodell Adlers ins Konstruktionsbüro der Firma Ott gegeben worden war, zeigten sich im Sommer erste Ergebnisse: »Von Herrn Adler habe ich mit großer Freude gehört, daß die Konstruktion des Integraphen gut vorwärts geht« (Walther an Ott, 10. Juli 1931). Auf der Mathematiker- und Physikertagung im September 1931 in Bad Elster wurden die damals neuen »Integrafen« der Askania-Werke von Johannes Picht vorgestellt,⁷⁷ was nach Walthers Einschätzung – er nahm an der Tagung teil – »nicht viel Bedeutsames« brachte (handschriftlicher Brief Walthers an Ott, 30. September 1931, aus Dresden). »Es entwickelte sich dann noch eine Aussprache über den Coradischen Integrafen, an der [...] ich über unsere Erfahrungen ein paar Worte sagte.⁷⁸ Das neue Adlersche Instrument habe ich offiziell absichtlich noch nicht erwähnt« (ebd.). Das war auch gut so, denn nun wirkte sich einmal mehr die angespannte wirtschaftliche Lage der Firma Ott aus:

Mit dem Integraph Adler-Ott bin ich noch nicht weiter gekommen. Es hat allerhand Zwischenfälle mit den Gußmodellen gegeben, so daß der Guß für einige Teile der verbesserten Ausführung erst nächste Woche zu erwarten ist. Wann das erste Exemplar der verbesserten Ausführung fertig sein wird, läßt sich noch gar nicht übersehen, denn es ist die ganze Abteilung für mathematische Instrumente am 3. Oktober stillgelegt worden. Diese Abteilung hat schon seit einiger Zeit mit Verlust gearbeitet und ist nur durch die Abteilung für hydrometrische Instrumente durchgehalten worden. Nachdem es aber auch der letzteren schlecht geht ist nichts anderes übrig geblieben, als die Abteilung mathematische Instrumente ganz stillzulegen und auch

77 D. h., Picht stellte diese »Integrafen« vor, hatte sie aber nicht selbst entwickelt. Eine Publikation, die daraus erwuchs, trug im Titel ebenfalls das Wort »Integrafen« – doch keines der beschriebenen Instrumente konnte eine Integralkurve zeichnen.

78 Walther war zumindest mit seinem Exemplar eines Coradischen Integraphen nicht zufrieden; so schrieb er am 13. Februar 1933 an Ott ziemlich herabwürdigend »von der Coradischen Ausführung, die wir immer mehr nur als Demonstrationsstück beurteilen« – womit gemeint war, daß ihm das Instrument nicht zur Lösung konkreter Aufgaben verwendbar erschien.– Ich schließe daraus, daß das Walthersche Instrument – was zeitlich auch naheliegt – eines von den seit 1903 hergestellten neukonstruierten war. Denn meine eigenen (musealen) Erfahrungen mit den zwischen 1888 und 1903 hergestellten ursprünglichen Ausführungen (sowohl der großen als durchaus auch der kleinen, zudem technisch deutlich weniger aufwendig ausgeführten Version) zeigen, daß deren Handhabung unvergleichlich einfacher war als die der Neukonstruktion; übrigens auch einfacher als beim Integraphen *Adler-Ott*, der zu seiner Inbetriebnahme bzw. zu seinem ersten Aufbau eine nicht zu unterschätzende Arbeit erforderte, die bei den älteren Coradi-Integraphen nahezu vollständig entfiel.

den übrigen Betrieb einzuschränken. Auf wie lange, wer weiß? (Ott an Walther, 17. Oktober 1931).

Diese Nachricht hatte Walther auch schon über Heinz Adler erreicht:

In Darmstadt erfuhr ich mit großem Bedauern von Herrn Adler, daß Sie infolge der schlechten Wirtschaftslage Ihre Abteilung für mathematische Instrumente haben vorläufig stilllegen müssen. Ich wünsche Ihnen von Herzen, daß diese Maßnahme Ihrem Betriebe Erleichterung bringt, so sehr ich sie natürlich von meinem Standpunkte aus bedauere (Walther an Ott, 19. Oktober 1931).

Ludwig Otts Brief ist aber immerhin zu entnehmen, daß es damals (mindestens) ein Exemplar einer ersten Ausführung und ebenfalls (mindestens) ein Exemplar einer »verbesserten Ausführung« gegeben haben muß.

Fortschritte. Ein Vierteljahr später konnte Hermann Ott an Walther berichten, daß sich zwischenzeitlich doch wieder etwas getan hatte:

Mit dem Integraphen habe ich mich in der letzten Zeit wieder stärker beschäftigt und habe nun die kleinen Mängel, welche in der Führung des Apparates noch vorhanden waren, soweit überhaupt möglich, beseitigt. Ich habe dabei gefunden, daß es die Nachführung einer Kurve sehr erleichtert, wenn man mit beiden Händen führt. Die linke Hand hilft in der Richtung des größeren Widerstandes etwas nach, während die rechte den Fahrstift führt. Bei einer Reihe von Umfahrungsproben, bei welchen ein- und dieselbe Differentialkurve 3–4mal befahren wurde und zwar vorwärts und rückwärts, habe ich eine derart vollständige Deckung der dazu gehörigen Integralkurven erreicht, daß nirgends auch nur eine leichte Verdickung der Linie zu sehen war. Einige Kleinigkeiten machen aber noch Schwierigkeiten, so z. B. das verschiebbare Zeichenbrett aus Holz, welches sich immer wieder verzieht. Ich versuche augenblicklich eine recht leichte Metallausführung zu finden, auf welcher das Papierblatt mit Klemmen festgehalten wird. Denn Holz hat namentlich beim Export in tropische Länder immer recht unangenehme Eigenschaften. Außerdem müssen jetzt noch Einrichtungen getroffen werden, um eine möglichst leichte Orientierung der Differentialkurve zu ermöglichen, sowie eine einfache Feststelleinrichtung für die einzelnen Wagen. Die endgiltige Fertigstellung wird daher immer noch eine gewisse Zeit beanspruchen (Hermann Ott an Walther, 30. Januar 1932).

Dieser Bericht konnte Walther nur freuen: »Daß Sie so intensiv mit dem Integraphen beschäftigt sind, freut mich sehr. Ich habe Ihre Ausführungen darüber mit großem Interesse gelesen«, schrieb er an Hermann Ott zurück« (Walther an Hermann Ott, 2. Februar 1932).

Das erste Exemplar: Spätestens im Frühjahr 1932 kamen die nächsten konkreten Ergebnisse: »Das erste Exemplar des Integraph Adler-Ott wird gerade fotografiert, da es morgen nach Paris zur Physikalischen Ausstellung abgesandt werden soll« (Ott an Walther, 29. April 1932); wenige Tage später sandte Ott die Photos (Ott-Bilder 35012-35015;⁷⁹ Ott an Walther, 2. Mai 1932) und zeigte sich im Begleitbrief, der ganz dem

⁷⁹ Ott führt insgesamt 6 Mal 5-stellige Bildnummern in seinem Schreiben auf; in allen 6 Fällen zitiert er sie als »350..«. Die zum heutigen Zeitpunkt überkommenen Nummern der Ott-Bilder zu den Integraphen beginnen jedoch allesamt mit »355..«. Da ein 6-maliger identischer Tippfehler dem

Integraphen gewidmet ist, sehr angetan von der Ausführung des Instruments durch seinen Bruder (Aufspannplatte aus Aluminium, leichte Ausrichtbarkeit der Lineale, leichte Führung des Fahrstifts, hohe Genauigkeit der Integralkurven). Als Preis wurden rund 1000 RM angesetzt, der bei entsprechender Nachfrage auch reduziert werden könne.

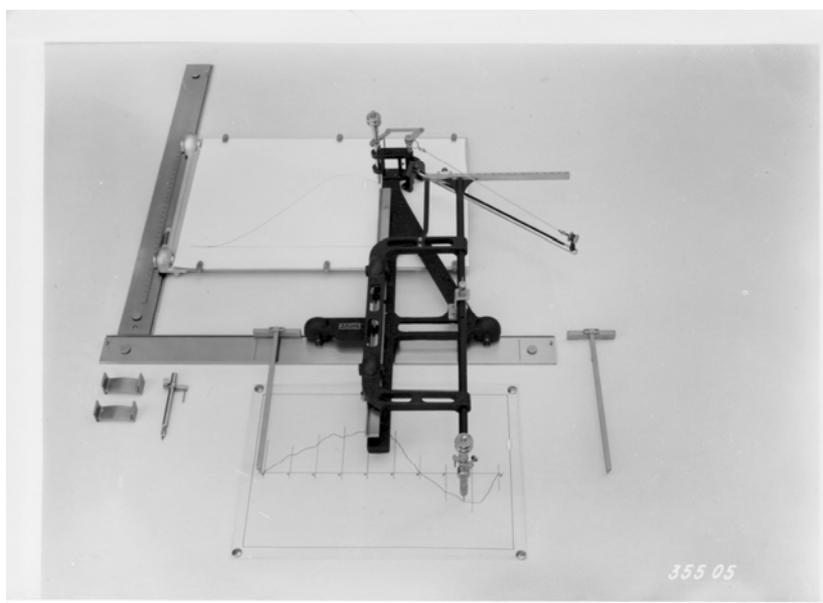


Abb. 39: Erster Integraph Adler-Ott, Ausführung für die Pariser Ausstellung, ≤ 2. Mai 1932; später – wohl Ende 1932/Anfang 1933 – verschrottet (Ott-Bild 35505, vormals 35014).⁸⁰

Nachgeholt: Die Identifizierung des Vorläufers, System Abdank-Abakanowicz/Pollard.

Zwei Tage später kam Ott nochmals auf den Integraphen zurück, da er gerade »Literatur über die Anwendungen« zusammenstellte (Ott an Walther, 4. Mai 1932). Auch Walther war von den Aufnahmen und der Konstruktion begeistert:

Die wunderbaren Photographien über den Integraphen Adler-Ott haben mir sehr große Freude gemacht. Ich habe sie immer wieder angesehen und mich darüber

peniblen Ottischen Nacharbeiten und Korrigieren selbst von Durchschlägen seiner eigenen Briefe sehr zuwiderliefe, muß ich davon ausgehen, daß es sich tatsächlich um Aufnahmen handelte, die mit »350.« begonnen haben. Wie man weiter unten erfahren wird, wurde der Integraph, der diesen Aufnahmen zugrunde lag, verschrottet. Gleiches könnte symbolisch (z. B. durch teilweise Umnummerierung) mit den Bildern geschehen sein, denn die mit »350.« beginnenden und *heute* noch vorhandenen Ott-Bilder gehören allesamt zum Bereich der Integratoren, nicht zu den Integraphen.

80 Man kann mit gutem Willen unter der Nr. »35505« des in die erhaltene französische Gebrauchsanleitung vom 6. Mai 1932 eingeklebten Abzugs die Nr. »35014« erahnen – wenn man weiß, wonach man suchen muß. Die Bildnummern wurden teils erst auf den Abzug eingetragen, teils schon auf den Negativen/Glasplatten. Das z. Zt. von mir hier benutzte Ott-Bild 35505 unterscheidet sich z. B. von dem gerade erwähnten Abzug dadurch, daß – anders als in der Gebrauchsanleitung – *keine* Teile-Nummern eingetragen wurden, was also eine nachträgliche Beschriftung auf dem Photo der Gebrauchsanleitung nahelegt.

gefremt, daß hier offenbar ein wirklicher Gebrauchsintegraph entstanden ist. Sicher wird das Instrument auf der Ausstellung in Paris großen Eindruck machen.– Hat es eigentlich schon einmal Integraphen mit verstellbarer Zeichenfläche gegeben? Ich wälze immer mit Mißtrauen eine Aeußerung von Prof. Willers in Bad-Elster im September in meinem Geiste herum, die ich damals nicht richtig verstanden hatte und die allenfalls so aufgefaßt werden könnte. Billig ist das Instrument ja leider garnicht, wenn auch weit billiger als der Integraph von Coradi. Ich hatte ja gehofft, daß auf diesem Wege ein sehr billiges und dadurch größeren Kreisen zugängliches Instrument entstehen würde. Jedoch verkenne ich nicht, daß den Bildern nach höchste Präzisionsarbeit erforderlich ist (Walther an Ott, 7. Mai 1932).

Natürlich hatte Ott – wie auch Friedrich Adolf Willers (1883–1959, der Doyen der deutschsprachigen Literatur zu Mathematischen Instrumenten), aber offenbar anders als Walther – seinen Abdank-Abakanowicz (in der erweiterten deutschen Ausgabe von 1889) gelesen,⁸¹ zumindest aber sofort wieder zur Hand, und stieß auf den Seiten 56–59 auf den schon oben abgebildeten Integraphen mit beweglicher Zeichenfläche, der in Zusammenarbeit mit Pollard entstanden war (Ott an Walther, 10. Mai 1932). Das bestätigte Willers' entsprechende Äußerung, die Walther so irritiert hatte.

Erste Gebrauchsanleitungen. Datiert auf den 6. Mai 1932, lag zu diesem Zeitpunkt sogar schon eine maschinenschriftliche *Gebrauchsanleitung für den Integraph »Adler-Ott«* vor,⁸² die – wie bei solchen maschinenschriftlichen Anleitungen der Firma Ott üblich – von einem eingeklebten Photo des Instruments eröffnet wurde (Ott-Bild 35505, s. obige Abbildung). Ihr folgte als nächste eine auf den 17. Juni 1932 datierte Übersetzung ins Französische mit dem gleichen Eröffnungsphoto, denn die Ausstellung in Paris hatte immerhin einen ersten potentiellen Interessenten für den Integraphen gebracht: »Ein wirtschaftlicher Erfolg hat sich noch nicht eingestellt, doch trägt sich der französische Service de Poudre mit dem Gedanken, einen Integraphen zu erwerben (Ott an Walther, 1. August 1932). Und in der Tat:

Auf Grund der Pariser Ausstellung habe ich nun einen Auftrag aus Paris erhalten und ein zweiter wird voraussichtlich folgen von französischer militärischer Stelle. Das erste, zur Ausstellung verwendete Exemplar, muß aber leider wieder ins Altmittel wandern, trotzdem in demselben eine vielmonatliche Arbeit steckt. Es hat sich in manchen Teilen als wesentlich zu schwach konstruiert erwiesen, sodaß die mit Mühe und Not vor der Versendung auf die Ausstellung erzielte Genauigkeit wieder vollständig verloren gegangen ist (Ott an Walther, 27. Oktober 1932).

Eine Neuausführung wird erforderlich. Walther sah in seiner Antwort darauf auch Positives: »Ich freue mich sehr, daß wenigstens ein zwergenhafter Absatz in Fluß kommt«, und dachte gleich über mehr nach:

Möchten wir nicht irgendwelche Veröffentlichungen in Zeitschriften machen? Ist das Pariser Ausstellungsexemplar, wenn auch in der Genauigkeit nicht befriedigend, doch

81 Das von Ludwig Ott ausgiebig durchgearbeitete Exemplar der deutschen Ausgabe von Abdank-Abakanowicz, *Integraphen*, 1889, befindet sich in meinem Besitz. JF.

82 Vormals Firmenarchiv Ott, derzeit in einem Sammel-Ordner »Ott Integraphen«.

in der ganzen Herstellungsweise so, daß Sie es mir herschicken und mir dadurch die Möglichkeit geben könnten, eine Arbeit darüber für die »Zeitschrift für Instrumentenkunde« abfassen zu lassen? Oder soll Herr Adler damit befasst werden? Oder Herr Werkmeister? (Walther an Ott, 8. November 1932).

Ott lehnte ab:

Es hat keinen Zweck, mit dem Pariser Ausstellungsinstrument weiterhin Versuche zu machen oder dieselben einer Veröffentlichung zu Grunde zu legen. Die jetzt in der Konstruktion fertige und demnächst in Arbeit zu nehmende Neuausführung weist nämlich grundlegende konstruktive Änderungen auf. Ich hoffe, Ihnen in absehbarer Zeit ein Exemplar dieser Neuausführung zusenden zu können und würde es sehr begrüßen, wenn Sie darüber in der »Zeitschrift für Instrumentenkunde« berichten wollten (Ott an Walther, 12. November 1932).

Das ließ sich Walther nicht zweimal sagen und eröffnete seinen nächsten Brief sofort mit »Lieber Herr Dr. Ott! Ich freue mich sehr, daß ich in einiger Zeit die Neuausführung des Integrafen hier haben werde und will dann sehr gern selbst einmal in der »Zeitschrift für Instrumentenkunde« darüber berichten« (Walther an Ott, 15. November 1932). Doch das sollte noch dauern...

Die ersten 3 Exemplare der Neuausführung. Als Adler sich am 16. Dezember 1932 bei Walther sehen ließ, um diesen als Korreferenten für seine geplante Promotion zu gewinnen, »erkundigte [er] sich auch nach dem Integraphen, wo ich ihm aber nicht viel sagen konnte« (Walther an Hermann und Ludwig Ott, 17. Dezember 1932). Ott brachte Walther auf den neuesten Stand: »Es sind 3 Instrumente in Arbeit. Zwei sind für Frankreich bestellt und das dritte will ich Ihnen senden. Bis Ende Januar ist es wahrscheinlich soweit« (Ott an Walther, 20. Dezember 1932). Doch es gab auch danach noch weiteren Handlungsbedarf:

Nachdem gerade neue Photos 35512-13-14 des zweiten nach Paris gelieferten Integraphen gemacht worden sind, möchte ich Ihnen hiermit diese Aufnahmen zusenden. Es wird nun ein weiteres Instrument in gleicher Ausführung fertiggestellt, das ich Ihnen zur Verfügung stellen werde. Wahrscheinlich ist auch die jetzige Form noch nicht ganz die endgültige. In dem Bestreben, die bei der ersten Ausführung⁸³ zutage getretenen Mängel ungenügender innerer Steifigkeit zu beseitigen, ist vielleicht etwas zu weit gegangen worden, sodaß die beweglichen Teile etwas mehr Masse haben als unbedingt nötig. Deshalb soll bei der zukünftigen Herstellung neuer Gußstücke in den Querschnitten wieder etwas gespart werden und außerdem ist beabsichtigt, nicht mehr Aluminium, sondern Elektron⁸⁴ zu verwenden (Ott an Walther, 10. Februar 1933).

83 Also des ins »Altmetall« gegebenen Integraphen.

84 Eine Magnesium-Aluminium-Legierung (patentiert als »Elektronmetall« im Jahr 1909), bestehend aus mindestens 90 % Magnesium, rund 8 % Aluminium sowie Spurenelementen; sie ist nochmals rund ein Drittel leichter als Aluminium.

Hier zwei der drei von Ott erwähnten Bilder:

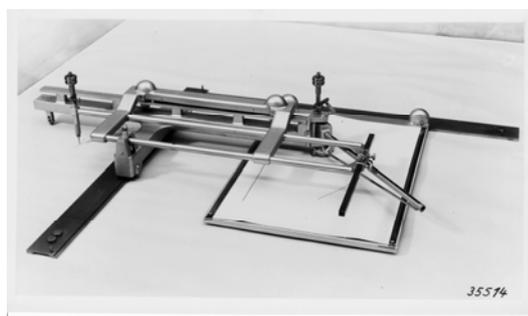
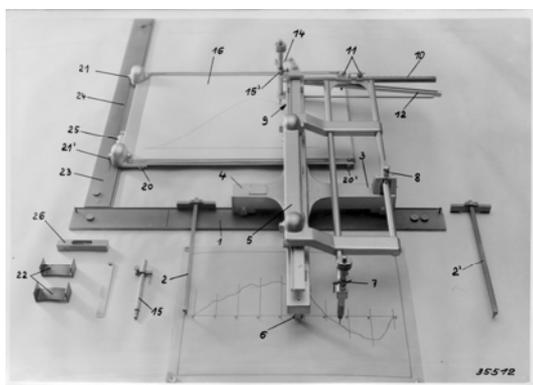


Abb. 40 u. 41: Integrator Adler-Ott, 2. Instrument für Paris, ≤ 10 . Februar 1933 (Ott-Bilder 35512 und 35514).

Weitere Gebrauchsanleitungen und Veränderungen. Die nächsten (mir) erhaltenen bzw. bekannten Anleitungen vom 16. Februar 1933 (französisch; mit Ott-Bild 35510), 15. März 1933 (deutsch bzw. französisch; jeweils mit Ott-Bild 35512, eine französische Vervielfältigung auch mit Ott-Bild 35512a, bei dem es sich offensichtlich nur um eine leicht retuschierte Version von Bild 35512 handelt), 8. August 1933 (deutsch; mit Ott-Bild 35517), 15. Juli 1935 (französisch, mit gleichem Bild), 23. Dezember 1936 (deutsch, auf der Basis der Anleitung vom 8. August 1933, ergänzt durch Sigmund Ott (1907–1946); mit Ott-Bild 35519) und vom 7. Juli 1937 (englisch; mit gleichem Bild) dokumentieren, daß die Ausführungsform der Integratoren auch danach immer wieder – mal mehr, mal weniger – in Details geändert wurde.

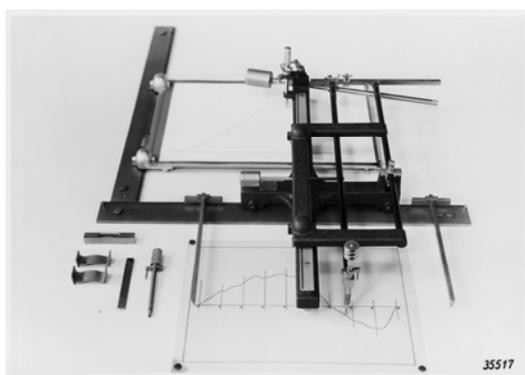
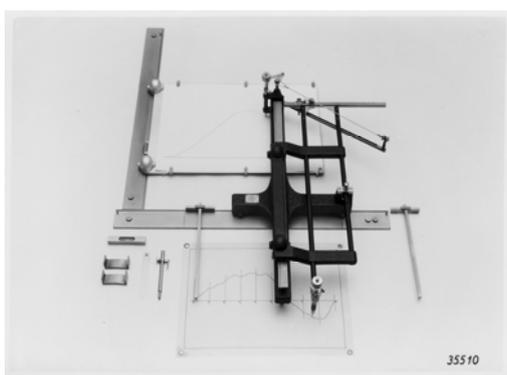


Abb. 42 u. 43: Integrator Adler-Ott, links: Instrument für Paris, Februar 1933 (Ott-Bild 35510); rechts: neuere Ausführung vom August 1933 (Ott-Bild 35517).

Die Endform. Erst im Verlauf des Jahres 1936 hatte sich die Ausführung des Instruments weitgehend stabilisiert, und dies war dann auch der Zeitpunkt, zu dem Alwin Walther am Ende seines Artikels »Mathematische Geräte zum Integrieren« (Walther, *Geräte*, 1936) den Integraphen *Adler-Ott* erstmals einer größeren Öffentlichkeit vorstellen konnte (oder durfte):

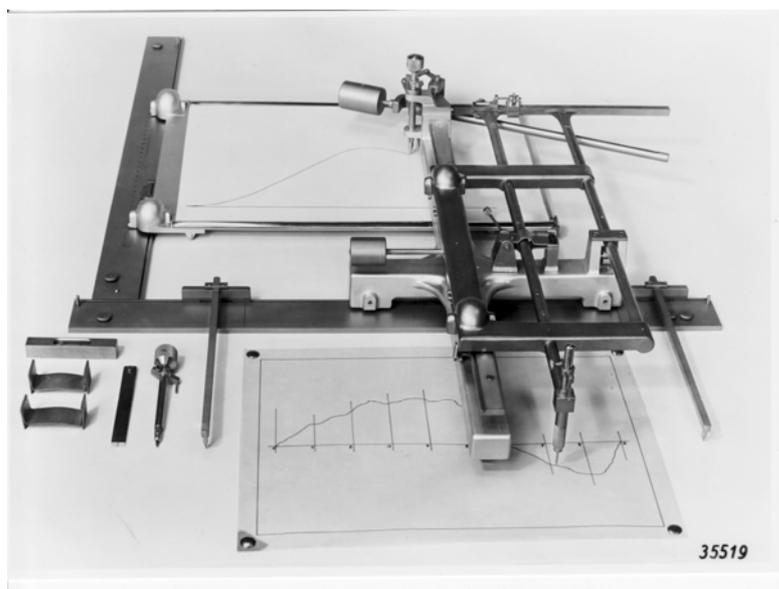


Abb. 44: Integraph Adler-Ott, ≤ Dezember 1936 (Ott-Bild 35519; identisch bei Walther, *Geräte*, 1936, Bild 30, sowie bei Willers, *Instrumente*, 1943, S. 211, Bild 169, bzw. Willers, *Maschinen*, 1951, S. 240, Abb. 206 – also das Standardbild).

Im Juni 1937 endlich entschloß sich auch die Firma Ott, das Instrument »offiziell« anzubieten. Dies geschah mit der maschinenschriftlichen »Interimsliste Nr. 476 über Integraph Adler-Ott«. ⁸⁵ Beigegeben wurden dieser Liste neben dem Ott-Sonderdruck Dd 376 (das ist der Artikel Walther, *Geräte*, 1936) zwei Photos (nämlich die Ott-Bilder 35519 und 35520; ersteres s. o., letzteres zeigt das Instrument in seinem Aufbewahrungskasten) sowie ein kurzer Einführungstext, dessen erster Satz elegant allen mittelbar oder unmittelbar Beteiligten die Ehre der namentlichen Erwähnung gab:

Der Integraph Adler-Ott beruht auf dem allgemeinen Konstruktionsprinzip der Integraphen von Abdank-Abakanowicz und ist im besonderen eine Vervollkommnung jenes Baumusters dieses Erfinders, das derselbe gemeinsam mit Herrn Pollard, Direktor des »Ecole du génie maritime« ausgearbeitet hat.

⁸⁵ Diese Liste wurde auch von Willers, *Instrumente*, 1943, S. 257, unter Eintrag [303] seiner Bibliographie als einzige Quelle für die Beschreibung des Integraphen Adler-Ott herangezogen; Walther, *Geräte*, 1936, hingegen wurde von Willers – zumindest zu diesem Thema – nicht zitiert.

Der Integraph erhielt spätestens zu diesem Zeitpunkt die Ott-Typenbezeichnung 282. Mit seinem damaligen Preis von rund 1000 RM konnte er zwar sicher nicht, wie von Walther erhofft, als besonders billig angesehen werden, wurde aber im wesentlichen unverändert bis mindestens zum Beginn oder zur Mitte der 1970er Jahre hergestellt, als die letzten Integraphen *Adler-Ott* ausgeliefert wurden.⁸⁶

Hochblüte. Erst in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg erlebten die Integraphen *Adler-Ott* ihre Hochblüte. Der Name Heinz Adlers blieb hier, anders als bei den Potenzplanimetern *Adler-Ott*, wo er nach 1945 getilgt worden war, bis zum Schluß in der Bezeichnung des Instruments als »Integraph *Adler-Ott*« erhalten.

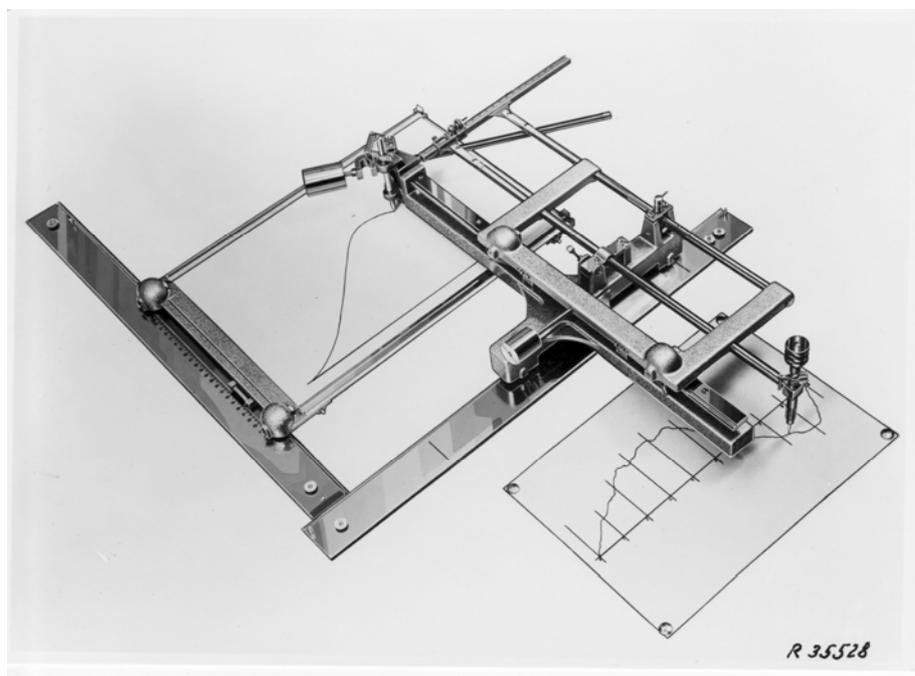


Abb. 45: Integraph *Adler-Ott*, 1953 (Ott-Bild R35528, retuschiert; Aufnahme 13. Mai 1953).

86 Ein Brief der Firma Ott vom 22. April 1988 an die Katholieke Universiteit Leuven hält fest, »that the last integrators were delivered in 1965 to: 1) Staatliche Ingenieurschule, Köln, 2) Bundesamt für Wehrtechnik, Koblenz, 3) Erprobungsstelle der Bundeswehr, Meppen« und überläßt es der Universität, mit der einen oder anderen dieser Institutionen Kontakt aufzunehmen. Für das Kölner Exemplar ist handschriftlich auf dem mir vorliegenden Durchschlag des Briefs die Instr.-Nr. 46650 festgehalten.– Die Jahresangabe »1965« dieses Briefs für den letzten ausgelieferten Integraphen ist jedoch mit Vorsicht zu genießen bzw. zu verwerfen, denn z. B. der Lehrstuhl Heinhold am Mathematischen Institut der TU (damals noch TH) München kaufte noch 1968 einen Integraphen *Adler-Ott* mit der Instr.-Nr. 46721, und bei der Überarbeitung der – schon zur Mitte der 1960er Jahre erstmals vereinheitlichten – Geräte-Prospekte zu Beginn der 1970er Jahre wurden noch 1971 die Prospektblätter für den Integraphen in einer deutschen Auflage von 500 Stück sowie in einer englischen und einer französischen Auflage von je 250 Stück gedruckt. Dies widerspricht einer letzten Lieferung im Jahr 1965 nun deutlich; möglicherweise war »1975« gemeint.

Die Anleitungen nach dem Zweiten Weltkrieg wurden weiterhin mechanisch vervielfältigt,⁸⁷ wurden also aufgrund der überschaubaren Nachfrage für diese Spezialinstrumente niemals gedruckt. Die Herstellung wurde um 1972 eingestellt, das letzte Exemplar wohl 1975 verkauft.

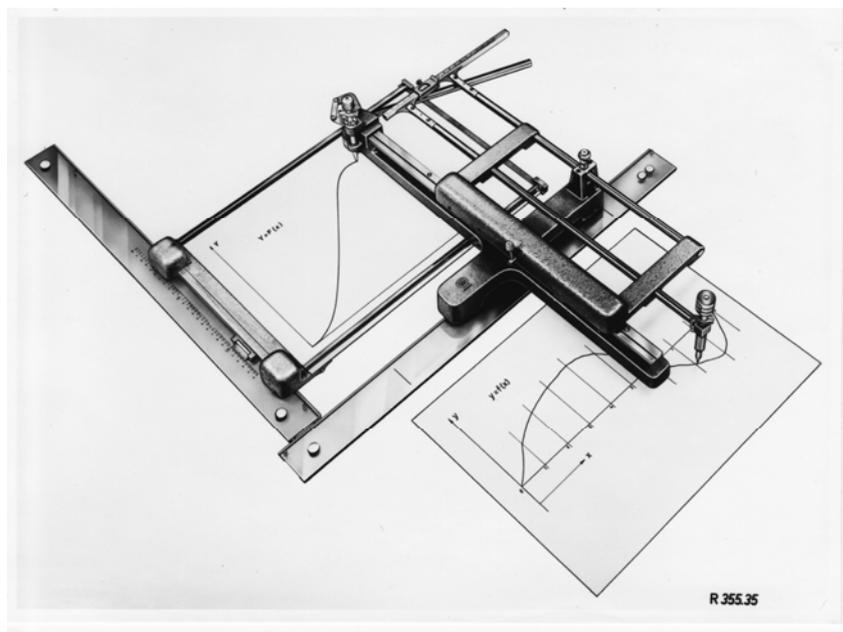


Abb. 46: Integraph Adler-Ott, 1962 (Ott-Bild R35535, retuschiert; Aufnahme 31. August 1962).

Herstellungszahlen. Über die Produktionszahlen kann man nichts ganz Genaues sagen, da der bei Ott ursprünglich für die Integraphen reservierte Instr.-Nummernkreis 46001 bis 47000 bald schon mit den Derivimetern – kleineren Instrumenten zur Bestimmung der Tangentenrichtung an zeichnerisch gegebene Kurven – geteilt werden mußte. Für den Zeitraum 1942 bis Mitte 1963 liegen die Lieferbücher vor; ihnen entnimmt man, daß in diesen rund 20 Jahren mindestens die Instr.-Nrn. 46090 bis 46552 ausgeliefert wurden, wobei aber für etwa 45 Nummern keine konkreten Auslieferungseinträge vorliegen. Von den verbleibenden 420 Instrumenten waren 83 Integraphen, 337 Derivimeter. Höhere Instr.-Nrn. als 46800 (etwa um 1975 zu datieren) sind mir für diesen Nummernkreis nicht bekannt. Geht man also einstweilen von insgesamt 800 Integraphen und Derivimetern aus und überträgt das Verhältnis der Jahre 1942–1963 auf diese Zahl, erhielte man rund 160 Integraphen Adler-Ott – eine durchaus realistische Anzahl, mit der man die Gesamtproduktion von Coradis Integraphen aber nicht mehr erreichen konnte (rund 450 Stück, allerdings mit einem Vorsprung von fast 50 Jahren schon seit 1888 hergestellt; davon die ersten 325 Stück nachweislich schon bis 1927, also innerhalb von knapp 40 Jahren).

87 In der Ottischen Bezeichnungssystematik erhielten sie die Nummern 355-101 Ad (1952; »Ad« steht für »Anleitung deutsch«) bzw. 355-102 Ad (1962); spätere Bearbeitungen sind mir nicht bekannt.

Vergleicht man jedoch – schätzungsweise; mehr ist weder für Coradi noch für Ott möglich – die Zahlen im Zeitraum 1935 bis 1975 (danach wurden weder bei Coradi [wahrscheinlich] noch bei Ott [sicher] Integraphen hergestellt), so wird man diese 160 *Adler-Ott*-Integraphen mit allenfalls 50 *Abdank-Abakanowicz/Coradi*-Integraphen vergleichen müssen – was eine klare Sprache für die höhere Akzeptanz des Integraphen *Adler-Ott* spricht und ihn zum seit seiner Markteinführung erfolgreichsten Integraphen werden läßt.

Trotzdem muß man konstatieren, daß in diesen »letzten« 40 Jahren insgesamt – also von Coradi und Ott zusammengenommen – mit etwas mehr als 200 Integraphen deutlich *weniger* dieser Instrumente abgesetzt werden konnten als von Coradi *allein* in den 40 Jahren davor. Dies ist insbesondere für die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg eher untypisch, vergleicht man es mit der Entwicklung bei den anderen größeren Integrierinstrumenten wie Harmonischen Analysatoren usw. (und erst recht mit der Entwicklung bei den Planimetern im engeren Sinn, die in den 1970er Jahren ihre Hochblüte erlebten). Ein Grund dafür dürfte sein, daß die durchaus bestehende, sicherlich aber auch begrenzte Nachfrage nach Integraphen offenbar schon gleich ab ihrer Verfügbarkeit durch Coradi, also ab 1888, in großem Maße befriedigt worden war, und daß diese teuren Instrumente von den jeweiligen Nutzern offenbar gut gehütet und relativ lange benutzt wurden.

5. Epilog

In den Jahren 1930 und 1931 »sprudelten« offenbar die Ideen nur so aus Heinz Adler heraus, sobald man ihn auf ein Thema im Bereich der Mechanischen Integration ansetzte. Wie Walther auf Adler aufmerksam wurde, wissen wir nicht; die Bezeichnung als »mein Schüler«, die er am 5. Dezember 1929 Ott gegenüber verwendete, ließe zwar einen gewissen Schluß auf ein besonderes Verhältnis zu, doch verwendete Walther diese Bezeichnung z. B. auch für den oben erwähnten Kurt Wemheuer oder für Karl Geduldig, »einen anderen meiner Schüler« (22. Mai 1931), also für Studenten, die von Walther lediglich mit festen Aufgaben an bereits existierenden Instrumenten oder Versuchsmodellen betraut wurden. Auch die Studienrichtung Adlers, also die Technische Physik mit der Fachrichtung Laboratoriumswesen, legt zunächst keine engere Beziehung zu Walther nahe. Die damals noch überschaubaren Studentenzahlen in Verbindung mit der von Walther sofort nach seinem Amtsantritt 1928 aufgenommenen Dienstleistungs-Lehrtätigkeit für die Anwendung mathematischer – und da insbesondere instrumenteller – Methoden dürften jedoch dazu geführt haben, daß die Mehrheit der Darmstädter Studierenden ab diesem Zeitpunkt durch Walthers Hände ging. Studenten, die durch besondere Begabung (oder besonderes Interesse) auffielen, ließen Walther und seine (anfänglich noch wenigen) »etatisierten« festen Mitarbeiter sich aber offenkundig nicht entgehen.

Eine gewisse Kontaktfreudigkeit wird Heinz Adler jedenfalls auch besessen haben; zudem scheint es auch so, daß er – trotz einiger weiter oben zum Teil geschilderter »klimatischer Schwankungen« – bis zu seiner Diplom-Hauptprüfung sehr gut in das Leben des Lehrstuhls Walther einbezogen war. Dafür sprechen nicht nur die Vorträge und

Vorfürhungen, zu denen Walther ihn verpflichtete, sondern auch die Kontakte zu Paul Terebisi, der Walther durch seinen Assistenten Gerhard Koehler »zugeführt« worden war. Terebisi studierte ebenfalls Technische Physik, hatte sich ebenfalls – wie Adler – mit Harmonischer Analyse befaßt und trug zusammen mit Adler auch zur Suche nach einem Linearpotenzplanimeter für $n = 3$ bei. Ein Austausch zwischen Adler und Terebisi über die Probleme, an denen sie jeweils arbeiteten oder interessiert waren, lag also nahe und wurde durch die gemeinsame »Beziehung« zu Walther bzw. dessen Lehrstuhl sicher noch gefördert und verstärkt.

Es kann und sollte nicht als Manko an eigenschöpferischer Tätigkeit angesehen werden, daß die meisten Problemstellungen, mit denen Adler sich zwischen 1930 und 1931 befaßte, zunächst von Walther oder Ott an ihn herangetragen wurden. Seine – leider nicht im Detail geschilderte – Erfindung zur instrumentellen Implementierung des Rungeschen Verfahrens zur Harmonischen Analyse ging ja ebenfalls von »Bekanntem« aus; es ist jedoch angesichts der damals – wie heute – großen Zahl offener Fragen nur in beschränktem Maße relevant, ob man durch eigene Arbeit und/oder Forschung auf eine solche Frage stößt, oder ob man durch Dritte von einer bestimmten und noch zu lösenden Problemstellung Kenntnis erhält. Wie man gesehen hat, gelang es Heinz Adler in allen oben geschilderten Fällen, mit neuen Einfällen frischen Wind in die jeweiligen Angelegenheiten zu bringen; und z. B. die im zweiten Anlauf gelungene unabhängige Wiedererfindung des Amslerschen Vorschlags für ein Linearpotenzplanimeter für $n = 3$ oder die sicher ebenfalls unabhängige Nacherfindung des Abdank-Abakanowicz/Pollardschen Integraphenprinzips stellen Adler durchaus in *eine* Reihe mit Namen, die noch heute in der Geschichte der Mechanischen Integration einen guten Klang besitzen.

*

Disclaimer. Die hier gegebene Darstellung beruht vor allem auf der Durchsicht der Korrespondenz zwischen Ludwig Albert Ott und Alwin Oswald Walther. Aus Zeitgründen konnte sie, von sporadischen »Treffern« einmal abgesehen, nur bis etwa 1935 einigermaßen systematisch ausgewertet werden. Obwohl ich glaube, daß die weitere Durchsicht das hier gezeichnete Bild nicht wesentlich verändern, sondern allenfalls ergänzen wird, sei also an dieser Stelle ein entsprechender Vorbehalt formuliert.

* *

Benutzte Archivalien:

Briefwechsel Ott/Walther, 1928–1945; Sammel-Ordner »Ott Integraphen«, »Ott Linearquadratplanimeter«, »Ott Linearquadratwurzelplanimeter«, Ordner »Patente II« von Hermann Ott, und »Ott Radialwurzelplanimeter«, alle 1930 ff.; Ott Lieferbücher c1942–c1963 (alle derzeit JF).

Literatur:

- Abdank-Abakanowicz, Bruno: Les Intégraphes [...]. Paris 1886.
- Abdank-Abakanowicz, Bruno: Die Integraphen [...]. Deutsch bearbeitet von Emil Bitterli. Leipzig 1889.
- Adler, Heinz: Ein Spezialplanimeter zur Bestimmung von Effektivwerten. In: *Elektrotechnische Zeitschrift* 52 (1931), S. 1387–1388.
- Adler, Heinz: Neue Potenzplanimeter zur Bestimmung von $\int y^2 dx$ und $\int \sqrt{y} dx$. In: *Zeitschrift für Vermessungswesen* 61 (1932), S. 665–668.
- Adler, Heinz: Über Körnungsaufbau und physikalische Eigenschaften körniger, speziell feuerfester Materialien. Günzburg 1933.
- Amsler, Jacob: Ueber die mechanische Bestimmung des Flächeninhaltes, der statischen Momente und der Trägheitsmomente ebener Figuren, insbesondere über einen neuen Planimeter. Schaffhausen 1856.
- de Beauclair, Wilfried: Alwin Walther, IPM and the Development of Calculator/Computer Technology in Germany, 1930–1945. In: *Annals of the History of Computing* 8 (1986), S. 334–350.
- Dubois, Francis: Nouveaux planimètres pour puissances à exposants fractionnaires. In: *Le Génie civil* 106 (1935.1), S. 555–558.
- Dubois, Francis: Planimeter für gebrochene Potenzen. In: *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen* 18 (1942/43), S. 259–276.
- Hele-Shaw, Henry Selby: Mechanical Integrators, including the various forms of planimeters. New York 1886 (reprinted from the *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*).
- Meyer zur Capellen, Walther: *Mathematische Instrumente*. 3. Aufl. Leipzig 1949.
- Müller-Merbach, Heiner: Pionier des wissenschaftlichen Rechnens: 100. Geburtstag von Alwin Walther am 6. Mai 1998. In: TUD intern. Darmstadt 1998, S. 10.
- Ott, Ludwig Albert: Neue Planimeter und Integrimeter. In: *Die Meßtechnik* 12 (1936), S. 41–45 [auch als Sonderdruck Dd 368 der Fa. A. Ott].
- Ott, Ludwig Albert: Nouveaux planimètres et intégrimètres. In: *Le Génie civil* 108 (1936.1), S. 229–232.
- Ott, Ludwig Albert: Systematische Entwicklung der Planimeter und Integrimeter aus der einfachsten Grundform. In: *Die Meßtechnik* 13 (1937), S. 41–48 [auch als Sonderdruck Dd 378 der Fa. A. Ott].

- Ott, Ludwig Albert: Le développement systématique des planimètres et des intégrimètres à partir de la forme fondamentale la plus simple. In: Le Génie civil 111 (1937.2), S. 203–207.
- Ott Messtechnik [Hg.]: Eine Reise durch Technik und Zeit. 125 Jahre OTT. Kempten 1998.
- Rößler, Horst: Werkmeister, Paul Georg August. In: Sächsische Biographie [...], Datum des Artikels: 28.7.2008. Online-Ausgabe: <http://www.isgv.de/saebi/>.
- Schwetlick, Hubert: Alwin Walther (6. Mai 1898–4. Januar 1967). Ein Pionier des wissenschaftlichen Rechnens. In: Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik 80 (2000), S. 5–8.
- Toeplitz, Otto: Die Entwicklung der Infinitesimalrechnung. Eine Einleitung in die Infinitesimalrechnung nach der genetischen Methode. Erster Band [mehr nicht erschienen]. Berlin u. a. 1949.
- Walther, Alwin: Mathematische Geräte zum Integrieren. Planimeter, Integrimeter, Integraphen. In: Zeitschrift des VDI 80 (1936), S. 1397–1403 [auch als Sonderdruck Dd 376 der Fa. A. Ott].
- Werkmeister, Paul: Potenzplanimeter »Adler-Ott«. In: Zeitschrift für Instrumentenkunde 52 (1932), S. 324–326 [auch als Sonderdruck Dd 353 der Fa. A. Ott].
- Werkmeister, Paul: Ein Dreirollen-Momentenplanimeter. In: Zeitschrift für Instrumentenkunde 54 (1932), S. 410–412 [auch als Sonderdruck Dd 362 der Fa. A. Ott].
- Willers, Friedrich Adolf: Mathematische Instrumente. München/Berlin 1943.
- Willers, Friedrich Adolf: Mathematische Maschinen und Instrumente. Berlin 1951.

* * * *

Dieser Beitrag wurde auf Wunsch des Verfassers in »Alter Rechtschreibung« belassen.

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; Mehrrens, *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

Foerstere 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).

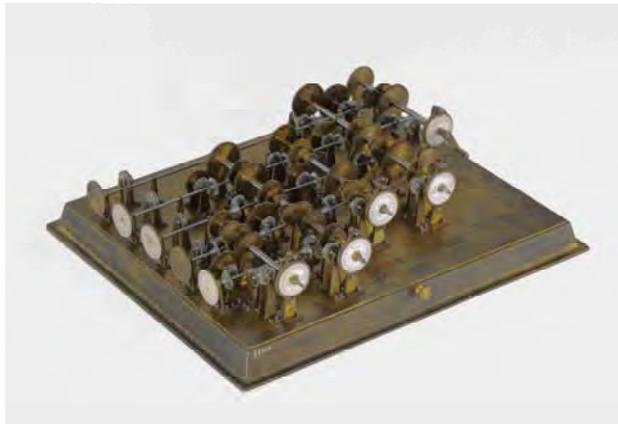


Abb. 4: Maschine zum Lösen von Gleichungen von Joseph Nowak (1915).

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.

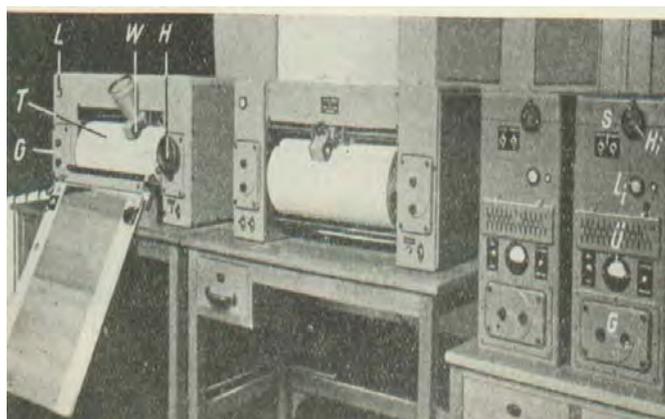


Abb. 8: Integriermaschine Sauer-Askania.

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 Sauers Institut 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.

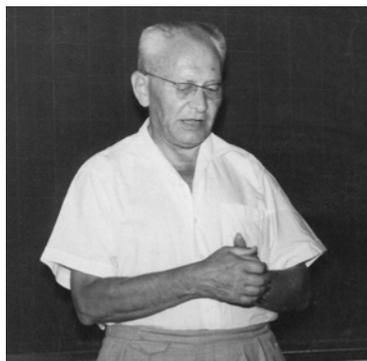


Abb. 11: Alwin Walther.



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

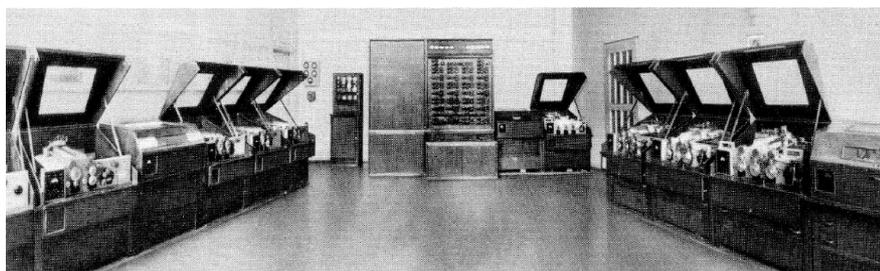


Abb. 13: Integrieranlage IPM-Ott.

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 Digitalrechner-technologie 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 zehnmals 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 Weltkriege. 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 Weltkriege. 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.

Rudolf Seising

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

Einleitung

Geisteswissenschaft und Literatur (*Humanities*) einerseits und Naturwissenschaft und Technik (*Sciences*) andererseits bilden zwei *Kulturen*, und dazwischen bestehe eine tiefe Kluft, behauptete der englische Physiker und Schriftsteller Charles Percy Snow, als er am 7. Mai 1959 im Senate House in Cambridge die *Sir Robert Rede's Lecture* unter dem Titel *The Two Cultures and the Scientific Revolution* hielt und darin den Zusammenbruch der Kommunikation zwischen eben diesen Kulturen beschrieb.¹ Weil schon die damaligen Lehrpläne keinen Platz mehr boten, die Studenten über den Tellerrand hinaus auf andere Disziplinen schauen, geschweige denn sich mit diesen näher befassen zu lassen, beklagte er eine zu erwartende Verarmung beider Kulturen. Vier Jahre später sagte er optimistisch das Entstehen einer »dritten Kultur« voraus: Eine neue Generation von Wissenschaftlern werde die Kommunikationsbarriere zwischen den vorherigen beiden Kulturen überbrücken, prophezeite er in *The Two Cultures: A Second Look. An Expanded Version of The Two Cultures and the Scientific Revolution*.² Weitere 30 Jahre später veröffentlichte der Multimedia-Künstler, Literaturagent und Autor John Brockman das Buch *The Third Culture: Beyond the Scientific Revolution*. In der Einleitung zu diesem Sammelband widersprach er Snows These von der dritten Kultur. Vielmehr seien es jene Wissenschaftler, die sich der Popularisierung von Wissenschaft in ihren Veröffentlichungen widmen und Antworten »auf die letzten Fragen« für ein breites Publikum bereitstellen, die »eine dritte Kultur« bilden:

In Snow's third culture, the literary intellectuals would be on speaking terms with the scientists. Although I borrow Snow's phrase, it does not describe the third culture he predicted. Literary intellectuals are not communicating with scientists. Scientists are communicating directly with the general public. Traditional intellectual media played a vertical game: journalists wrote up and professors wrote down. Today, third culture thinkers tend to avoid the middleman and endeavor to express their deepest thoughts in a manner accessible to the intelligent reading public.³

Die »zwei Kulturen« begegnen uns heute in der amerikanisierten Klassifizierung von *Hard Science* und *Soft Science*. Wissenschaftliche »Härte« bedeutet dabei »Strenge«, »Exaktheit«,

1 Snow, *Cultures*, 1960. Der Vortrag und die nachfolgende Buchveröffentlichung beruhten auf einem von Snow schon am 6. Oktober 1956 unter der Überschrift »The Two Cultures« im *New Statesman* publizierten Artikel.

2 Snow, *Cultures*, 1964.

3 Brockman, *Culture*, 1995.

ausnahmslose Geltung der mathematisch formulierten Gesetzmäßigkeiten, während »weiche« Wissenschaften gerade diese Eigenschaften nicht – oder jedenfalls nicht strikt – erfüllen. So zählt man die Naturwissenschaften zu den harten, die Sozial- und Geisteswissenschaften zu den weichen Disziplinen – eine längst überholte und auch zu früherer Zeit oberflächliche Klassifikation! Während *Hard Science* von empirischen, meist experimentell gewonnenen, quantifizierbaren Daten ausgehe, mit wissenschaftlichen Methoden arbeite und auf Genauigkeit und Objektivität abziele, bleibe *Soft Science* hinter diesen Ansprüchen zurück: sie basiere auf Vermutungen und stütze sich auf qualitative Daten bzw. Analysen. Als Beispiele werden meist die Sozialwissenschaften, die Psychologie und die Anthropologie genannt. Obwohl große Teile der Geistes- und Sozialwissenschaften heute mit quantitativen Daten und »harten« wissenschaftlichen Methoden ausgeführt werden, sie also zumindest eine Mischung aus *Hard* und *Soft Sciences* wären, wird diese Unterscheidung zwischen den beiden Kulturen immer noch weitgehend beibehalten – vor allem von Seiten der *Hard Scientists*!

Dieses Wertungsgefälle diskutierte einmal mehr der Wissenschaftshistoriker und -publizist Michael Shermer in seiner Kolumne im Septemberheft 2007 des *Scientific American*:

I have always thought that if there must be a rank order (which there mustn't), the current one is precisely reversed. The physical sciences are hard, in the sense that calculating differential equations is difficult, for example. The variables within the causal net of the subject matter, however, are comparatively simple to constrain and test when contrasted with, say, computing the actions of organisms in an ecosystem or predicting the consequences of global climate change. Even the difficulty of constructing comprehensive models in the biological sciences pales in comparison to that of modeling the workings of human brains and societies. By these measures, the social sciences are the hard disciplines, because the subject matter is orders of magnitude more complex and multifaceted.⁴

Mit dieser Umordnung aber nicht genug, bricht Shermer dann eine Lanze für alle diejenigen Wissenschaftler, die es über die Publikation ihrer Forschungsergebnisse in »peer-reviewed sections of journals« hinaus verstehen, von ihrer Wissenschaft zu erzählen: »We are storytellers. If you cannot tell a good story about your data and theory – that is, if you cannot explain your observations, what view they are for or against and what service your efforts provide – then your science is incomplete.« Die »Erzählkomponente« gegenüber dem technischen Schreiben über Wissenschaft als »mere popularization« abzuqualifizieren, sei atemberaubend und naiv; und die damit einhergehende Dichotomie sei außerdem oberflächlich und grob: »Between technical and popular science writing is what I call »integrative science«, a process that blends data, theory and narrative. Without the three of these metaphorical legs, the seat on which the enterprise of science rests would collapse«, schrieb Shermer, und in vielen dieser »integrativen Geschichten/Erzählungen« (»well-crafted narratives«) entstünden aus Primärquellen neue, einheitliche

4 Shermer, *Science*, 2007.

»higher-order works of science«, die zur Prüfung einer allgemeinen Theorie oder zur Beantwortung der »großen/letzten Fragen« herangezogen werden.⁵

Mithin rückt Shermers Sicht der Dinge in die Nähe von Brockmans These, und es gibt auch Überschneidungen der Menge von Wissenschaftlern, die nach Shermer »integrative Wissenschaft« betreiben und jener, die nach Brockman in »populärwissenschaftlichen Werken« die »letzten Fragen« zu beantworten versuchen, genannt sind hier Stephen Jay Gould, Richard Dawkins und Steven Pinker. Während Brockman den Glauben an eine dritte Wissenschaftlerkultur nicht teilt, die den Kommunikationsprozess zwischen geisteswissenschaftlich-literarischer und naturwissenschaftlich-technischer Kultur wieder in Gang bringen soll, sondern in der Wissenschaftspopularisierung die dritte Kultur sieht, liegt Shermer offenbar nichts daran, überhaupt an einer scharfen Klassifizierung wissenschaftlicher Tätigkeiten in verschiedenen Kulturen festzuhalten. Wissenschaftler sind verschieden talentiert, in Lehre und Forschung, in der Theorie und beim Experimentieren, und eben auch in der Erzählkunst. Vollständig sei die Wissenschaft, wenn alle diese Bereiche integriert sind, und: »Integrative Science is hard science«!

Auch in der Science-Fiction – zweifellos ein Genre der Erzählkultur – treffen wir auf die alte Differenzierung: *Hard Science Fiction* handelt von den exakten Naturwissenschaften und darauf bauenden bzw. zu erwartenden technischen Weiterentwicklungen, so vor allem in der Raumfahrt⁶ oder in der Gentechnologie.⁷

Soft Science Fiction zielt dagegen eher auf Handlungsinhalte, die in den *Soft Sciences* relevant sind: philosophische, psychologische, politische oder gesellschaftliche Fragen. Die Charakteristika und die Emotionalität der Protagonisten stehen im Mittelpunkt, während *Hard-Science*-Motive lediglich die Rahmenhandlung bilden.⁸

Zwei mit der *Science Fiction* verwandte Literaturspielarten geben Gelegenheit, in die Thematik dieses Beitrags einzuschwenken: Rechnende Maschinen!

1. Stories der so genannten *Alternate* oder *Alternative History* (auch *Alternative Reality*) gehen von einem anderen Geschichtsverlauf als dem uns bewussten aus. Sehr bekannt sind z. B. *Das Orakel vom Berge* von Philip K. Dick⁹ und *Vaterland* von Robert Harris¹⁰ geworden, die beide eine alternative Realität schildern, in der die Nationalsozialisten den Zweiten Weltkrieg gewonnen haben. Ebenfalls in der unmittelbaren Nachkriegszeit spielt Rudy Ruckers kürzlich erschienene Kurzgeschichte *The Imitation Game*.¹¹ Zwar geht es hier nicht um einen anderen Kriegsausgang, stattdessen geht es um das Schicksal des englischen Mathematikers Alan Mathison Turing, der maßgeblich an der kriegsentscheidenden Entschlüsselung des deutschen Enigma-Codes beteiligt war, darüber hinaus die

5 Ebd.

6 Beispiele sind Romane und Kurzgeschichten von Greg Bear, Alastair Reynolds, Gregory Benford, Stephen Baxter, Robert L. Forward und als Klassiker Isaac Asimov und Arthur C. Clarke.

7 Z. B. Huxley, *World*, 1932.

8 Z. B. Ray Bradbury, Ursula K. Le Guin, Philip K. Dick und Stanisław Lem.

9 Dick, *Man*, 1962.

10 Harris, *Fatherland*, 1992.

11 Rucker, *Game*, 2009.

später so genannte Turing-Maschine erdacht und damit das theoretische Konzept des universellen Computers geschaffen hatte. Seine Homosexualität wurde ihm zum Verhängnis! Da sie damals in England (und nicht nur dort) noch ein Strafbestand war, wurde Turing nach ungewolltem Outing zu einer psychiatrischen Behandlung, begleitet von Östrogenverabreichungen, verurteilt. Der sich daraufhin einstellenden Depression entkam er schließlich, indem er 1954 eine mit Cyanid versehene Apfelhälfte aß und starb. In *The Imitation Game* geschieht dies allerdings nicht! Statt seiner wird in dieser Alternativgeschichte sein griechischer Partner (den es in Wirklichkeit nie gab) vergiftet. Turing gelingt es dann, dem britischen Geheimdienst (und damit den Mördern seines Geliebten) zu entkommen, indem er Aussehen und Identität des Ermordeten annimmt – diesen als Lebenden imitiert und nach Griechenland entkommt! Der Titel von Ruckers Story verweist auf einen Artikel, den Turing tatsächlich 1950 publiziert hatte: *Computing Machinery and Intelligence*. Darin stellt er die Frage: »Can machines think?«¹² Zu deren Diskussion – von einer Beantwortung kann nicht die Rede sein – erfand er ein »Imitationsspiel«, in dem ein Mensch schriftlich, etwa über Fernschreiber, Fragen an zwei Partner stellen kann und diese ihm antworten. Einer der beiden ist eine Maschine, einer von beiden hat die Aufgabe, dem Fragenden behilflich zu sein, der andere den Fragenden zu verwirren. Wer welcher Aufgabe gemäß antwortet, ist dem Fragenden nicht bekannt, doch soll er aufgrund der erhaltenen Antworten entscheiden, welcher Kommunikationspartner Maschine und welcher Mensch ist. Kann er nicht sicher beurteilen, ob sein Gegenüber eine Maschine oder ein Mensch ist, so schloss Turing, dann müsse diesem wohl Intelligenz zugesprochen werden.

2. Eine Parodie auf *Science-Fiction*-Geschichten ist die »Space Odyssey« *Per Anhalter durch die Galaxis* von Douglas Adams. Hier bauen Außerirdische einen Computer namens Deep Thought, der die Antwort auf die Frage aller Fragen, nämlich die »nach dem Leben, dem Universum und dem ganzen Rest« (»life, the universe and everything«) errechnen soll. 7,5 Millionen Jahre später hat der Computer das Ergebnis »hart« errechnet, auf das die nun vor ihm Stehenden gespannt warten. Der Rechner sagt ihnen noch voraus, dass ihnen die Antwort auf diese »letzte Frage« (eine derer, denen sich Vertreter der »dritten Kultur« widmen?) nicht gefallen werde, und dann kommt die Antwort: »42«! Dann sagt Deep Thought, dass die Frage niemals präzise gestellt wurde (»I think the problem, to be quite honest with you, is that you've never actually known what the question is«). »42« ist ein *Hard-Computing*-Resultat, und es wird deutlich, dass mit dieser Zahl als Antwort nichts gewonnen ist.¹³

Dass die Frage nicht präziser gestellt werden kann, wird einem »hard« berechnenden Computer immer verborgen bleiben! Mit der Fragestellung überhaupt kommt allerdings der Begriff »Leben« in die Diskussion, der so einfach nicht in das theoretische Gerüst der

12 Turing, *Machinery*, 1950.

13 Im Jahre 2006 erschien Thomas Lehrs Roman *42*, dessen Titel eine Hommage an Douglas Adams ist.

Hard Sciences passt. Vielmehr sind die Lebenswissenschaften – die *Life sciences* – erst relativ spät in den Kanon der »Sciences« aufgenommen worden, und erst im 20. Jahrhundert wurden die mit »harten« Methoden und Theorien erklärbaren Anteile dieser Wissenschaften größer.

Auch Michael Sherman begann seine schon oben zum Teil wiedergegebene Kolumne mit einem entsprechenden Hinweis: »Over the past three decades I have noted two disturbing tendencies in both science and society; first, to rank the sciences from ›hard‹ (physical sciences) to ›medium‹ (biological sciences) to soft (social sciences) ...«. Die von ihm zweitens angeführte Unterscheidung zwischen technischem und populärem wissenschaftlichen Schreiben wurde schon angesprochen, und mit der von ihm dann vorgeschlagenen Erweiterung der Dichotomie zur Trichotomie in *hard*, *medium* und *soft science* ist er nicht der Erste gewesen, wie noch zu sehen sein wird.

In dieser Einleitung wollen wir jedoch bei der dualen Einteilung von *hard* und *soft* bleiben! Sie begegnet uns mit anderer Bedeutung in der wirklichen Geschichte der Computer, und damit befinden wir uns auf dem Forschungsgebiet, dem sich Hartmut Petzold als Elektrotechniker und Historiker, als Kurator für Informatik, Maß und Gewicht/Zeitmessung am Deutschen Museum in München – als integrativer Wissenschaftler – widmete und dies auch weiterhin tut. In der Einführung zu seinem 1992 erschienenen Buch, das aus seiner »technikgeschichtlichen Dissertation¹⁴ über die Geschichte der industriell hergestellten Rechenmaschinen und Computer, die sich im Deutschen Reich und in der Bundesrepublik etwa bis 1960 abspielte«, hervorging,¹⁵ erinnerte er daran, dass man

im amerikanischen Wilden Westen [...] in zwei Geschäften einkaufen konnte [...] und ein Käufer brauchte nur zwischen »harten« Metallwaren und »weichen« Textilien oder Kurzwaren zu unterscheiden. [...] Im Gegensatz zur damaligen Software, die man noch in die Hand nehmen konnte, bezeichnet der heutige Begriff etwas, was aus der nicht mehr greifbaren, nicht materiellen Substanz »Information« besteht. Hardware und Software sind deshalb konsequent informationstechnisch betrachtet, nicht trennbar.¹⁶

Petzold nennt die mit Konrad Zuses Plankalkül im Jahre 1945 vollzogene Abstraktion vom harten Rechnen mittels elektrischer Schaltungen (Hardware) zur immateriellen Programmierung (Software) eine »spezifische Erweiterung«, da die Programmierung schließlich unabhängig vom Maschinentyp und somit zur »Technologie« werde.¹⁷ Dies ist die eine der beiden Kategorien, die Petzold »zur Übertragung ingenieurtechnischer Sachverhalte in sozialgeschichtliche« vorschlug; mit ihrer Hilfe gelangt man zur »Verallgemeinerung charakteristischer Merkmale einzelner Rechenmaschinen«, die wiederum

14 Petzold, *Maschinen*, 1985.

15 Petzold, *Rechenkünstler*, 1992, S. 12.

16 Ebd., S. 21.

17 Ebd., S. 21.

»allgemeinere Schlussfolgerungen auf die historische Situation der Gesellschaft« zu ziehen erlaubt, »die diese Technologien hervorbrachte oder ihre Anwendung organisierte.«¹⁸

Die andere von Petzold eingeführte Kategorie ist die der »Erfahrungsgänge«; das sind die »abstrakten roten Fäden«, entlang derer Historiker die Technologien in der Sozialgeschichte verfolgen können. Sie registrieren, wie die Menschen ihre Erfahrungen mit den Technologien »machen«, »weitergeben«, »umsetzen«, »nutzen« und »wirksam machen«, und Erfahrung sei »etwas, was nur im Gehirn eines menschlichen Individuums unter den jeweiligen historischen Bedingungen rezipiert, aktiviert und zur schöpferischen Leistung verarbeitet werden kann«.¹⁹ Petzolds Buch heißt *Moderne Rechenkünstler*, und in der Einführung hebt er hervor, dass

es kein Zufall gewesen sei, dass sich das Interesse immer mehr den Menschen zuwandte, die überzeugt waren, für jene Probleme technische Lösungen gefunden zu haben, die sie realisieren wollten. [...] Die »modernen Rechenkünstler« nutzten die technischen Möglichkeiten, die ihnen in der gewöhnlich als »Moderne« bezeichneten Zeit und Situation des hochindustrialisierten Deutschland zur Verfügung standen. Dabei waren sie, wie die Rechenkünstler der früheren Jahrhunderte, oft keine akademisch-wissenschaftlichen Mathematiker, sondern mathematische Dilettanten.²⁰

Zwischen der 1985 erschienenen Dissertation und dem sieben Jahre später publizierten Buch rückten für Petzold die Menschen in den Fokus, den zuvor die Maschinen eingenommen hatten. Letztere verblieben »dem Leser in der Art von Marksteinen«; sie »wiesen« ihm »mehrere parallele und sich mehrfach kreuzende Wege durch die Geschichte. Gleichzeitig verfolgt der Leser jedoch die Arbeit und das individuelle oder organisierte Wirken des erwähnten Kreises lebendiger Menschen.«²¹ Mit seiner »Interpretation technischer Entwicklungen als Bestandteile historischer und gesellschaftlicher Prozesse« lenkt Petzold »das Interesse weg vom isolierten technischen Detail, hin zur Vielfalt der Zusammenhänge und Gegensätze zwischen den technischen Besonderheiten und den gesellschaftlichen Gegebenheiten und Entwicklungen.«²²

Von hier aus ist es nur ein kleiner Schritt, die »Erfahrungsgänge« der Technologien als »Spuren« im Sinne der von Michel Callon und Bruno Latour entwickelten Akteur-Netzwerk-Theorie zu interpretieren.²³ Mit Verweis auf die von Petzold betonte Nicht-Trennbarkeit von Hard- und Software lassen sich dann aber nicht nur die Konstrukteure, Wissenschaftler, Ingenieure als Akteure oder Wirkungseinheiten in diesen Netzwerken ansehen, sondern auch die Computer, die Softwaresysteme und die Programme müssen den Status von Aktanten erhalten können. Damit sind die Fragen, ob nicht-menschliche Akteure – hier Computer(programme) – eigenständig handeln können, und ob wir ihnen

18 Ebd., S. 17.

19 Ebd., S. 13 f.

20 Ebd., S. 21.

21 Ebd., S. 12.

22 Ebd., S. 13.

23 Callon/Latour, *Leviathan*, 1981.

möglicherweise bald Denken und Intelligenz zugestehen werden, ernst zu nehmen! Schließlich ist dann auch Petzolds Buchtitel neu zu hinterfragen: Wer oder was ist eigentlich ein »Moderner Rechenkünstler«? Mit Verweis auf die Herkunft seines Buchs aus der Dissertation »Rechnende Maschinen« leuchtet ein, dass die »Modernen Rechenkünstler« nicht nur die Ingenieure dieser Maschinen, und auch nicht die bloßen Maschinen sind, sondern die aus ihnen miteinander verschmolzenen Hybriden!

Artificial Intelligence – Making Computers Think?

Nachdem in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Analog- und Digitalrechner konstruiert, logische Sprachen entwickelt und im Anschluss an Turings theoretisches Konzept für die Computertechnologie – die später so genannte Turingmaschine – logisch-mathematische Automatentheorien und informationstheoretische Konzepte für Computer und Gehirnmodelle entworfen wurden, erschien 1950 Turings Artikel *Computing Machinery and Intelligence*. Um diese Zeit wurden Computer in den Medien häufig als »giant brain«, »electronic brain«, »thinking machine« o. Ä. bezeichnet²⁴ und somit der Öffentlichkeit als neue intelligente Wesen präsentiert!

Seit 1954 hatten Allen Newell, Herbert A. Simon und John Clifford Shaw bei Experimenten zur Psychologie des Denkens die Strategien der Menschen zur Lösung einfacher Probleme beobachtet und protokolliert und als formale Symbolmanipulationen nach festen Regeln in Algorithmen für ein Computerprogramm umgesetzt. In einem 1955 verfassten Projektantrag an die Rockefeller Foundation betonten die Mathematiker John McCarthy, Claude E. Shannon, Marvin L. Minsky, der auch Neurologe ist, und der IBM-Manager Nathaniel Rochester ihre These, dass jeder Aspekt des Lernens oder anderer Eigenschaften von Intelligenz im Prinzip so genau beschreibbar seien, dass auch eine entsprechend gebaute Maschine diese Fähigkeiten simulieren könne. Von ihrer im Antrag in Aussicht gestellten Zusammenarbeit erwarteten sie bedeutende Fortschritte bei Problemlösungen, die bisher den Menschen vorbehalten waren.²⁵ Der Antrag war erfolgreich, und dank der Förderung trafen sich im Sommer 1956 zehn Wissenschaftler zu dem sechswöchigen *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence* in Hannover, New Hampshire. Newell und Simon präsentierten hier eine Version ihrer *Information Processing Language*, IPL 2, als Ergebnis ihres Programms *Logical Theory Machine*, das mathematische Theoreme in elementarer Logik bewies.²⁶

Das Treffen wurde zur Geburtsstunde des interdisziplinären Forschungsgebietes *Artificial Intelligence* (AI) – eine Bezeichnung, die unter den damaligen Teilnehmern durchaus umstritten war und blieb: Shannon hielt sie für unwissenschaftlich, und der Elektrotechniker Arthur Lee Samuel befürchtete, dass sie einen unrealistischen Eindruck der

24 Berkeley, *Brains*, 1949; Zadeh, *Machines*, 1950; Martin, *Myth*, 1993.

25 S. dazu: McCarthy, John u.a.: A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html> (Zugriff v. 4.8.2010).

26 Newell/Simon, *Logic*, 1956.

Forschungsarbeit erweckte; auch Newell und Simon sahen darin keine gute Bezeichnung für ihre Überlegungen über komplexe Informationsverarbeitung beim menschlichen Denken, doch schließlich setzte sich McCarthy mit seiner Vorliebe für diesen Namen des neuen Forschungsgebietes durch – wohl auch um der damit gesicherten vielseitigen Aufmerksamkeit Willen, auch von Seiten möglicher Geldgeber –, vor allem aber stellte er damit die Leistungen der Computer ins Zentrum der neuen Disziplin.

1959 präsentierten Newell und Simon den *General Problem Solver*, der u.a. Probleme der Spiele »Schach« und »Türme von Hanoi« bis zu einer gewissen Komplexität oder das »Missionar-Kannibale-Problem« aufgrund von Faustregeln löste.²⁷ Auch Samuels »Dame« spielendes Programm,²⁸ Herbert Gelernters *Geometry Theorem Prover*²⁹ und McCarthys Programmiersprache LISP³⁰ gehören zu diesen ersten Ansätzen der AI, die der Philosoph Hubert Dreyfus³¹ in die so genannte »Phase der kognitiven Simulation« (1957-1962) einordnete, während derer auch die AI Forschungszentren am Carnegie Institute of Technology, am Massachusetts Institute of Technology (MIT), an der Stanford University und am Stanford Research Institute (SRI) gegründet wurden. Die Resultate führten zu euphorischen Voraussagen: Simon prophezeite schon 1958, dass ein Computer zehn Jahre später Schachweltmeister sein werde. Zudem war man in einer anderen Forschungsrichtung ungeheuer optimistisch: Die Idee, dass sich Intelligenz aus der spezifischen Vernetzung von Neuronen erklären lassen könne, hatte zur Erforschung so genannter künstlicher neuronaler Netze geführt. Schon 1943 hatten Warren McCulloch und Walter Pitts ein Modell für künstliche Neuronennetze und deren Verknüpfungen vorgestellt, die sie mit einem vollständigen Logikkalkül für Signale in elektrischen Schaltungen identifizierten.³² John von Neumann hatte diese Analogie zwischen Neuronen- und Schaltungsnetzen dann zwei Jahre später zur Darstellung der logischen Prinzipien eines ersten speicherprogrammierten Computers verwendet.³³ Zu Beginn der 1950er Jahre hatten Minsky und Dean Edmonds in Princeton den allerdings nie praktisch eingesetzten Neurocomputer *Snark (Stochastic Neural-Analog Reinforcement Computer)* entwickelt,³⁴ und an der Cornell University konstruierte der Psychologe Frank Rosenblatt mit Charles Wightman in den 1950er Jahren das *Mark I Perceptron*, das er bereits 1958 völlig übertrieben als eine zu eigenen Gedanken fähige Maschine bezeichnete.

Bald war klar, dass die Leistungen der AI-Systeme weit hinter diesen Erwartungen zurückblieben. Die »kognitive Simulation« scheiterte, wenn die zu lösenden Probleme schwieriger wurden. Systeme, die zu besseren Ergebnissen führen sollten, wurden in der

27 Newell/Shaw/Simon, *Report*, 1960; Newell/Simon, *GPS*, 1963.

28 Samuel, *Studies*, 1959.

29 Gelernters, *Realization*, 1959.

30 McCarthy, *Functions*, 1960.

31 Dreyfus, *Computers*, 1979.

32 McCulloch/Pitts, *Calculus*, 1943.

33 S. dazu: John von Neumann: First Draft of a Report on the EDVAC. <http://qss.stanford.edu/~godfrey/vonNeumann/vnedvac.pdf>. (Zugriff v. 4.8.2010).

34 Minsky, *Calculator*, 1952.

von Dreyfus³⁵ so genannten »Phase der semantischen Informationsverarbeitung« 1962–1967 von Doktoranden bei Minsky entworfen: STUDENT von Daniel Bobrow,³⁶ ANALOGY von Thomas Evans³⁷ und Semantic Memory von Ross Quillian³⁸ schienen für den Benutzer über die Manipulation der Symbole hinaus auch deren Bedeutung zu »verstehen«, also nicht nur die syntaktische, sondern auch die semantische Informationskomponente zu verarbeiten. Dies gelang für jeweils sehr speziell eingeschränkte Arbeitsbereiche, auf allgemeinere Gebiete ließ sich dies aber nicht übertragen, daher führten auch diese von Minsky 1968 herausgegebenen Arbeiten zu keinem neuen Durchbruch in der AI.³⁹

Der Weg der Wissenschaft verlief anders: 1968 zeigten Minsky und Papert, dass Rosenblatts *Perceptron* mit dem »Entweder-Oder« (XOR) eine der grundlegenden Operationen der Aussagenlogik nicht darstellen kann.⁴⁰ Dieser Rückschlag wurde missverständlich auf die Konnektionismus genannte, gesamte Erforschung künstlicher neuronaler Netze übertragen, die damit schlagartig nicht mehr gefördert wurde; erst in den 1980er Jahren sollten sich hier neue Erfolge einstellen.

Die Forschungen zur AI wurden am MIT und später auch in Stanford auf die Untersuchung sehr kleiner Arbeitsbereiche verlagert, die Minsky »microworlds« nannte und durch die Dreyfus die »dritte Phase der AI-Forschung« charakterisierte. »Mikrowelten« waren Ensembles einiger weniger, einfacher Formen, die das Computersystem unterscheiden und verschieben bzw. über deren räumliche Positionierung er Auskunft geben sollte. Im Vordergrund stand somit wieder das »Computermodell des Geistes«. Das Gehirn wurde als Computer betrachtet, während dem menschlichen Geist das auf ihm laufende Programm entsprach. Mit der Bearbeitung der »Mikrowelten« mittels Computerprogrammen versuchte man nun, den menschlichen Geist zu simulieren.

Handelte es sich bei den Elementen der Mikrowelten um reale »Klötzchen«, so sollte ein Computer diese »sehen«, »hören« und »ertasten«. Minsky und Papert, die das 1968 aus der MIT Artificial Intelligence Group hervorgegangene AI Laboratory nun gemeinsam leiteten, begannen mit einem Projekt mit dem Ziel, dem Computer visuelle Informationen zu übertragen. Ein erster Erfolg war Patrick Winstons Programm, das in den Szenen einer Klötzchenwelt Strukturen zu erkennen lernte, wie z. B. einen Bogen, bestehend aus zwei Klötzchen, die mit etwas Zwischenraum nebeneinander stehen und gemeinsam einen dritten Klotz tragen.⁴¹ Winstons Programm wurde daraufhin zur Konstruktion des ersten »Hand-Auge-Roboters« benutzt, der Szenen der Klötzchenwelt zusammenbaute. Der Roboterarm hatte eine bewegliche Schulter, drei Ellbogen und ein Handgelenk. Bevor die

35 Dreyfus, *Computers*, 1979.

36 Bobrows Dissertation »Natural Language Input for a Computer Problem Solving System« ist unter <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/5922> im Internet auffindbar (Zugriff v. 4.8.2010).

37 Thomas Evans Dissertation »A heuristic program to solve geometric-analogy problems« ist unter <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1464122.1464156> im Internet auffindbar (Zugriff v. 4.8.2010).

38 Quillian, *Word*, 1967; Quillian, *Semantic*, 1968.

39 Minsky, *Information*, 1968.

40 Minsky/Papert, *Perceptrons*, 1969.

41 Winston, *Descriptions*, 1970.

Hand nach einem Klötzchen griff, bewegte sie der Roboter vor eine Kamera, um das Koordinatensystem des über die Kamera erhaltenen Bildes mit den Koordinaten seiner Hand abzugleichen. Schon wenig später gab es entsprechende Roboter auch im AI Laboratory in Stanford und in der von Charles Rosen geleiteten AI Group des SRI, darunter Nils Nilsson und Bertram Raphael. Dort gab man einem solchen Roboter Räder, auf denen er sich durch eine lebensgroße Klötzchenwelt bewegte. Mit Finanzierung des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums entstand *Shakey*, ein Roboter, der sich in sechs durch Türen verbundenen Räumen zurechtfinden und darin einige Schachteln verschieben und stapeln konnte.⁴² Damals wurde *Shakey* im Life Magazine »die erste elektronische Person« genannt. Dass *Shakey* ohne jedes von der Erde kommende lenkende Signal monatelang auf dem Mond spazieren gehen könne, wie dort auch behauptet wurde,⁴³ war maßlos überzogen, wie Raphael 1976 richtig stellte. In Wirklichkeit konnte *Shakey* in seiner »Laufstall-Umwelt« kaum die geraden Flure meistern.⁴⁴

Ende der 1970er Jahre präsentierte Paperts Doktorand Terry Winograd das Programm SHRDLU zur Simulation eines Roboterarms in einer Mikrowelt mit verschiedenen Klötzchen, das auf Fragen des Benutzers antwortete und dessen Befehle ausführen konnte. Es wurde der Anspruch erhoben, SHRDLU »verstehe« gesprochenes Englisch in einem eng abgegrenzten Bereich, da es ein Modell des Gegenstandes, über den geredet wird, und einen Unterhaltungskontext enthält.⁴⁵ In der Tat war SHRDLU – der Name erinnert an die zweite vertikale Tastenreihe der Linotype-Setzmaschine, mit der die Setzer Satzfehler an Zeitungsrandern markierten⁴⁶ – das erste Programm, über das ein Benutzer mit dem Computer Informationen in gewöhnlichem Englisch austauschte; diese Fähigkeit beruhte jedoch auf der Einfachheit seines Aktionsbereichs, und sie ging verloren, wenn dieser Bereich erweitert wurde. Gleichzeitig entstand in Stanford ein neuer Zweig der AI-Forschung, als 1965 Edward A. Feigenbaum, der neue Direktor des AI-Laboratoriums, darauf setzte, Erfahrungswissen von Spezialisten für effiziente Problemlösungsroutinen als Wenn-Dann-Regeln zu formulieren. Gemeinsam mit Robert K. Lindsay und Joshua Lederberg konstruierte er das erste Expertensystem für das Problem, die Molekül-Strukturformeln zu chemischen Summenformeln zu finden. Aufgrund von Regeln, die das Expertenwissen von Chemikern repräsentierten, durchsuchte das Programm die in einem Entscheidungsbaum angeordneten möglichen Formeln; diese Struktur gab dem System

42 Rosen, *Automaton*, 1970.

43 Darrach, *Shakey*, 1970.

44 Raphael, *Computer*, 1976.

45 Winograds Dissertation »Procedures as a Representation for Data in a Computer Program for Understanding Natural Language« ist unter <http://hci.stanford.edu/winograd/shrdlu/AITR-235.pdf> im Internet auffindbar (Zugriff v. 4.8.2010). Sie wurde vollständig in einem Heft der Zeitschrift *Cognitive Psychology* abgedruckt (Winograd, *Psychology*, 1972) und später als Buch unter dem Titel *Understanding Natural Language* publiziert.

46 Die Setzer führen mit dem Finger die Tastenreihe entlang, um eine bereits fehlerbehaftete Zeile mit den Zeichen dieser Reihe zu füllen. Das ging schnell und einfach und wurde manchmal dem Korrigieren per Hand vorgezogen. Erst beim Korrekturlesen wurde diese unsinnige Zeile wieder entfernt – jedoch manchmal auch vergessen.

seinen Namen DENDRAL, in Anlehnung an das griechische Wort für »Baum«. ⁴⁷ Diese Erfahrungen kamen der Konstruktion von MYCIN zugute, dem ersten medizinischen Expertensystem zur Unterstützung der Diagnose und Therapie bakterieller Infektionskrankheiten, das Feigenbaum, Bruce Buchanan und Edward H. Shortliffe im Jahre 1972 vorstellten. ⁴⁸ Hier wurde strikt zwischen der Darstellung des Faktenwissens und den Schlussweisen (Inferenzmechanismen) zur Herleitung neuen Wissens getrennt, ein Prinzip, das vielen weiteren Expertensystemen zugrunde gelegt wurde. ⁴⁹

Die Unterscheidung zwischen Faktenwissen als deklarativem Wissen zur Beschreibung von Objekten und Verfahrenswissen als prozeduralem Wissen, das besagt, wie die Objekte behandelt werden können, führte zu neuen Datenstrukturen in der AI, da die Regeln, mit denen wissensbasierte Systeme arbeiteten, bisher nur prozedurales Wissen repräsentierten. Um auch deklaratives Wissen für die Wissensgenerierung nutzbar machen zu können, führte Minsky 1974 so genannte Rahmen (frames) als Netzwerke von Daten ein, die für Routinesituationen stehen, z. B. für einen Restaurantbesuch. ⁵⁰ In einem für deklaratives Wissen reservierten Teil enthalten diese Rahmen deskriptive Attribute, während im Rahmenanteil für das prozedurale Wissen die das Verhalten der deklarativen Daten beschreibenden Methoden stehen. Minsky meinte, mit diesem Konzept ein Modell für menschliches Denken gefunden zu haben – seit Beginn der 1970er Jahre sah man nämlich auch im AI Laboratory des MIT die AI-Forschung als Beitrag zur Psychologie an. ⁵¹

In den 1980er Jahren lebte der AI-Forschungszweig der künstlichen neuronalen Netze wieder auf: Eine Gruppe von Forschern um James McClelland konnte zeigen, dass nach Erweiterung des Perceptrons durch Zwischenschichten dessen Unvermögen, alle aussagenlogischen Verknüpfungen darzustellen, behoben werden konnte. Die Multi-Layer-Perceptrons standen somit am Anfang des Parallel Distributed Processing (parallele verteilte Verarbeitung) als neuer Richtung der AI-Forschung. ⁵²

Im Jahre 1980 hatte der Philosoph John Searle die Unterscheidung zwischen »starker« und »schwacher« AI eingeführt: In der *schwachen* AI ist der Computer ein Instrument zur *Simulation* einiger Fähigkeiten des *menschlichen* Geistes und somit zu dessen Untersuchung geeignet, in der *starken* AI gesteht man dem entsprechend programmierten Computer auch *eigenen* Geist mit kognitiven Zuständen zu. Searle griff dann die *starke* AI mit dem Argument an, dass die Simulation eines Zustands nicht mit dem Zustand selbst identisch sei. Ihre Gleichsetzung sei vielmehr ein Kategorienfehler. Ein Computer habe keinen Geist und könne daher auch nicht denken! ⁵³

47 Buchanan/Feigenbaum, *DENDRAL*, 1978.

48 Shortliffe, *Consultations*, 1976.

49 Die wichtigsten Komponenten eines »wissensbasierten Systems« sind der Speicher, der die aktuell vorliegenden Daten eines Falls enthält, die Wissensbasis, in der die Fakten und Regeln stehen, und die Inferenzmaschine, in der nach den Regeln auf neues Wissen geschlossen wird.

50 Der Handlungsrahmen für einen Restaurantbesuch ist z. B. durch die Suche nach dem passenden Ort, die Reservierung eines Tisches, den Akt des Bestellens und den Akt des Bezahlens gegeben.

51 Minsky, *Intelligence*, 1973.

52 Rumelhart u.a., *Processing*, 1986.

53 Searle illustrierte seine Argumentation mit dem Gedankenexperiment vom »Chinese Room«, das als

Soft Computing: Making Computers Think like People!

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts war die Frage, ob ein menschliches Gehirn wie eine Rechenanlage funktioniert, sowohl in den Computerwissenschaften als auch in der Philosophie Anlass für kontroverse Diskussionen, doch schließlich wurde der Computer zur Metapher der *Artificial Intelligence* und der Intelligenz überhaupt! In der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts setzte allerdings eine gegensätzliche Entwicklung ein: Menschliche Fähigkeiten, natürliche Strukturen und Prozesse bildeten die Grundlage des *Soft Computing* (SC) – ein schnell wachsendes und inzwischen mit der *Artificial Intelligence* (AI) verwandtes Forschungsfeld, das sich allerdings in der Zielvorstellung einer »Maschinenintelligenz« von der »alten« AI unterscheidet: Eben nicht das »harte« Rechnen sei ein Charakteristikum »intelligenter« oder »denkender« Maschinen, sondern das Rechnen unter Einbeziehung von Toleranz gegenüber Unschärfen.

Die Vorschläge zur Einführung der Begriffe »Soft Computing« und »Machine Intelligence« gehen auf Überlegungen des 1944 in die USA emigrierten Elektrotechnikers Lotfi A. Zadeh zurück, der sich gleich nach seiner 1949 abgeschlossenen Dissertation zur *Frequency Analysis of Variable Networks* mit den im Zweiten Weltkrieg entstandenen Computern beschäftigt hatte.⁵⁴ Sein Artikel »Thinking Machines – A New Field in Electrical Engineering«, den er zur Halbzeit des 20. Jahrhunderts für Studenten der Elektrotechnik im *Columbia Engineering Quarterly* publizierte, beginnt folgendermaßen:

»Psychologists Report Memory is Electrical«, »Electric Brain Able to Translate Foreign Languages is Being Built«, »Electronic Brain Does Research«, »Scientists Confer on Electronic Brain«, – these are some of the headlines that were carried in newspapers throughout the nation during the past year. What is behind the headlines? How will »electronic brains« or »Thinking Machines« affect our way of living? What is the role played by electrical engineers in the design of these devices? These are some of the questions that we shall try to answer in this article.⁵⁵

In diesem Beitrag erklärte Zadeh die Grundfunktionen solcher Maschinen, und er betonte, dass eine Einheit namens *Decision Maker* (s. Abb. 1) ihre wichtigste Instanz sei. Die Eigenschaft, Entscheidungen zu fällen, sei ihr charakteristisches Merkmal: »More generally, it can be said that a thinking machine is a device which arrives at a certain decision or answer through a process of evaluation and selection.«⁵⁶ Es seien diese »Thinking Machines«, die in Zukunft Entscheidungen, ja selbst über den Ausgang von Kriegen, treffen würden. Abbildung 1 zeigt Zadehs Schema einer »denkenden Maschine« als Blockdiagramm für ein System mit Input und Output.

Replik auf Turings »Imitationsspiel« als Methode zur Beantwortung der Frage, ob ein Computerprogramm denken kann, und auf der Basis des theoretischen Konzepts der Turing-Maschine gelesen werden kann. S. auch Searle, *Minds*, 1980.

54 Zadeh, *Analysis*, 1950.

55 Zadeh, *Machines*, 1950, S. 12. S. dazu auch: Martin, *Myth*, 1993.

56 Ebd., S. 13.

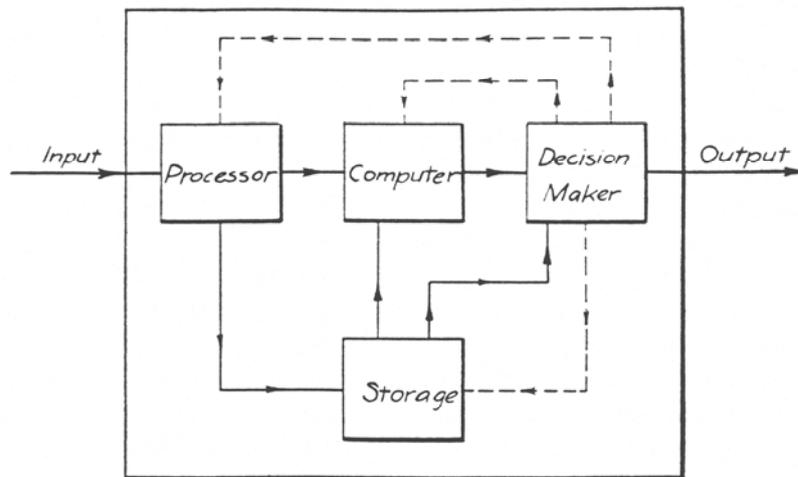


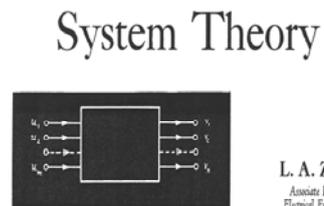
Abb. 1: Zadehs Illustration einer »Thinking Machine« .

In derselben Zeitschrift veröffentlichte Zadeh vier Jahre später auch einen Artikel zur »System Theory«,⁵⁷ die sich in den 1950er Jahren als neue wissenschaftliche Disziplin herausbildete, um Systeme allein aufgrund ihres abstrakten Input-Output-Verhaltens zu analysieren (Abb. 2).

Ein System sei »an aggregation or assemblage of objects united by some form of interaction or independence« schrieb er in der Studentenzeitschrift.⁵⁸ Systeme sind also black boxes mit Inputs und Outputs. Wenn Inputs und Outputs als zeitabhängige Funktionen u_1, \dots, u_m bzw. v_1, \dots, v_n , ($m, n \in \mathbb{N}$) darstellbar sind, dann kann das dynamische Verhalten des Systems durch die Input-Output-Beziehungen $(v_1, \dots, v_n) = f(u_1, \dots, u_m)$ mathematisch studiert werden.



THINKING MACHINES
 A New Field in
 Electrical Engineering
 DR. LOFTI A. ZADEH
 ELECTRICAL ENGINEERING DEPT.



L. A. Zadeh
 Associate Professor
 Electrical Engineering

Abb 2: Titel zu Zadehs Artikel im *Columbia Engineering Quartely* in den 1950er Jahren.

Seit seiner Assistentenzeit an der Columbia University in New York hatte Zadeh mit Methoden der Systemtheorie gearbeitet, die damals noch keine etablierte Disziplin in den Ingenieurwissenschaften war. 1958 wurde er Professor an der University of California at Berkeley, und während er dort mit seinem Kollegen Charles Desoer an dem 1963 erschie-

57 Zadeh, *System*, 1954.

58 Ebd., S. 16.

nenen Lehrbuch *Linear System Theory* schrieb,⁵⁹ wurde ihm bewusst, dass die konventionelle Mathematik der Analyse komplexer Systeme nicht angemessen war. Bereits in einem 1962 erschienenen Rückblick auf die Entwicklung in der Elektrotechnik *From Circuit Theory to System Theory* stellte er die Bedeutung der Systemtheorie heraus:

It has been brought about, largely within the past two decades, by the great progress in our understanding of the behaviour of both inanimate and animate systems – progress which resulted on the one hand from a vast expansion in the scientific and technological activities directed toward the development of highly complex systems for such purposes as automatic control, pattern recognition, data-processing, communication, and machine computation, and, on the other hand, by attempts at quantitative analyses of the extremely complex animate and man-machine systems which are encountered in biology, neurophysiology, econometrics, operations research and other fields.⁶⁰

Zadeh zufolge seien allerdings die Methoden der konventionellen Mathematik für die Analyse großer und komplexer Systeme nicht geeignet, und es müssten bessere Methoden gefunden werden:

In fact, there is a fairly wide gap between what might be regarded as »animate« system theorists and »inanimate« system theorists at the present time, and it is not at all certain that this gap will be narrowed, much less closed, in the near future. There are some who feel that this gap reflects the fundamental inadequacy of the conventional mathematics – the mathematics of precisely-defined points, functions, sets, probability measures, etc. – for coping with the analysis of biological systems, and that to deal effectively with such systems, which are generally orders of magnitude more complex than man-made systems, we need a radically different kind of mathematics, the mathematics of fuzzy or cloudy quantities which are not describable in terms of probability distributions. Indeed, the need for such mathematics is becoming increasingly apparent even in the realm of inanimate systems, for in most practical cases the a priori data as well as the criteria by which the performance of a man-made system is judged are far from being precisely specified or having accurately-known probability distributions.⁶¹

In einem im Sommer 1964 auf der Wright-Patterson Air Force Base in Dayton, Ohio, gehaltenen Vortrag über Mustererkennung argumentierte Zadeh erstmals mit neuen mathematischen Grundelementen, die er »fuzzy sets« – »unscharfe Mengen« – nannte. Beim Militär war man sehr an mathematischen Formalismen zur maschinellen Lösung von Abstraktionsaufgaben wie der Trennung, Klassifikation und Erkennung von Mustern interessiert, und »Thinking Machines« wie Rosenblatts *Perceptron* galten als geeignete Problemlöser.

Zadeh präsentierte seine Idee zur Separation von Mustern – Mengen von Punkten in einem n -dimensionalen Euklidischen Raum –, indem er sie als fuzzy sets ansah, denen die Punkte nicht mehr nur entweder ganz oder gar nicht, sondern auch graduell (also mit Werten zwischen 0 und 1) zugehören (Abb. 3):

59 Zadeh/Desoer, *Systems*, 1963.

60 Zadeh, *Theory*, 1962, S. 856 f.

61 Ebd., S. 857.

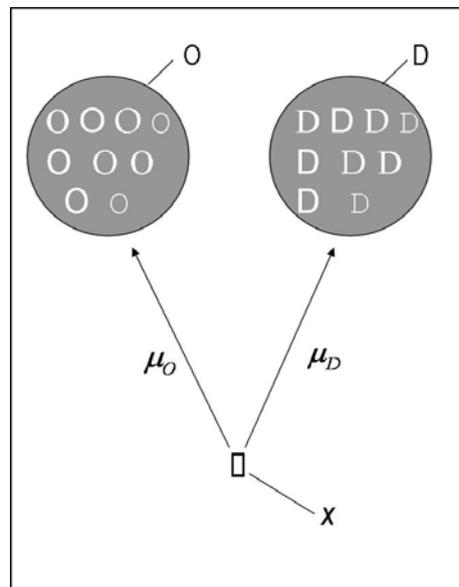


Abb. 3: Illustration zu Zadehs Vorschlag der Musterklassifikation: Das Zeichen x gehört mit Zugehörigkeitsgrad μ_O zum Fuzzy Set der O's und mit Zugehörigkeitsgrad μ_D zum Fuzzy Set der D's.

For example, suppose that we are concerned with devising a test for differentiating between handwritten letters O and D . One approach to this problem would be to give a set of handwritten letters and indicate their grades of membership in the fuzzy sets O and D . On performing abstraction on these samples, one obtains the estimates $\hat{\mu}_O$ and $\hat{\mu}_D$ of μ_O and μ_D respectively. Then given a letter x which is not one of the given samples, one can calculate its grades of membership in O and D , and, if O and D have no overlap, classify x in O or D .⁶²

1965 erfolgte die Veröffentlichung des berühmten Artikels *Fuzzy Sets*, der den Erfolg dieser dann vielseitig in Wissenschaft und Technik angewendeten mathematischen Theorie begründete.⁶³ Inspiriert von der »remarkable human capability to perform a wide variety of physical and mental tasks without any measurements and any computations«, schlug Zadeh diese Theorie und in den 1990er Jahren die darauf basierende Methodologie des *Computing with Words* (CW) als Alternative zum *Hard Computing* (HC) vor.⁶⁴

Im Jahre 1991 etablierte Zadeh das Forschungsgebiet des *Soft Computing* (SC).⁶⁵ Dessen theoretisches und methodisches Instrumentarium umfasst neben *Fuzzy Sets and Systems* auch *Künstliche Neuronale Netzwerke*, *Evolutionäre* und *Genetische Algorithmen* – Gebiete, die sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts weitgehend unabhängig

62 Bellman/Kalaba/Zadeh, *Abstraction*, 1964, S. 30.

63 Zadeh, *Sets*, 1965; zur Geschichte der Fuzzy Set Theorie s. Seising, *Fuzzifizierung*, 2005.

64 Zadeh, *Logic*, 1996; Zadeh, *Computing*, 1999.

65 Zadeh, *Logic*, 1994.

voneinander entwickelt hatten, denen aber die Imitation von auf natürlichem Wege entwickelten Strukturen oder Verhaltensweisen gemeinsam ist, um Problemlösungsverfahren zu optimieren, die mit Hilfe des auf der klassischen Mathematik beruhenden HC nicht oder nur schwer zu lösen sind.⁶⁶

»The concept of soft computing crystallized in my mind during the waning months of 1990«, schrieb Zadeh später und dass er damals auch den Plan fasste, die *Berkeley Initiative in Soft Computing* (BISC) zu gründen, übrigens auch um nationalistischen Tendenzen im Wissenschaftsbereich entgegenzuwirken. SC sollte kein homogenes Gebilde von Ideen und Techniken sein. Vielmehr sollten sich in diesem Verbund verschiedene Methoden partnerschaftlich einem gemeinsamen und wichtigen Ziel widmen: der wissenschaftlichen Ausschöpfung von Toleranz gegenüber Ungenauigkeit und Ungewissheit, um Lenkbarkeit, Robustheit und kleine (niedrige) Lösungskosten zu erreichen.⁶⁷

SC-Theorien und -Methoden unterscheiden sich von denen des HC in charakteristischer Weise: Während bei Ersterem aus eindeutig definierten Daten mittels präziser Berechnungsvorschriften Schlussfolgerungen erzielt bzw. Optima berechnet werden, berücksichtigt Letzteres unklar definierte Begriffe, Unexaktheiten, Vagheiten, unscharfes Wissen. Während sich die starr regelbasierten Programme des HC insbesondere zur Programmierung von Rechenverfahren und zur Simulation logischen Denkens, Planens und Entscheidens eignen, zielt SC auf die »präintelligenten« Fähigkeiten des flexiblen und fehlertoleranten Wahrnehmens und Reagierens, die der Mensch mit seinem Sinnes- und Bewegungsapparat realisiert, die von den technisch realisierten Lösungen aber keineswegs »nur« imitiert werden.

SC ist für Zadeh eine neue Dimension der AI – die freilich ganz andere Anforderungen stellt als die »alte«, dem HC verhaftete AI. Eine auf Wahrnehmungen (*perceptions*) basierende Informationsverarbeitung wird nicht ohne Wissen aus den Lebens- und Sozialwissenschaften entwickelt werden können, daher werden die Forschungsziele des SC nur durch interdisziplinäre Arbeit, z. B. gemeinsam mit Neurowissenschaftlern, Psychologen, Soziologen und Philosophen, zu erreichen sein: »... progress has been, and continues to be, slow in those areas where a methodology is needed in which the objects of computation are perceptions – perceptions of time, distance, form, and other attributes of physical and mental objects.«⁶⁸

Zwar wissen wir, dass unser Gehirn jederzeit von Sinnesdaten durchflutet wird, doch weder verstehen wir, wie unser Gehirn die von unseren Sinnen (Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Tasten) kommenden Daten (oder auch jene des Schmerz-, Hitze-, Kälte-, Schwereempfindens) analysiert, noch wissen wir, wie unser Gehirn diese Informationen in Wahrnehmungen wandelt. Es scheint sich dabei um eine aktive und konstruktive Transformation zu handeln, das Gehirn bildet und interpretiert die Inputs der Sinne und liefert Wahrnehmungen als Output. Aus vielen Beispielen ist bekannt, dass identische

66 S. zu diesen neuen Forschungsgebieten des SC die späteren Abschnitte dieses Artikels.

67 Zadeh, *Computing*, 2001.

68 Ebd., S. 73.

Sinnes-Inputs zu durchaus unterschiedlichen Wahrnehmungs-Outputs führen können. Diese Prozesse sind mit unseren bis heute geschaffenen Methoden exakter Wissenschaft aber nur ansatzweise verstehbar. Mit den neuen SC-Methoden hofft man, aufgrund ihrer Toleranz gegenüber Unschärfe und Ungewissheiten neue Resultate zu erlangen.

Zadeh betonte auch immer wieder den prinzipiellen Unterschied zwischen »Intelligenz« und »Denken« bei Rechner und Mensch, und gegen die Computer-Metapher der AI setzte er sein Forschungsziel »Making Computers Think like People«. ⁶⁹ Rechner sollten neben dem von ihnen perfekt beherrschten (hard) *Computing with Numbers* auch die bisher nur von Menschen beherrschte Fähigkeit des (soft) *Computing with Words* (CW) erhalten.

Schließlich visierte er, wiederum inspiriert von der »bemerkenswerten menschlichen Fähigkeit« »to operate on, and reason with, perception-based information« eine auf dem CW beruhende »Computational Theory of Perceptions« (CTP) an. ⁷⁰

Bereits im Jahre 1969 sprach Zadeh auf dem *International Symposium on Biocybernetics of the Central Nervous System* in Boston über »Biological Applications of the Theory of Fuzzy Sets and Systems«. Dort behauptete er, dass zur Modellierung lebendiger Systeme aufgrund ihrer großen Komplexität seine Theorie der Fuzzy Sets mehr Erfolg verspräche als die herkömmlichen mathematischen Werkzeuge:

The great complexity of biological systems may well prove to be an insuperable block to the achievement of a significant measure of success in the application of conventional mathematical techniques to the analysis of systems. By »conventional mathematical techniques« in this statement, we mean mathematical approaches for which we expect that precise answers to well-chosen precise questions concerning a biological system should have a high degree of relevance to its observed behaviour. Indeed, the complexity of biological systems may force us to alter in radical ways our traditional approaches to the analysis of such systems. Thus, we may have to accept as unavoidable a substantial degree of fuzziness in the description of the behaviour of biological systems as well as in their characterization. ⁷¹

Wenn Systeme mit sehr vielen miteinander wechselwirkenden Elementen analysiert bzw. eine große Anzahl von Variablen berücksichtigt werden müssen, sei Fuzziness der zu zahlende Preis für erfolgreiche Problemlösungen überhaupt! ⁷²

Biologie als »Medium Science«

Die Erfolgsgeschichte der exakten Naturwissenschaften – der »hard sciences« Physik und Chemie – sowie der sich im 20. Jahrhundert ausdifferenzierten Ingenieurwissenschaften wie z.B. Elektro- und Verfahrenstechnik hat unsere wissenschaftlich-technische Welt konstituiert und lässt sie bestehen. Im zweiten Drittel des 20. Jahrhunderts setzte dann die Entwicklung ein, auch aus den Lebenswissenschaften Stück für Stück Bereiche in die

⁶⁹ Zadeh, *Computers*, 1984.

⁷⁰ Zadeh, *Direction*, 2001.

⁷¹ Zadeh, *Applications*, 1969.

⁷² Ebd., S. 200.

»hard sciences« zu überführen und zu integrieren. Vereinzelt Probleme aus Biologie und Medizin wurden versucht, mit Hilfe exakt-mathematischer Theorien und Methoden zu analysieren, zu modellieren und auf diesem Wege zu lösen.

Die Physik blieb bis weit in das 20. Jahrhundert hinein die erfolgreichste empirische Wissenschaft. Nach der Erschütterung ihrer Grundlagen im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts durch die Etablierung und Bewährung von Relativitätstheorie und Quantenmechanik mangelte es der Grundlagenwissenschaft Physik an einer philosophischen Durchdringung bzw. Interpretation dieser neuen Theorien. Da offenbar kaum ein damaliger Philosoph dieser Aufgabe gewachsen bzw. an ihr interessiert war, betrieben einige Physiker selbst die Philosophie der Naturwissenschaften.⁷³ So wurde die Physik zur Parade-Disziplin der Wissenschaftstheorie fast im gesamten 20. Jahrhundert, wobei die weitaus meisten Wissenschaftsphilosophen einen physikalischen Ausbildungshintergrund hatten; hingegen gab es nur wenige Ansätze für eine Philosophie der Biologie, der Medizin oder der Sozialwissenschaften! Von den Ausnahmen,⁷⁴ die hier zu nennen wären, hebe ich im Folgenden zwei Wissenschaftsforscher hervor: Ernst Mayr und Hans-Jörg Rheinberger.

Dass philosophische Durchdringung der biologischen Entwicklungen im 20. Jahrhundert dringend erforderlich sei und diese sich von der Philosophie der exakten Wissenschaften unterscheiden müsse, forderte der in Deutschland geborene und später in die USA ausgewanderte Ernst Mayr (1904–2005) – einer der Architekten der *Synthetischen Evolutionstheorie* und der vielleicht wichtigste Historiker und Philosoph der Biologie im 20. Jahrhundert. In seinem »last survey of controversial concepts in biology« antwortete er auf die Frage »What makes biology unique?«⁷⁵, dass

biology actually consists of two rather different fields, mechanistic (functional) biology and historical biology. Functional biology deals with the physiology of all activities of living organisms, particularly with all cellular processes, including those of the genome. These functional processes ultimately can be explained purely mechanistically by chemistry and physics. [...] The other branch of biology is *historical biology*. Knowledge of history is not needed for the explanation of a purely functional process. However, it is indispensable for the explanation of all aspects of the living world that involve the dimension of historical time – in other words, as we now know, all aspects dealing with evolution. This field is evolutionary biology.⁷⁶

Beide Anteile der modernen Biologie, so Mayr, hätten sich im 19. Jahrhundert etabliert, doch die Wissenschaftsphilosophen des 20. Jahrhunderts hätten sich aufgrund ihrer meist in den exakten Wissenschaften erhaltenen Ausbildung nicht um die Biologie gekümmert.

Seit den 1970er Jahren verwies Mayr immer wieder auf den Unterschied zwischen Physik und Biologie: Ihm zufolge würden physikalische Theorien *mit Sicherheit* vertreten,

73 S. dazu: Scheibe, *Philosophie*, 2006.

74 Wichtige Wissenschafts- bzw. Naturphilosophen sind in diesem Zusammenhang: Mario Bunge, Gerhard Vollmer, Hans Mohr, Ernst Mayr, Hans-Jörg Rheinberger. Später erschien: Krohs/Toepfer, *Philosophie der Biologie*, 2005.

75 Mayr, *Biology*, 2004, S. ix.

76 Ebd., S. 24.

weil auf universelle Gesetze – »Naturgesetze« – verwiesen werde, die ohne Ausnahmen immer und überall gültig sind. Während in der *Hard Science* neue Fakten bzw. neue Gesetzmäßigkeiten gesucht werden, gehe man in der *Life Science* anders vor: Auch die Theorien von der belebten Welt enthielten häufig Gesetzmäßigkeiten, doch meistens seien diese weder allgemein noch ausnahmslos gültig. In der Biologie sei es viel wichtiger, *neue Begriffe und Konzepte* zu entwickeln bzw. zu vervollständigen, doch: »Die klassische Wissenschaftsphilosophie geht merkwürdig wenig auf die wichtige Rolle von Konzepten bei der Entwicklung von Theorien ein«, schrieb Mayr, doch je länger er sich »mit der Theoriebildung beschäftige, desto mehr beeindruckt mich die Tatsache, dass die Theorien in der Physik für gewöhnlich auf Gesetzen beruhen und die Theorien der Biologie auf Konzepten.«⁷⁷ Als Beispiele für solche Konzepte nannte er Selektion, Komplexität, sexuelle Zuchtwahl durch Weibchen, Revier, Konkurrenz, Altruismus und Biopopulation.⁷⁸ Dies zeigt einen fundamentalen Unterschied in der Philosophie von *Hard* und *Soft Sciences* auf, den Mayr folgendermaßen begründete:

One reason for the missing of a philosophy of biology is that the basic principles of physics are simply not applicable to animate systems and another reason is that biology potentially bases on self-contained principles that are inapplicable to inanimate systems. The discovery of this difference in the basics of physics at the one hand and biology at the other hand was a fundamental intellectual revolution that began with Charles Darwin's *Origin of Species* in 1859. Thereupon modern biology emerged as an autonomous scientific discipline and a restructuring of the philosophy of science was prepared.⁷⁹

Die Etablierung einer echten Philosophie der modernen Biologie erfordert nach Mayr zwei fundamentale Aktionen:

1. die Elimination der Prinzipien der exakten Wissenschaften und ihre Ersetzung durch der Biologie angemessene Prinzipien
2. die Aufstellung neuer grundlegender biologischer Prinzipien.

Damit arbeitete Mayr den aus meiner Sicht wichtigsten Unterschied zwischen *Hard* und *Soft Sciences* heraus, denn er befand »that biology, even though it is a genuine science, has certain characteristics not found in other sciences.«⁸⁰ Als solche Charakteristika nannte er unter anderen:

Unscharfe Unterteilung in Klassen von Phänomenen

The seemingly endless variety of phenomena, it was said, actually consisted of a limited number of natural kinds (essences or types), each forming a class. The members of each class were thought to be identical, constant, and sharply separated from the

77 Mayr, *Biologie*, 1997.

78 Ebd.

79 Mayr, *Biology*, 2004, S. 4.

80 Ebd., S. 4.

members of any other essence. Therefore variation was nonessential and accidental. [...] Typological thinking, therefore, is unable to accommodate variation and has given rise to a misleading conception of human race.⁸¹

Diese Art des typologischen Denkens führe zum Rassismus, Darwin habe dieses Konzept abgelehnt und stattdessen ein gänzlich andersartiges Konzept benutzt, das heute »population thinking« genannt werde.

Variation oder zufällige Ereignisse

»One of the consequences of the acceptance of deterministic Newtonian laws was that it left no room for variation or chance events.« In der Biologie sei der strenge Determinismus daher widerlegt und somit keine absolut sichere Voraussage möglich! Stattdessen wurde in der Biologie der für diese wissenschaftliche Disziplin so wichtige Weg zum Studium von Varianten, Veränderungen und zufälligen Phänomenen frei.⁸²

Fehlende strenge Regularitäten

The philosophers of logical positivism, and indeed all philosophers with a background in physics and mathematics, base their theories on natural laws and such theories are therefore usually strictly deterministic. In biology there are also regularities, but various authors [...] severely question whether these are the same as the natural laws of the physical sciences. There is no consensus yet in the answer to this controversy. Laws certainly play a rather small role in theory construction in biology.⁸³

Diesen Punkten versuchte man bisher meist – entsprechend dem Vorgehen in der Physik – durch probabilistisch-statistische Formulierungen Rechnung zu tragen, doch mit der Theorie der Fuzzy Sets bietet sich eine fruchtbare Alternative an, eine Philosophie der Biologie zu begründen. In der Physik betrachtet man die unbelebte Welt mit vielen ununterscheidbaren Objekten, daher kann es sinnvoll sein, mit Wahrscheinlichkeiten zu argumentieren. Mayr jedoch hielt dieser Argumentation entgegen, dass statistische Mittelwerte einer Biopopulation Abstraktionen seien, während jedes Individuum einzigartig sei. Aus diesem Grund und weil biologische Systeme äußerst komplex sind, resümierte er: »Population thinking and populations are not laws but concepts. It is one of the most fundamental differences between biology and the so called exact sciences that in biology theories usually are based on concepts while in the physical sciences they are based on natural laws.«⁸⁴

Scharf abgegrenzte Mengen und streng geltende Gesetze sind Kennzeichen der *Hard Sciences*; *Soft Sciences* lassen sich auf diese Weise gerade nicht theoretisieren! Vielmehr ist Toleranz hinsichtlich der vorgefundenen Unschärfen anstelle von Genauigkeit und Allge-

81 Mayr betonte, dass durch diese Vorstellung die fehlgeleitete Konzeption der »Menschenrasse« Auftrieb erhielt: »Caucasians, Africans, Asians, and Inuits are types for a typologist that differ conspicuously from other human ethnic groups and are sharply separated from them.« (Mayr, *Biology*, 2004, S. 27).

82 Ebd., S. 27.

83 Ebd., S. 28.

84 Ebd., S. 30.

meingültigkeit angebracht. Fehlende Strenge bzw. Unschärfe der Begriffe und Gesetze könnten als Charakteristika der *Soft Sciences* gegenüber den *Hard Sciences* herausgestellt werden. Trotzdem kann eine mathematische Theorie etabliert werden, beispielsweise mit Fuzzy Sets!

Ähnlich lassen sich die Ergebnisse der Fallstudie zur »Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas« von Hans-Jörg Rheinberger interpretieren, die er mit einer Epistemologie des modernen Experimentierens verknüpft und damit zugleich eine Historiographie der Wissenschaft entwirft.⁸⁵ Seine dann von der Biologiegeschichte abgelöste neue Sicht auf die Wissenschaftsentwicklung nannte er im Anklang an die französische Tradition à la Gaston Bachelard »Historische Epistemologie«.⁸⁶ In diesem historisierenden Zugang zur Wissenschaftsphilosophie – zugleich eine »Epistemologisierung der Wissenschaftsgeschichte« – betrachtet Rheinberger wissenschaftliche Begriffe, die er »epistemische Dinge« nennt, »fluktuierende Objekte« oder auch »ungenau Konzepte«. In seiner Arbeit über »Gene Concepts« verdeutlicht er dies:

If there are concepts endowed with organizing power in a research field, they are embedded in experimental operations. The practices in which the sciences are grounded engender epistemic objects, epistemic things as I call them, as targets of research. Despite their vagueness, these entities move the world of science. As a rule, disciplines become organized around one or a few of these »boundary objects« that underlie the conceptual translation between different domains.⁸⁷

Für die *Stanford Encyclopedia of Philosophy* resümiert er:

More than a hundred years of genetic research have rather resulted in the proliferation of a variety of gene concepts, which sometimes complement, sometimes contradict each other. Some philosophers and scientists have tried to remedy this situation by reducing this variety of gene concepts, either »vertically« to a fundamental unit, or »horizontally« by subsuming them under a general term [...]. Others have opted for more pluralist stances. As a consequence, »the gene« has become a hot topic in philosophy of science around which questions of reduction, emergence, or supervenience of concepts and theories (along with the epistemic entities they refer to) are lively debated. So far, however, all attempts to reach a consensus regarding these questions have been unsuccessful. Today, along with the completion of the human genome sequence and the beginning of what is being called the era of postgenomics, genetics is again experiencing a time of conceptual change, voices even being raised to abandon the concept of the gene altogether in favor of new terminologies [...]. The concept of the gene, emerging out of a century of genetic research, has been and continues to be, as Raphael Falk has reminded us not so long ago, a »concept in tension« (Falk 2000).⁸⁸

85 Rheinberger, *History*, 1997.

86 Rheinberger, *Epistemologie*, 1999; Rheinberger, *Iterationen*, 2005; Rheinberger, *Epistemologie*, 2007.

87 Rheinberger, *Gene*, 2000, S. 220.

88 S. dazu die Internet-Ausgabe von: Rheinberger/Müller-Wille, *Gene*, 2010, s. <http://plato.stanford.edu/entries/gene/> (Zugriff v. 4.8.2010). Verwiesen wird hier auf: Falk, *Gene*, 2000.

Rheinberger nennt weitere »epistemische Dinge«, die in der Geschichte ihrer wissenschaftlichen Disziplinen fluktuieren:

For a long time in physics, such an object has been the atom; in chemistry, the molecule; in classical genetics, it became the gene. It is the historically changing set of epistemic practice that gives contours to these objects. According to received accounts, that I need not question here in depth, the boundary object of classical genetics has worked as a formal unit: That which, in an ever more sophisticated context of breeding experiments, accounts for the appearance or disappearance of certain characters that can be traced through subsequent generations.⁸⁹

Eine epistemologische Fundierung solcher unscharfen Konzepte ist dringend erforderlich!
Nach Rheinberger ist dabei völlig klar,

that the fruitfulness of boundary objects in research does not depend on whether they can be given a precise and codified meaning from the outset. Stated otherwise, it is not necessary, indeed it can be rather counterproductive, to try to sharpen the conceptual boundaries of vaguely bounded research objects while in operation. As long as objects are in flux, too, the corresponding concepts must remain in flux, too.

Auf den Punkt gebracht formulierte er: »Boundary objects require boundary concepts«.⁹⁰ Wir werden dies im abschließenden Abschnitt so wenden: *fuzzy objects require fuzzy concepts!* Zuvor soll jedoch die Entwicklung der Lebenswissenschaften vor dem Hintergrund der Dichotomie von *Hard* und *Soft Sciences* und ihrer Erweiterung zur Trichotomie im 20. Jahrhundert beleuchtet werden.

Organisierte Komplexität

Richten wir unsere Aufmerksamkeit nun auf den amerikanischen Mathematiker und Wissenschaftsorganisator Warren Weaver (1894–1978), der Studium und Promotion (1921) an der University of Wisconsin-Madison absolvierte, dort bis 1932 Mathematikprofessor war, sich aber schon nebenher autodidaktisch mit der Biologie beschäftigte. Nach damals weit verbreiteter Meinung in wissenschaftlichen Kreisen waren hier interessanteste und spannende Ergebnisse zu erwarten, wie Weavers Assistentin Mina Rees in ihrem »biographical memoir« über Weaver schrieb:⁹¹ »On the campuses there was talk

89 Rheinberger, *Gene*, 2000, S. 220 f.

90 Ebd., S. 221.

91 Rees, *Weaver*, 1987, S. 505 f. Rees war Weavers Assistentin während seiner Kriegstätigkeit im Applied Mathematics Panel (AMP) des US Office of Scientific Research and Development. – Auf Einladung von Vannevar Bush wurde Weaver während des Zweiten Weltkriegs ab 1943 von der Rockefeller Foundation zum Leiter der AMP (vorher »fire control« section) des National Defense Research Committee (NDRC) der USA abgeordnet. Dieser Abteilung gehörten Hunderte Mathematiker und Ingenieure an, und Weaver hatte insbesondere intensiven Kontakt mit den an der Computerentwicklung beteiligten Wissenschaftlern, darunter Howard Aiken, Georg Stibitz, Herman Goldstine und John von Neumann. Letzteren hatte Weavers eingeladen, für das AMP den First Draft of a Report on the EDVAC zu schreiben, »that represented an important step towards the formulation of the »blueprint« for all future computers (»Von-Neumann-principle«). S. dazu: Aspray, *Conceptualization*, 1990.

that the century of biology was upon us. At Wisconsin, for example, there was a lively program in biology at the School of Agriculture as well as in the College of Arts and Sciences.«⁹²

Im Januar 1932 wurde Weaver Nachfolger seines früheren Physikprofessors und Freundes Max Mason in der Position des Leiters der Natural-Science-Abteilung der Rockefeller Foundation, nachdem Mason 1931 Direktor der Stiftung geworden war. Weaver hatte schon vor seiner Zusage eine massive Änderung der Forschungsförderungspolitik gefordert:

I explained that, satisfied as I was with being immersed in the physical sciences, I was convinced that the great wave of the future in science, a wave not yet gathering its strength, was to occur in the biological science. The startling visions that were just then beginning to open up in genetics, in cellular physiology, in biochemistry, in developmental mechanics – these were due for tremendously significant advances.⁹³

In seiner neuen Position initiierte Weaver ein langfristiges Programm zur Förderung der quantitativen Biologie:

The idea that the time was ripe for a great new change in biology was substantiated by the fact that the physical sciences had by then elaborated a whole battery of analytical and experimental procedures capable of probing into nature with a fineness and with a quantitative precision that would tremendously supplement the previous tools of biology – one can almost say – »the previous tools of biology«, since the optical microscope had furnished so large a proportion of the detailed evidence.⁹⁴

Rückblickend hatte sich diese Veränderung als ungeheuer erfolgreich erwiesen.⁹⁵ Im Beitrag über seine Abteilung für den Jahresbericht 1938 der Rockefeller Foundation diskutierte Weaver bereits ein Forschungsgebiet, für das er den neuen Namen »Molecular

92 Ebd., S. 499.

93 Weaver, *Scene*, 1970, S. 59.

94 Weaver, *Scene*, 1970, S. 60. Wahrscheinlich hatten Mason und Weaver die Idee zu diesem Vorstoß bei der Rockefeller Foundation gemeinsam geplant: »Mason and Weaver have often discussed a new trust in biology and the opportunities that would open up if some of the most imaginative physical scientists turned their attention – and some of the sophisticated instruments they had developed – to the examination of biological problems«, s. Rees, *Weaver*, 1987, S. 499. Nathan Reingold schreibt in der American National Biography sogar: »Mason specifically brought Weaver to the Rockefeller Foundation to launch a new program for stimulating the use of the ideas and methods of the physical sciences in biology«, s. Reingold, *Weaver*, 1999, S. 838-841.

95 »In 1932-33 The Rockefeller Foundation elected to center its major scientific effort in the sciences concerned with living things. [...] This] major emphasis [...] which continues to characterize the Foundation's science program, rested upon four considerations. First, [the life sciences] could be expected to add significantly to a better understanding of man himself, whose well-being is a basic charter concern of the Foundation. Second the life sciences were intimately linked with medicine and public health, the central interests of the Foundation in its opening decades. Third, in the early 1930's the several sciences concerned with living things seemed to be poised for a historical surge forward, with exciting possibilities opening up in all directions. Finally, it seemed at the time that the life sciences were not receiving the public interest and financial support which were warranted by their intellectual promise and by their potential capacity to contribute brilliantly to man's practical needs. The decision gave The Rockefeller Foundation a modest share in a great adventure which is continuing to unfold«, s. The Rockefeller Foundation, *Review*, 1958, S. 5.

Biology« fand: »Among the studies to which the Foundation is giving support is a series in a relatively new field, which may be called molecular biology, in which delicate modern techniques are being used to investigate ever more minute details of certain life processes.«⁹⁶

1948 erschien Weavers Artikel »Science and Complexity« im *American Scientist*.⁹⁷ Er basiert auf seinem eigenen Beitrag in dem von ihm im Jahr zuvor herausgegebenen Sammelband *The Scientists Speak*.⁹⁸ In »Science and Complexity« stellt Weaver zunächst die »einfachen Probleme« (problems of simplicity) vor, mit denen die exakten physikalischen Wissenschaften vor 1900 vor allem befasst waren. Danach sei das mathematisch-analytische Methodenarsenal der exakten Naturwissenschaften um die Wahrscheinlichkeitstheorie und die Statistik erweitert worden, die seit dem Aufkommen von Thermodynamik und Quantenmechanik auch tief in ihr theoretisch-begriffliches Fundament hineinragten:

The motions of the atoms which form all matter, as well as the motions of the stars which form the universe, come under the range of these new techniques. The fundamental laws of heredity are analyzed by them. The laws of thermodynamics, which describe basic and inevitable tendencies of all physical systems, are derived from statistical considerations. [...] Indeed, the whole question of evidence and the way in which knowledge can be inferred from evidence are now recognized to depend on these same statistical ideas, so that probability notions are essential to any theory of knowledge itself.⁹⁹

Damit wurde die Menge der mit Hilfe der exakten Wissenschaften zu lösenden Probleme größer:

Rather than study problems which involved two variables or at most three or four, some imaginative minds went to the other extreme, and said: »Let us develop analytical methods which can deal with two billion variables.« That is to say, the physical scientists, with the mathematician often in the vanguard, developed powerful techniques of probability theory and statistical mechanics to deal with what may be problems of *disorganized complexity*.¹⁰⁰

Dies seien Probleme, bei denen die Anzahl der Variablen sehr groß ist, und jede der vielen Variablen sich individuell und unvorhersehbar verhält. Dennoch habe das System als Ganzes bestimmte geordnete und analysierbare durchschnittliche Eigenschaften.¹⁰¹

96 Damit führte Weaver die Bezeichnung »Molekularbiologie« in die Wissenschaft ein, zitiert nach Rees, *Weaver*, 1987, S. 503.

97 Weaver, *Science*, 1948.

98 Weaver, *Scientists*, 1947. Die Beiträge zu diesem Band waren aus einer Serie von Radio-Gesprächen über »Aspects of Modern Science« hervorgegangen, die in jeweils 15 Minuten während der Pausen von New York Philharmonic-Symphony-Sendungen ausgestrahlt worden waren. Sponsor dieser Sendungen war die US Rubber Company. Weaver hatte den Vorsitz im Komitee zur Auswahl des insgesamt 97 Beiträge umfassenden Programms, und er versah jeden Buchabschnitt mit einer Einleitung.

99 Weaver, *Science*, 1948, S. 538.

100 Ebd., S. 537.

101 Ebd., S. 538.

Von dieser dichotomischen Betrachtung »einfacher« bzw. »disorganisiert komplexer« Probleme ging Weaver nun allerdings zu einer Trichotomie über, indem er einen dritten Problembereich zwischen den zuvor genannten einführte. Diese bislang »left untouched great middle region [...] which science has as yet little explored or conquered«, enthalte solche Probleme, die weder auf eine simple Formel reduziert noch durch probabilistisch-statistische Methoden zu lösen seien. Diese mittlere Region sei jedoch nicht deshalb hervorzuheben, weil die Anzahl der eingehenden Variablen moderat ist »large compared to two, but small compared to the number of atoms in a pinch of salt«. Tatsächlich gehe es bei den Problemen der mittleren Region oft um eine erhebliche Anzahl von Variablen, aber ihr hier wesentliches Charakteristikum sei ihre Eigenschaft der Organisiertheit – Weaver nannte sie daher »problems of organized complexity«.¹⁰²



Abb. 4: Weavers drei Regionen wissenschaftlicher Probleme, die hier als nicht scharf voneinander abgegrenzte Bereiche dargestellt werden.

Er ordnete sie den Lebenswissenschaften zu, für die wiederum die »einfachen Probleme« kaum Bedeutung hätten, denn Biologie und Medizin seien bisher noch nicht

highly quantitative or analytical in character! [...] The significant problems of living organisms are seldom those in which one can rigidly maintain constant all but two variables. Living things are more likely to present situations in which a half-dozen or even several dozen quantities are all varying simultaneously, and in subtly interconnected ways.

Hier gebe es oft wesentliche Größen, die entweder nicht-quantitativ sind, oder die sich zu einem gewissen Grad einer augenblicklichen Identifikation oder Messung entziehen. Somit erforderten biologische und medizinische Probleme oft die Betrachtung eines komplex organisierten Ganzen.¹⁰³

Beispiele für solche Probleme gab er in Form folgender Fragen an:¹⁰⁴

- What makes an evening primrose open when it does?
- Why does salt water fail to satisfy thirst?
- Why can one particular genetic strain of microorganism synthesize within its minute body certain organic compounds that another strain of the same organism cannot manufacture?

¹⁰² Ebd., S. 540.

¹⁰³ Ebd., S. 536.

¹⁰⁴ Diese und die weiter unten aufgezählten Fragen stehen wörtlich in: Weaver, *Science*, 1948, S. 539.

- Why is one chemical substance a poison when another, whose molecules have just the same atoms but assembled into a mirror-image pattern, is completely harmless?
- Why does the amount of manganese in the diet affect the maternal instinct of an animal?
- What is the description of aging in biochemical terms?
- What meaning is to be assigned to the question: Is a virus a living organism?
- What is a gene, and how does the original genetic constitution of a living organism express itself in the developed characteristics of the adult?
- Do complex protein molecules »know how« to reduplicate their pattern, and is this an essential clue to the problem of reproduction of living creatures?

Zur Lösung solcher organisiert komplexen Probleme böten die probabilistisch-statistischen Methoden keinen Schlüssel, so effektiv diese auch bei der Beschreibung des durchschnittlichen Verhaltens in Bezug auf Probleme *disorganisierter* Komplexität seien. Weder konnten Differentialgleichungen zur Formulierung von Naturgesetzen in den biowissenschaftlichen Disziplinen herangezogen werden, noch waren wahrscheinlichkeitstheoretische und statistische Gesetzmäßigkeiten hilfreich, um die Resultate in diesen Bereichen zu verstehen. Zumindest ein großer Teil der Lebenswissenschaften verschloss sich dem Analyseinstrumentarium der exakten Naturwissenschaften und kristallisierte sich als autonomer Bereich innerhalb der modernen Wissenschaft heraus! In diesem Bereich musste eine größere Zahl an Faktoren gleichzeitig behandelt werden, da sie miteinander zu einem organischen Ganzen verwoben sind; und solche organisiert komplexen Probleme gab es nicht nur in Biologie und Medizin, auch in Ökonomie und Sozialwissenschaften war man mit ihnen konfrontiert, wie Weaver durch weitere Beispiele zeigte:

- On what does the prize of wheat depend?
- How can currency be wisely and effectively stabilized?
- To what extent is it safe to depend on the free interplay of such economic forces as supply and demand?
- To what extent must systems of economic control be employed to prevent the wide swings from prosperity to depression?
- How can one explain the behavior of pattern of a group of persons such as a labor union, or a group of manufacturers, or a racial minority?
- With a given total of national resources that can be brought to bear, what tactics and strategy will most promptly win a war, or better: what sacrifices of present selfish interest will most effectively contribute to a stable, decent, and peaceful world?

Viele der bei der wissenschaftlichen Analyse von Wirtschaft und Gesellschaft erforderlichen Problemlösungen lassen sich nicht anhand physikalischer und ingenieurwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten vornehmen, und Weaver verortete diese Probleme eben-

falls in der mittleren Region. Gleichzeitig unterstrich er die Dringlichkeit ihrer Lösung, denn von nicht wenigen solcher oder ähnlicher Probleme »in the biological, medical, psychological, economic, and political sciences« hänge die Zukunft der Welt ab. Daher werde von der Wissenschaft nun ein dritter großer Vorstoß erwartet, der sogar jenen, der in den vergangenen beiden Jahrhunderten die »problems of simplicity« beziehungsweise die »problems of disorganized complexity« zu lösen erlaubte, übertreffen müsse. »Science must, over the next 50 years, learn to deal with these problems of organized complexity.«¹⁰⁵

Seinen Optimismus, dass die zukünftige Wissenschaft diese Probleme lösen können werde, knüpfte Weaver an zwei Erfahrungen, die er während seiner leitenden Tätigkeit in der Kriegsforschung erworben hatte: die Stärken interdisziplinärer Zusammenarbeit von Wissenschaftlern in »mixed teams« und die enormen Rechenfähigkeiten der im Zweiten Weltkrieg entwickelten Computer.¹⁰⁶

»Mathematische Biologie« – Science to Come?

Mit einem Rockefeller Fellowship wurden seit 1934 auch die Forschungen des 1924 aus dem russischen Chernikow in der heutigen Ukraine in die USA emigrierten theoretischen Physikers Nicolas Rashevsky (1899–1972) gefördert. Dieser war zunächst in den Westinghouse Forschungslaboratorien in Pittsburgh beschäftigt, wo er mathematische Biologie und Biophysik nach dem Vorbild der mathematischen Physik und somit als »Hard Science« konzipierte. Im Department of Physiology an der University of Chicago wurde er Assistant Professor, nachdem ihm die Förderung der Rockefeller Foundation für sein Projekt zugesagt wurde, um einen systematischen Zugang der physikalisch-mathematischen Methoden in der Biologie zu entwickeln. 1938 publizierte er dazu den Band *Mathematical Biophysics: Physico-Mathematical Foundations of Biology*¹⁰⁷, und in den nächsten Jahrzehnten folgten weitere vier Bücher.¹⁰⁸ Im Jahre 1939 gründete er die Zeitschrift *Bulletin of Mathematical Biophysics*¹⁰⁹ und im Jahre 1947 das weltweit erste Doktorandenprogramm im Fach »Mathematische Biologie«.¹¹⁰

Rashevskys mathematische Biophysik basiert auf einem abstrakten Begriff der fundamentalen lebenden Einheit – der Zelle. Für deren exakt-mathematische Beschreibung ignorierte Rashevsky viele ihrer Eigenschaften, denn es gibt unzählige Zellvariationen, und keine Zelle gleicht der anderen. Zellen können in Größe, Struktur und chemischer Zusammensetzung differieren, viele Zellen – aber nicht alle – haben einen Kern, manche haben

105 Weaver, *Science*, 1948, S. 540.

106 Weaver, *Science*, 1948, S. 542.

107 Rashevsky, *Biophysics*, 1938.

108 Rashevsky, *Advances*, 1940; Rashevsky, *Theory*, 1947; Rashevsky, *Biology*, 1951; Rashevsky, *Principles*, 1961.

109 Diese Zeitschrift heißt heute *Bulletin of Mathematical Biology*.

110 Rashevsky dehnte seine Überlegungen zur Anwendung mathematischer Methoden auf biologische Probleme, wie zelluläre und organismische Formen, Nervenleitung und -erregung, später auch auf soziologische und historische Fragestellungen aus.

mehrere, manche brauchen Sauerstoff usw. Von solchen Eigenschaften abstrahierend, definierte Rashevsky:

A cell is a small liquid or semi-liquid system, in which physico-chemical reactions are taking place, so that some substances enter into it from the surrounding medium and are transformed, through those reactions, into other substances. Some of these other substances remain within the system, causing it to increase in size; some diffuse outwards.¹¹¹

In Analogie zur »harten« Physik postulierte Rashevsky dann die Existenz von Kräften, deren mögliche Auswirkungen nun zu untersuchen waren: »To this end we must investigate various possible cases, which open up an unexplored field to the mathematician.«¹¹² Dabei setzte Rashevsky durchaus bei den berühmt gewordenen Arbeiten von Neuroanatomen und -physiologen an:

Whenever we have an aggregate of cells in which the dividing factors prevail, they will repel each other. On the other hand, when the »restoring« factors prevail, cells attract each other. Of all cells, the neurones have most completely lost their property of dividing; we should expect forces of attraction between them. Indeed the existence of such forces has been inferred by a number of neurologists, notably Ariens Kappers¹¹³ and Ramon y Cajal¹¹⁴ from various observations.¹¹⁵

Andererseits berücksichtigte Rashevsky auch die ihm aus seiner Heimat bekannten Ergebnisse der Verhaltens- und Konditionierungsforschungen von Iwan Petrowitsch Pawlow¹¹⁶, als er seine Theorie für Netzwerke von Nervenzellen aufstellte:

It has been suggested that a formation of new anatomical connexions between neurones may be the cause of conditioned reflexes and learning. Calculation shows that the above forces may account for it. Under certain conditions they will produce an actual new connexion in a very small fraction of a second [...] This leads us towards a mathematical theory of nervous functions. We find that, under very general conditions, aggregates of cells such as are studied above will possess many properties characteristic of the brain.¹¹⁷

Bis zu diesem Zeitpunkt gab es nicht einmal Ansätze für eine Theorie des Gehirns und des Geistes. Konzepte wie Kognition, Wille, Bewusstsein für die dem Menschen eigenen »psychischen Vermögen« verloren sich in der Kompliziertheit des Gehirns, das man versuchte, auf der Grundlage von Cajals Arbeiten weiter zu erschließen, berücksichtigend, dass diese derart kleinen Verhältnisse noch lange nicht die tatsächliche Komplexität widerspiegeln, dass vielmehr ein Faktor von zehn oder zwölf Größenordnungen hinzu

111 Rashevsky, *Biophysics*, 1935, S. 528.

112 Ebd., S. 529.

113 Cornelius Ubbo Ariëns Kappers (1877–1946), niederländischer Neurologe.

114 Santiago Felipe Ramón y Cajal (1852–1934), spanischer Mediziner, 1906 Nobelpreis für Medizin. Santiago Ramón y Cajal wurde berühmt für seine Arbeiten zur Feinstruktur des Nervensystems.

115 Ebd., S. 530.

116 Iwan Petrowitsch Pawlow (1849–1936), russischer Mediziner und Physiologe, 1904 Nobelpreis für Physiologie oder Medizin.

117 Rashevsky, *Biophysics*, 1935, S. 530.

multipliziert werden müsse. Die von Rashevsky in den 1930er Jahren präsentierte Idee neuronaler Netzwerke war nun ein radikal neuer Zugang zur wissenschaftlichen Untersuchung des Gehirns. Rashevsky interessierte sich für die Phänomene der Erregung (excitation) und Verbreitung (propagation) in peripheren Nervenfasern, in denen – davon ging er rein phänomenologisch aus – die Daten gespeichert seien. Diese Daten stellten die atomaren Elemente seiner Theorie dar, und ihr Input-Output-Verhalten entsprach einer »Transferfunktion«.

Rashevsky »übersetzte« diese »Input-Output-Beschreibung« in interne Zustandsvariablen. Es waren formal nur zwei Zustandsvariablen erforderlich: eine für die Erregung (excitation) und eine für die Hemmung (inhibition). Die erregbaren Atome nannte er daher »Zwei-Faktor-Elemente« (two-factor elements).

Konventionell arbeitende Neurophysiologen konnten oder wollten Rashevsky in diesen Vorstellungen nicht folgen. Was sollte hinter diesen »Faktoren« verborgen sein? Wie sollten diese Größen gemessen werden? Doch Rashevsky konstruierte auf der Basis seiner Annahmen eine neue Theorie der peripheren Nervenverbreitung, wobei er voraussetzte, dass die erregbaren Elemente Fasern bilden können. Entscheidend war die Vorstellung, dass erregbare Elemente miteinander nicht nur zu Reihen verdrahtet, sondern sich auf allgemeinere Weise zu Netzwerken verknüpfen können: Die Elemente solcher Netzwerke ähneln den Neuronen, und ein solches Netzwerk ähnelt einem Gehirn. Rashevsky war der Ansicht, dass dieses vernetzte Gebilde ein Modell für das Gehirn und durchaus in der Lage sei zu unterscheiden, zu lernen und sich zu erinnern. Sein Vorschlag, auf diese Weise das Verhalten des Gehirns nachzuahmen, war – und dessen war er sich bewusst – keine wissenschaftliche Theorie des Gehirns! Doch die Argumentation, man könne das Gehirn nicht verstehen und die Psyche daher erst recht nicht, konnte er mit diesem Zugang durchaus in Frage stellen. Er schien ihm die Strukturiertheit des Gehirns zu beweisen.

Rashevsky schlug vor, Differentialgleichungen und physikalische Begriffe wie die Energieminimierung zu nutzen, um das Verhalten von Nerven und Nervennetzwerken zu beschreiben, die mit den psychologischen Prozessen wie beispielsweise dem Pawlowschen Konditionieren zusammenhängen.

In Rashevskys 1938 in Chicago gegründetem »Committee on Mathematical Biophysics«, mit dem er sein Programm einer mathematischen Biologie als Spiegel der mathematischen Physik verwirklichen wollte, arbeiteten Alvin Weinberger, Alston Householder, Emilio Amelotti, Herbert Daniel Landahl, John M. Reiner und Gaylor J. Young. Ab 1940 stießen noch Walter Pitts und Warren McCulloch zu dieser Gruppe.

Pitts war 1937 als 14jähriger mittellos und ohne Schulabschluss an die Universität von Chicago gekommen. Dort besuchte er Vorlesungen, ohne als Student registriert gewesen zu sein. Über Bertrand Russell und Rudolf Carnap lernte Pitts schließlich Rashevsky kennen,¹¹⁸ in dessen Forschungsgruppe er nun arbeitete und in dessen Zeitschrift er auch

118 Pitts freundete sich in Chicago mit Jerome Y. Lettvin an. Dessen Angaben zufolge trafen sie sich

veröffentlichte. Seine ersten publizierten Arbeiten thematisierten die Eigenschaften geschlossener Kreise von Neuronen, die er durch Differentialgleichungen beschrieb.¹¹⁹

Warren Sturgis McCulloch war Neurophysiologe, Philosoph und Psychologe.¹²⁰ Er kam 1941 nach Chicago, und im Jahr darauf lernte er Lettvin und Pitts kennen. Lettvin studierte mittlerweile Medizin, und Gerhardt von Bonin, der mit McCulloch schon in Yale zusammengearbeitet hatte, arrangierte ein Treffen für Lettvin. Daraus entwickelte sich eine Zusammenarbeit der beiden Mediziner über das Nervensystem, an der bald auch Pitts beteiligt wurde.

Schon im 19. Jahrhundert sah man, wie Nervenfasern elektrische Pulse leiteten, doch es gab keine Theorie, wie diese Information tragenden elektrischen Pulse von dem als Nervennetz erkannten Gehirn verarbeitet werden. Man wusste auch schon vor 1900, dass die Nerventätigkeit aus Erregung und Hemmung besteht, ein Sachverhalt, den Charles Sherrington als ein »Abstimmungsverhalten« der Neuronen gedeutet hatte.¹²¹ Doch David P.C. Lloyd, der seine Dissertation zuvor in Sherringtons Labor angefertigt hatte, zeigte mit seinen Arbeiten aus den Jahren 1939–1941 am Rockefeller Institute for Medical Research, dass es sich dabei um monosynaptische Prozesse handelte.¹²² Diese Entwicklung motivierte nun McCulloch und Pitts dazu, den einzelnen Nervenzellen die Funktion eines elektrischen Gatters zuzuschreiben. McCulloch schrieb später erläuternd:

Man stelle sich ein Neuron als ein telegrafisches Relais vor, das, wenn es durch ein Signal angeregt wird, ein anderes Signal aussendet. Erregen und Rücksetzen dauern etwa eine Millisekunde. Das Signal ist ein kürzerer elektrischer Impuls, dessen Wirkung nur von Bedingungen an seinem Ankunftsort abhängt, nicht von jenem am Ursprung. Ein Signal allein oder mehrere Signale zugleich können ein Relais auslösen, und ein Signal allein kann ein anderes an der Entladung hindern. Diese Signale sind gleichsam die Atome der molekularen Ereignisse von Gehirnen. Jedes findet entweder statt oder nicht. Alles, was ein Neuron dem nächsten signalisieren kann, ist, dass es angestoßen wurde. Das Signal macht also eine atomare Aussage. Es ist das kleinste Ereignis, das wahr oder falsch sein kann. Wenn es auf unnatürliche Weise ausgelöst wird, ist es falsch, so wie das Licht, das man sieht, wenn man auf den Augapfel drückt. Wie man merkt, dass es falsch ist, ist eine andere Frage.¹²³

erstmal bei einer Vorlesung von Bertrand Russell, der im akademischen Jahr 1938/39 Gastprofessor für Philosophie an der Humanities Division der University of Chicago war. Durch Carnaps Vermittlung erhielt Pitts an der Universität in Chicago einen Hilfsjob bei Rashevsky.

119 Pitts, *Observations*, 1942; Pitts, *Theory*, 1942; Pitts, *Theory*, 1943.

120 McCulloch ging nach seinem Studium am Haverford College nach Yale, wo er als Hauptfach Philosophie und im Nebenfach Psychologie belegte. Seinen Master of Arts erwarb er in Psychologie an der Universität von Columbia. Anschließend wechselte er zur dortigen Medical School. Er absolvierte ein Praktikum im Bellevue Hospital in New York, wo er auch als Assistenzarzt arbeitete. Danach wandte er sich der Erforschung von Kopfverletzungen und Epilepsie zu. Nach mehreren Jahren am New Yorker Rockland State Hospital ging er nach Yale zurück, um die Funktionen des zentralen Nervensystems zu erforschen. 1941 wechselte er an das College of Medicine der University of Illinois in Chicago, wo er das Labor für Grundlagenforschung in der Abteilung für Psychiatrie leitete. Ab 1949 bis zu seinem Tod war er Leiter des Research Laboratory of Electronics am MIT.

121 Sir Charles Scott Sherrington (1857–1952), britischer Mediziner, Nobelpreis 1932.

122 David P. C. Lloyd (1911–1985), amerikanischer Mediziner.

123 McCulloch, *Maschinen*, 2000, S. 81.

McCulloch und Pitts sahen im Gehirn eine Art Turingmaschine, die Realisierung eines Computers, und demnach wären alle zerebralen Nervennetzaktivitäten in elementare Komponenten auflösbar. Diese Ansicht führte sie auf die Fährte, für die mit den Hirnaktivitäten einhergehenden Ideen einen Logikkalkül zu entwerfen, und 1943 erschien ihre Arbeit »A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity« in Rashevskys *Bulletin of Mathematical Biophysics*. Darin verknüpften sie die Aktivitäten eines Neuronennetzes mit einem vollständigen logischen Kalkül für zeitabhängige Signale in elektrischen Schaltungen, wobei die Zeit als synaptische Verzögerung verstanden wird. Sie zeigten, dass ein System aus solchen »künstlichen Neuronen« – bald darauf sprach man von »Künstlichen Neuronalen Netzen« – jede logische Konsequenz ihrer Inputs berechnen kann, denn:

Das »Alles-oder-Nichts«-Gesetz der Nerventätigkeit gewährleistet, dass die Aktivität eines jeden Neurons als eine Aussage dargestellt werden kann. Physiologische Beziehungen zwischen Nervenaktivitäten entsprechen natürlich Beziehungen zwischen Aussagen; die Nützlichkeit der Darstellung hängt von der Übereinstimmung dieser Beziehung mit jenen der Aussagenlogik ab. Jeder Reaktion eines Neurons entspricht dann die Behauptung einer einfachen Aussage.¹²⁴

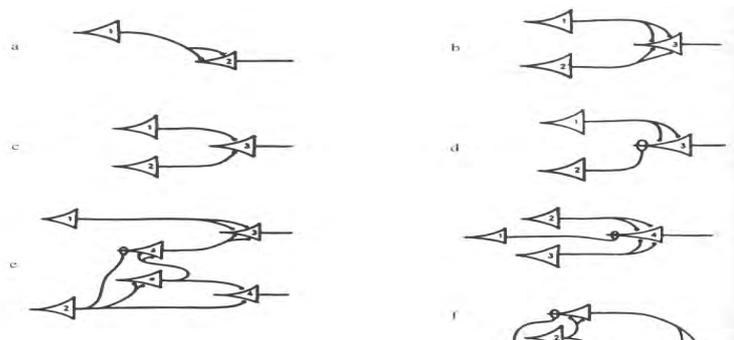


Abb. 5: Mögliche Verknüpfungen von McCulloch-Pitts-Neuronen.

McCulloch und Pitts hatten bei der Modellierung von Nervenzellen und ihren Vernetzungsmöglichkeiten enorme Vereinfachungen zulassen müssen (Abb. 5), damit sie zu ihrem Logikkalkül passte, daher war ihre Arbeit bei weitem kein Nachweis einer prinzipiellen Analogie von Gehirn und Computer, doch nach Erscheinen der Arbeit wurde diese These leidenschaftlich diskutiert. John von Neumann, der den Artikel gelesen und bekannt gemacht hatte, als er dessen Terminologie für die Abfassung des First Draft of a Report on the EDVAC heranzog,¹²⁵ beschäftigte sich bis zu seinem Tode mit der Frage,

124 McCulloch/Pitts, *Logikkalkül*, 1943, S. 26.

125 Von Neumann schrieb, dass dieser Rechner für Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und Wurzelziehen »specialized organs« besitze sowie »general control organs«, »memory organs«,

wie die Erkenntnisse über die Funktionsweisen biologischer Gehirne für den Computerbau genutzt werden könnten.¹²⁶ Wegen der gegenüber den damaligen Computern ungeheuer großen Komplexität des Gehirns war er allerdings skeptisch, wie er in der Diskussion beim Hixon-Symposium im September 1948 nach McCullochs Vortrag betonte.¹²⁷ Hier und auch in den Macy-Konferenzen wurde darüber diskutiert und gestritten, ob der logische Weg der rechte sei, das Gehirn zu verstehen, wobei ihm zufolge weder die verteilten noch die analogischen Gehirneigenschaften berücksichtigt werden könnten.¹²⁸

Evolutionsstrategien in der Technik

Neben der These, dass Computer und Gehirn in Analogie zueinander zu sehen seien, beschäftigten John von Neumann auch andere Fragen nach Anknüpfungen der Computerwissenschaften an die Biologie. So griff von Neumann 1953 die dreizehn Jahre zuvor von dem in die USA ausgewanderten Stanislaw Ulam¹²⁹ vorgestellte Idee der zellulären Automaten zur Modellierung räumlich diskreter dynamischer Systeme auf. Demnach hing die Entwicklung einzelner Zellen zu einem vorgegebenen Zeitpunkt im Wesentlichen von den Zuständen der Zellen in der nächsten Umgebung und vom eigenen Zustand zum unmittelbaren vorherigen Zeitpunkt ab. Er konzipierte aus dieser Idee eine *Theorie selbstreproduzierender Automaten* und stellte insbesondere einen zellulären Automaten mit 29 Zuständen vor, der ein gegebenes Zellenmuster immer wieder selbst reproduzierte.¹³⁰ Daran anknüpfend fragte er sich, ob die Selbstreproduktion solcher Automaten auch nach evolutionären Strategien, also aufgrund von Mutationen und Überlebenskampf um Ressourcen geschehen könne, doch gibt es zu dieser Thematik von ihm keine Veröffentlichung mehr. Dem *Evolutionary Computing*, wie das neue Gebiet bald genannt wurde, widmeten sich nach von Neumanns Tod als einer der Ersten John Henry Holland, der sein Mathematikstudium an der University of Michigan, Ann Arbor, in der *Logic of*

usw. Diese seien ihrerseits aus Unterorganen bzw. aus Netzwerken von »E-Elements« aufgebaut, die von Neumann als »analog of human neurons« einführte. Organe, Netzwerke und E-Elemente erhielten »Stimuli«, die »excited« oder »quiescent« waren.

126 Von Neumann, *Brain*, 1958.

127 Siehe die Diskussion in McCulloch, *Geist*, 2000, S. 107-158.

128 Nicht zuletzt wegen dieser Kontroverse brach die »Cybernetic Group« in den 1950er Jahren auseinander, wie die interdisziplinäre Forschergruppe von Steve J. Heims genannt wurde. Sie hatte sich in den 1940er Jahren formiert und traf sich unter dem Vorsitz von McCulloch jährlich bei den von der Josia Macy Jr. Stiftung organisierten Konferenzen zum Thema »Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems«. Ab 1949 hießen diese Konferenzen auf Vorschlag von Heinz von Foerster »Kybernetik« unter Beibehaltung des früheren Namens als Untertitel. Damit wurde auf das interdisziplinäre Projekt und die Aufsehen erregende Veröffentlichung eines der Gruppenmitglieder im Vorjahr verwiesen: *Cybernetics or Control and Communications in the Animal and the Machine* von Norbert Wiener, s. Heims, *Group*, 1991; s. auch: Heims, *Life*, 1980, S. 201-220; zur »Kybernetik« s. Wiener, *Cybernetics*, 1948.

129 Stanisław Marcin Ulam (1909–1984), polnischer Mathematiker, Schüler von Stefan Banach (1892–1945). 1938 wanderte Ulam in die USA aus.

130 S. dazu von Neumann, *Theory*, 1966, hg. v. Arthur Walter Burks (1915–2008) nach John von Neumanns Tod (1957).

Computers Group von Arthur W. Burks begann und 1954 als Erster das neue Ph. D. program »computer and communication science« abschloss. Beeinflusst durch Ronald A. Fishers Buch *The Genetical Theory of Natural Selection*¹³¹ begeisterte sich Holland für Analogien zwischen Evolutionstheorie und Tierzucht aus der Sicht des Informatikers. Die Fähigkeit von Tieren vor Augen, sich an ihre Umgebung anzupassen – zu adaptieren –, dachte Holland darüber nach, ob Computerprogramme in ähnlicher Weise zur Adaption trainiert werden können: »That's where genetic algorithms came from. I began to wonder if you could breed programs the way people would say, breed good horses and breed good corn.«¹³² Holland publizierte die Ergebnisse 1975 in dem Buch *Adaptation in Natural and Artificial Systems*.¹³³ Er zeigte darin, wie diese »naturalanalogen« Suchalgorithmen zur Bearbeitung praktischer Probleme verwendet werden können, und er warf weitreichende Fragen auf, die bis heute diskutiert werden.¹³⁴ Hollands Ziele waren weit gesteckt: Sie umfassten die theoretische Erklärung der adaptiven Prozesse in der Natur sowie die Entwicklung von einer die Mechanismen der natürlichen Systeme beibehaltenden Software, die sich den verschiedensten Gegebenheiten quasi unbegrenzt anpassen kann.

Der Begriff des »Genetischen Algorithmus« für diese der Evolutionstheorie nachempfundenen Befehlsabfolgen geht auf John Daniel Bagleys Dissertation bei Holland zurück, in der er anhand dieser »Genetischen Algorithmen« erfolgreich nach Lösungen für spieltheoretische Probleme suchte.¹³⁵

Auch Kenneth De Jong schrieb in den 1970er Jahren eine Dissertation bei Holland, in der er Testfunktionen mit verschiedenen Eigenschaften einführte und eine breite Anwendbarkeit der »Genetischen Algorithmen« demonstrieren konnte,¹³⁶ und schließlich beschrieb Goldberg 1983 in seiner Dissertation die erste erfolgreiche Anwendung Genetischer Algorithmen zur Optimierung der Steuerung von Gasleitungssystemen.¹³⁷ Der von Goldberg verwendete Genetische Optimierungsalgorithmus bediente sich der Prinzipien der proportionalen Selektion, der binären Mutation und der Rekombination. Die Population bestand aus 50 Individuen. Beschränkungen wurden durch eine quadratische Wichtungsfunktion einbezogen. Für die untersuchten Probleme erreichte Goldberg Ergebnisse, die sehr nah am Optimum lagen.

Neben den Genetischen Algorithmen wurden unabhängig davon in Deutschland durch die Zusammenschau von evolutionsbiologischen und ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien ebenfalls als »naturinspirierte Verfahren« die so genannten *Evolutionstrategien* entwickelt.

131 Fisher, *Theory*, 1930.

132 Holland, zitiert nach Williams, *Unnatural selection*, 2005.

133 Holland, *Adaption*, 1975.

134 Fogel, *Computation*, 1995.

135 Bagley, *Behavior*, 1967.

136 De Jong konnte das Verhalten Genetischer Algorithmen mittels zweier Kriterien quantifizieren (online und offline Performanz) und damit vergleichbar machen. Weiterhin untersuchte er die Verfahren elitism und crowding. Seine Experimente wurden zur Grundlage vieler weiterer Experimente und Arbeiten mit Genetischen Algorithmen. De Jong, *Analysis*, 1975.

137 Goldberg, *Gas*, 1983.

An der Technischen Universität Berlin studierte der begeisterte Modellflieger Ingo Rechenberg ab 1955 bei Heinrich Hertel Flugzeugbau.¹³⁸ Nachdem er ein Jahr als Stipendiat in Cambridge verbracht hatte, hörte er (um das zum Diplomabschluss nötige *Studium generale* zu absolvieren) eine Vorlesung bei dem Biologen Johann-Gerhard Helmcke¹³⁹ über die Evolutionstheorie. Fasziniert von deren Prinzipien dachte er in den 1960er Jahren über »Evolutionsstrategien« nach, ein Wort, das er 1964 prägte.¹⁴⁰ Als Meilenstein dieser Entwicklungen gilt sein Vortrag über die »Kybernetische Lösungsansteuerung einer experimentellen Forschungsaufgabe« auf der gemeinsamen Jahrestagung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (WGLR) und der Deutschen Gesellschaft für Raketentechnik und Raumfahrt e.V. (DGRR)¹⁴¹ am 16. September 1964 in der Berliner Kongresshalle. Darin führte er das mittlerweile berühmt gewordene »Darwin-im-Windkanal-Experiment« vor, in dem sechs Platten durch Gelenke mit je 51 Einraststellen¹⁴² miteinander zu einer gefalteten Zickzackform verbunden waren (Abb. 6).

Die Zickzackform der Gelenkplatte wurde zu Beginn des Experiments mit Vorder- und Hinterkante auf gleicher Höhe parallel zum Luftstrom, aber ansonsten zufällig gewählt und in den Windkanal gebracht. Die Optimierungsaufgabe bestand darin, den Strömungswiderstand der Gelenkplatte zu minimieren. Dieses Ergebnis wurde im Sommer 1964 überraschend schnell erreicht. Schon nach 320 »Generationen« hatte sich die Platte »evolutiv« zur ebenen Form mit geringstem Widerstand entwickelt.¹⁴³

138 Heinrich Hertel (1901–1982) studierte Bauingenieurwesen an den TH in München und Berlin. In Berlin promovierte er im Jahr 1930. Seit 1933 arbeitete er in den Rostocker Ernst Heinkel Flugzeugwerken in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung. Am 1. Mai 1937 trat Hertel in die NSDAP ein, und 1939 wechselte er zu den Junkers Flugzeug- und Motorenwerken als Leiter der Entwicklungsabteilung. Später wurde er dort Vorstandsmitglied. Nach Kriegsende arbeitete er in Frankreich an der Entwicklung von Düsenflugzeugen und der Senkrechtstarttechnik. 1955 erhielt er den Lehrstuhl für Luftfahrzeugbau an der TU Berlin. Er forschte weiter an Flugzeugkonstruktionen und setzte seine in Frankreich begonnenen Arbeiten zur Senkrechtstarttechnik bis ins Jahr 1970 fort. Durch seine Untersuchungen zu Fischkörperformen und Entwicklungen von Rumpfformen, die geringeren Luftwiderstand als üblich hatten, wurde Hertel ein Vordenker der Bionik in der Luftfahrt. 1960 sprach er sich gegen Rüstungsforschung an Universitäten aus, und anlässlich seiner Ehrendoktorverleihung in Aachen am 16. April 1970 setzte er sich öffentlich mit seinem Wirken vor 1945 auseinander.

139 Johann-Gerhard Helmcke (1908–1993), Ordinarius für Biologie und Anthropologie an der TU Berlin.

140 Rechenberg, *Evolutionstrategie*, 1973.

141 Die am 3. April 1912 in Berlin gegründete »Wissenschaftliche Gesellschaft für Flugtechnik e.V.« benannte sich später in »Wissenschaftliche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.« (WGLR) um. Außerdem gab es die »Deutsche Gesellschaft für Raketentechnik und Raumfahrt e.V.« (DGRR). Die Arbeit von WGLR und DGRR wurde anschließend von der DGLR als Nachfolgesellschaft fortgeführt. Am 27. Juli 1993 haben sich dann DGLR, die Hermann-Oberth-Gesellschaft e.V., die Gesellschaft für Raketentechnik und Weltraumfahrt e.V. und der Fachverband für Luftfahrt e.V. zur Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V. zusammengeschlossen.

142 Die Einraststellen lagen jeweils um zwei Grad auseinander. Insgesamt ergaben sich $515 = 345.025.251$ Einstellmöglichkeiten für die gefaltete Gelenkplatte.

143 Es ist klar, dass der Strömungswiderstand der Gelenkplatte minimal ist, wenn die Platte völlig plan ist. Die Zweifel an einer derart schnellen Entwicklung waren aufgrund der großen Zahl der Einstellmöglichkeiten nicht unbegründet – man hatte geschätzt, dass es Jahre dauern würde, bis sich die plane Gelenkplatte zeigte.

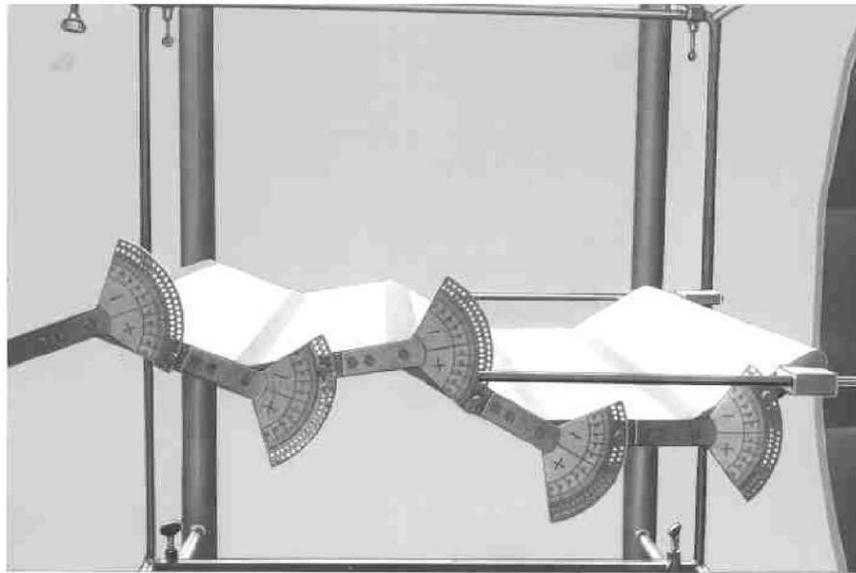


Abb. 6: Rechenbergs Aufbau einer Gelenkplatte im Windkanal.

In den Evolutionsstrategien werden die Vorschläge zur Lösung des jeweiligen Problems immer wieder zufällig modifiziert und miteinander kombiniert, bis sich eine optimale Lösung einstellt. Die Resultate der bei diesen in Anlehnung an die Evolutionstheorie »Mutationen« bzw. »Rekombination« genannten Veränderungen der Ausgangslösungsvorschläge (des »Erbgutes«) heißen Nachkommen, und die ursprünglichen Lösungsvorschläge werden die Elternindividuen genannt. In Analogie zum evolutionstheoretisch gedeuteten Naturgeschehen werden die nicht effizienten Lösungsvorschläge ausselektiert, so dass nur die »fittesten« Lösungen bestehen bleiben.

1966 gründete Rechenberg mit Peter Bienert und Hans-Paul Schwefel die inoffizielle Arbeitsgruppe »Evolutionstechnik« an der Berliner TU. Das Feld der Evolutionsstrategie passte aber nicht in das Arbeitsgebiet des Strömungsinstituts, und auch die an die DFG gerichteten Forschungsanträge wurden abgelehnt. Schwefel, der daraufhin von der Arbeitsgruppe zur AEG wechselte, konnte dort in einem Großexperiment eine optimale Zweiphasen-Überschalldüse mit Evolutionsstrategien entwickeln. Rechenberg promovierte 1970 an der TU Berlin, von Helmcke unterstützt, mit einer Dissertation über »Die lernende Population«, in der er seine Idee der Mutativen Schrittweiten-Regelung (MSR) vorstellte. Ein Jahr später habilitierte er sich, und 1972 wurde Rechenberg auf eine Professur für das Fachgebiet Bionik und Evolutionstechnik an die TU Berlin berufen. 1973 erschien sein Buch *Evolutionstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*¹⁴⁴, und 1975 konnte der zurückgekehrte Hans-Paul Schwefel bei Rechenberg mit der Arbeit über *Evolutionstrategie und numerische Optimierung* promovieren.¹⁴⁵

144 Rechenberg, *Evolutionstrategie*, 1973.

145 Schwefel, *Evolutionstrategie*, 1975.

Während Rechenberg und Schwefel primär die Lösung von Problemen mit Realzahl codierten Parametersätzen – die für ingenieurtechnische Problemstellungen meist sinnvollste und zugleich kompakteste Art der Codierung – im Auge hatten, interessierte sich Holland auch für die grundsätzliche Struktur, mit der in der natürlichen Evolution Informationen gespeichert und verarbeitet werden. Genetische Algorithmen gehen also genauer auf die Gegebenheiten der natürlichen Evolution ein als die Evolutionsstrategien. Holland richtete sein Hauptaugenmerk auf die Frage, auf welche Art und Weise die Natur genetische Informationen speichert und wie die jeweiligen Prozesse mit diesen genetischen Daten operieren. Diese Form der Selbstorganisation und Adaption wollte er nachvollziehen und auf technischem Weg mit Hilfe von Computersimulationen nutzbar machen.

Auf abstrakter Ebene wurden ebenfalls schon in den 1960er Jahren die *Evolutionäre* und die *Genetische Programmierung* zur Untersuchung evolutionärer Verfahren in der AI-Forschung begründet. *Evolutionäre Programmierung* lässt sich auf das 1966 von Larry J. Fogel, Al Owens und Jack Walsh publizierte Buch *Artificial Intelligence through Simulated Evolution* zurückführen¹⁴⁶, die später bei der Firma »General Dynamics« in San Diego zusammenarbeiteten und gemeinsam die Firma »Decision Science« gründeten.

Durch *Evolutionäre Programmierung* sollten deterministische endliche Automaten entstehen, die sich ihrer Umwelt anpassen.¹⁴⁷ Mit der sehr viel jüngeren *Genetischen Programmierung* versucht man dagegen seit Ende der 1980er Jahre Programme evolutionär zur Lösung einer Aufgabe zu erzeugen. Programme werden als Individuen aufgefasst und der »natürlichen Selektion« unterworfen. Dieses Feld geht auf das 1992 von John Koza publizierte Buch *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection* zurück.¹⁴⁸

Soft Computing and Computational Intelligence

Den hier dem SC zugeschriebenen Theorien und Methoden der Fuzzy Sets and Systems, der Künstlichen Neuronalen Netze, der Evolutionären und Genetischen Algorithmen – zuweilen wird die Liste auch erweitert (z. B. um Probabilistic Reasoning, Belief Networks, Chaos Theory und Quantum Computing) – ist gemeinsam, dass sie abseits des klassisch-logischen Schließens und der klassisch exakten Modellierung stehen. Sie basieren nicht auf Boolescher Logik und analytischen Modellen, und es geht beim SC auch nicht um eindeutige Klassifikation oder deterministische Suchverfahren. Ließen sich die zu lösenden Probleme entsprechend ideal formulieren, so wären die zu modellierenden bzw. zu regelnden Systeme auch vollständig und präzise beschreibbar, und ihr Zustand bzw. ihr Verhalten wäre eine Angelegenheit der für die herkömmliche AI typischen Inferenz-Systeme.

146 Fogel/Owens/Walsh, *Intelligence*, 1966.

147 Ähnlich wie bei den anderen Evolutionsstrategien wird bei der Evolutionären Programmierung die Mutation mit einem selbstadaptiven Anpassungsmechanismus geleistet, auf Rekombination wird jedoch verzichtet!

148 Koza, *Programming*, 1992.

Es sind aber nicht die ideal formulierten, sondern die »real-world problems«, die SC zu lösen angetreten ist: Sie sind schlecht definiert, schwierig – wenn nicht unmöglich – zu modellieren, und sie haben große Lösungsräume. Hier sind exakte Modelle – wenn es sie überhaupt gibt – unpraktisch und meist zu teuer. Oft liegen nur empirisches Wissen bzw. das Systemverhalten beschreibende Input-Output-Daten vor – ungenaue Information, aus der nur ungenau gefolgert werden kann. »Soft Computing technologies provide us with a set of flexible computing tools to perform these approximate reasoning and search tasks.«¹⁴⁹

1995 schrieb Hans Jürgen Zimmermann, der 1978 die internationale Zeitschrift *Fuzzy Sets and Systems* gründete und bis 1998 herausgab, in einem Editorial, dass in vielen Anwendungssystemen Fuzzy-Konzepte mit Künstlichen Neuronalen Netzen kombiniert bzw. Genetische und Evolutionäre Algorithmen in Fuzzy-Algorithmen benutzt wurden. Da sich diese Entwicklung sehr wahrscheinlich auch in Zukunft fortsetzen würde, suchte er nach einem Namen für das gemeinsame Forschungsfeld, der dann auch im Untertitel der Zeitschrift erscheinen sollte: »*Soft Computing, Biological Computing or Computational Intelligence* have been suggested so far« (Hervorh. im Orig.). Diese Begriffe seien verschieden attraktiv, aber auch verschieden ausdrucksstark.¹⁵⁰ Der Begriff *Computational Intelligence* (CI) war von dem Informatiker James C. Bezdek eingeführt worden:

A system is computationally intelligent when it: deals with only numerical (low-level) data, has pattern recognition components, does not use knowledge in the AI sense; and additionally when it (begins to) exhibit 1) computational adaptivity, 2) computational fault tolerance, 3) speed approaching human-like turnaround and 4) error rates that approximate human performance.¹⁵¹

Das Adjektiv *computational* soll auf die subsymbolische (numerische) Problemrepräsentation und die daraus folgende subsymbolische Wissensaggregation und Informationsverarbeitung hinweisen. Damit wird der rechnerische Aspekt gegenüber dem symbolischen Vorgehen betont.

Der Begriff *Computational Intelligence* mochte allerdings nur so lange verführerisch sein, wie der Begriff der Intelligenz noch nicht besser als bisher definiert werden konnte, gab Bezdek zu bedenken, und hier pflichtete ihm Zimmermann bei, der schließlich als Namen für das Forschungsgebiet – und damit auch als Untertitel der Zeitschrift – *Soft Computing and Intelligence* vorschlug, da die anderen Begriffe ihm zu sehr das »Rechnen (computing)« betonten, »which is certainly not appropriate at least for certain areas of fuzzy set theory«.¹⁵²

Damals war CI lediglich eine Sammlung von Methoden, doch mittlerweile charakterisiert man das Forschungsgebiet griffiger, indem diejenigen Probleme, denen sich die CI-Forschung widmet, klarer umrissen werden. Der Informatiker Włodzisław Duch schrieb

149 Bonissone, *Computing*, 1997.

150 Zimmermann, *Editorial*, 1995.

151 Bezdek, *Intelligence*, 1994.

152 Zimmermann, *Editorial*, 1995.

vor drei Jahren: »CI studies problems for which there are no effective algorithms, either because it is not possible to formulate them or because they are NP-hard and thus not effective in real life applications!«

Er definierte CI als »branch of science studying problems for which there are no effective computational algorithms«. Lebende Gehirne können solche Probleme auf vielerlei Arten lösen, Organismen lösen entsprechende Probleme tagtäglich: »extracting meaning from perception, understanding language, solving ill-defined computational vision problems thanks to evolutionary adaption of the brain to the environment, survival in a hostile environment.«¹⁵³ Bei der Untersuchung dieser in der Natur entwickelten Strategien betrachten wir allerdings die Grundlagen der natürlichen Intelligenz, die aufgrund der Flexibilität lebender Organe ihr Ziel auf verschiedenen Wegen erreichen kann. Offenbar rühren wir hier an die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale zur Künstlichen Intelligenz (AI), die auf Such- und Maschinenlernalgorithmen, symbolischer Wissensrepräsentation, regelbasierten Expertensystemen und Logik beruht. Duch schlägt vor, CI als das umfassendere Gebiet der Computer- und Ingenieurwissenschaften aufzufassen und AI als denjenigen Teil der CI, der auf die Problemlösungen vermittelt höherer kognitiver Funktionen abzielt, während der neuere Teil, die eigentliche CI, mit »low-level cognitive functions« befasst ist: »perception, object recognition, signal analysis, discovery of structures in data, simple associations and control.« Die Ziele der CI im engeren Sinne orientieren sich also nicht an »high level cognition processes«, ihr geht es nicht nur um das Studium intelligenter Agenten, sondern um das Verständnis nicht »hart« algorithmisierbarer Prozesse, in denen Lebewesen (Menschen und auch einige Tiere) mit ihrer jeweiligen Kompetenz Probleme sehr gut lösen, und die nun ingenieurtechnisch in Hard- und Softwaresystemen möglichst ähnlich realisiert werden sollen.¹⁵⁴

Luis Magdalena, Leiter des *European Centre for Soft Computing* im spanischen Mieres, charakterisiert die CI deshalb als diejenigen Anteile wissenschaftlicher Forschung, deren Probleme kein exaktes Modell haben, oder in denen ein Modell existiert, das nicht auf Effektivität basiert, sondern dessen Ziel es ist, »to reduce the granularity or soften the goal.« Diese Beschreibung passt auch auf seine Charakterisierung des »SC as the opposite to hard computing or based on its essential properties«, so dass SC und CI für Magdalena weitgehend deckungsgleiche wissenschaftliche Gebiete sind: »So, apparently there is no significant difference in between Soft Computing and Computational Intelligence.«¹⁵⁵

Die Bezeichnung *Soft Computing and Intelligence*, mit der Zimmermann 1995 das neue Forschungsfeld charakterisierte, war enger gefasst als *Artificial Intelligence*; beiden Namen ist allerdings der Begriff »Intelligence« gemein, der von Zimmermann aus dem *Random House Dictionary* wie folgt definiert wird: »Capacity for reasoning, understanding and for similar forms of mental activity.« Zimmermann fügte hinzu, dass diese Formulierung sich

153 Duch, *Intelligence*, 2007.

154 Ebd.

155 Magdalena, *Intelligence*, 2008.

mit jener Vorstellung decke, die von den Herausgebern der Zeitschrift *Fuzzy Sets and Systems* schon bei ihrer Gründung im Jahre 1975 als zentral für die Fuzzy Set Theorie angesehen wurde.

Mit SC bzw. CI wird ein Brückenschlag zwischen den von der Natur inspirierten bzw. den »naturalen« Verfahren einerseits und den auf dem HC beruhenden herkömmlichen Gebieten der Informatik andererseits angeboten. Im HC waren vor allem Werkzeuge entwickelt worden, die auf Symbolmanipulation und Prädikatenlogik basieren. Deren Potenzial zur Lösung der Probleme in der realen Welt ist allerdings sehr begrenzt.

Diese Grenzen werden von den SC-Theorien und -methoden und ihren hybriden Zugängen überschritten, denn deren erklärtes Ziel ist – insbesondere für die anvisierte *Computational theory of perceptions* – »the development of an automated capability to reason with perception-based information«. Für die »alte AI« war dies nicht zielführend, hier folgte man dem Galilei zugeschriebenen Diktum: »Man muss messen, was messbar ist, messbar machen, was es nicht ist.« Aus Sicht des SC ist die Reduktion von nicht Messbarem – z. B. Wahrnehmungen (perceptions) – auf Messgrößen dagegen unrealistisch und kontraproduktiv.

Ausblick

Hard Computing und *Soft Computing* wurden in diesem Artikel als zwei gegensätzliche Rechenarten oder Rechenkünste vorgestellt. *Hard Computing* ist das exakt-mathematische Rechnen, das in den *Hard Sciences* erfolgreich war und ist. *Soft Computing* steht für das »Computing with Words«, die Toleranz gegenüber Unschärfen und die naturinspirierten Methoden, die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts von Wissenschaftlern entwickelt wurden, die den Eindruck gewonnen hatten, dass die exakt-analytische Mathematik für eine große Klasse von Problemen keine Lösungswege bietet.

Warren Weaver identifizierte zunächst die Klasse der hier angesprochenen Probleme als eine »mittlere Region« zwischen den »problems of simplicity«, die mit den analytischen Methoden der klassischen Mathematik gelöst werden können, und den »problems of disorganized complexity«, zu deren Lösung Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik herangezogen werden. Weaver nannte die Probleme in dem dazwischen liegenden Bereich »problems of organized complexity«, und er identifizierte sie zunächst im Bereich der *Life Sciences*, die Sherman als »Medium Sciences« bezeichnet, danach auch in den *Soft Sciences*.

Hard Science, *Soft Science*, *Medium Science* – ob nun in der Unterscheidung von Snow, Sherman oder Weaver – die wissenschaftlichen Disziplinen lassen sich ganz offensichtlich nicht alle auf die gleiche Weise, nach demselben Muster, mit denselben Werkzeugen modellieren bzw. theoretisieren.

Für die Biologie hat Ernst Mayr schlüssig gezeigt, dass es mit der »funktionalen Biologie« zwar einen Anteil gibt, der mit den Methoden der *Hard Sciences* – nämlich Physik und Chemie – analysiert werden kann, dass aber für den Anteil der »historischen Biologie« – die Evolutionsbiologie – die Methoden und Theorien der exakten Mathe-

matik nicht angemessen sind. Um hier Klarheit zu schaffen, bedarf es einer Philosophie der Biologie, für die Mayr lediglich einige Hinweise geben konnte: Anstatt mit den Begriffen, Prinzipien und Gesetzesformen der *Hard Sciences* zu arbeiten, müssten neue Begriffe und Konzepte gefunden werden, um die Basis der Evolutionsbiologie zu erfassen. Mayr führte »Konzepte« der Biologie ein, und seine Beispiele bezogen sich allesamt auf unscharfe Begriffe!

»Strategien der Evolutionsbiologie« nannten Rechenberg und Schwefel die Optimierungsverfahren, die sie »natural analog« und ohne die Inanspruchnahme eines mathematischen Modells entwickelten. Auch John Hollands Genetische Algorithmen zur Simulation der natürlichen Adaptionsprozesse in künstlichen Systemen, deren Nachfolger sowie die Evolutionäre und Genetische Programmierung sind von der Natur inspiriert.

Um die in der Natur vorzufindenden Neuronalen Netzwerke zu analysieren, hatte Nicolas Rashevsky vorgeschlagen, Netzwerke von »Zwei-Faktor-Elementen« zu studieren. Wegen der manifestierten Nonlinearität versagten allerdings die analytisch-mathematischen Methoden. Abweichend von Rashevskys Weg der Differentialgleichungssysteme schlugen McCulloch und Pitts eine durch das den natürlichen Neuronen zugeschriebene »Alles-oder-Nichts-Gesetz« motivierte Binärlogik vor. Doch das darauf aufbauende Forschungsgebiet der ersten *künstlichen* Neuronalen Netze erwies sich als Sackgasse. Erst als in den 1980er Jahren Erweiterungen im Sinne größerer Komplexität der künstlichen Netzwerke vorgeschlagen wurden, stellten sich neue Erfolge ein.

Die aufgezählten Entwicklungen zeigen, dass in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts jenseits des *Hard Computing* erfolgreiche wissenschaftliche Theorien und Methoden in den *Soft Sciences* und in den *Life Sciences* als »middle region« zwischen beiden Extremen entstanden sind. Betrachtet man diese »Trichotomie« genauer, so gelänge es kaum, die Grenzen zwischen diesen Regionen scharf zu ziehen. Offenbar gibt es »harte« und »weiche« Anteile der *Life Sciences* und auch der *Soft Sciences*, und sowohl *Hard* als auch *Soft Computing* sind in den jeweiligen Teilbereichen anwendbar. Epistemologisch gedeutet bedeutet dies, dass neben den reinen *Hard Sciences* ein Kontinuum hybrider Wissenschaft mit *Soft* und *Life Science*-Anteilen entstanden ist und daher auch immer auf *Soft Computing* zurückgegriffen werden kann, um überhaupt Lösungen, wenn auch unscharfe, zu finden. Rheinberger sieht darin eher eine Chance als einen Makel, wenn er schreibt:

Sich über die Bedeutung von Ungenauigkeit in der Wissenschaft genauer zu verständigen, also Unschärfe nicht generell zu verwerfen, sondern sie als epistemische Möglichkeit zu thematisieren, ist heute zudem beispielsweise ein Hauptanliegen der KI-Forschung und angrenzender Disziplinen. Lotfi Zadeh hat behauptet, dass »es ein rasch wachsendes Interesse an unexaktem Denken und an der Verarbeitung von ungenauem, unvollständigem oder nicht ganz zuverlässigem Wissen gibt. Genau in diesem Zusammenhang wird sich auch die Überzeugung durchsetzen, dass klassische logische Systeme mit Unbestimmtheit nicht adäquat umgehen können und dass für diesen Zweck eine Art Fuzzy Logic gebraucht wird.«¹⁵⁶

156 Rheinberger, *Evolution*, 1999, S.

»Moderne Rechenkünstler« hatte Hartmut Petzold seine »Geschichte der industriell hergestellten Rechenmaschinen und Computer« genannt, in der sich sein »Interesse immer mehr den Menschen zuwandte«. Zu Beginn dieses Artikels habe ich die von Petzold »modern« genannten Rechenkünstler dadurch charakterisiert, dass sie weder nur Maschine noch nur Konstrukteur, sondern aus beiden miteinander verschmolzene Hybriden sind. Bruno Latour leugnet, anschließend an die Actor-Network-Theorie, in dem von ihm selbst »nichtmodern« genannten Ansatz, exakte Unterscheidungen wie »Subjekt – Objekt«, »Gesellschaft – Natur«, »res cogitans – res extensa«, »Innenwelt – Außenwelt«, die sich allesamt in der Moderne als Reflexionsbegriffspaare bewährt hatten. Er behauptet, dass solche scharfen Trennungen überhaupt nicht durchführbar seien. Vielmehr bestünde unsere Welt aus Dingen, die weder eindeutig der Natur noch der Gesellschaft zugeordnet werden könnten. Aufgrund ihrer nur unscharfen Zugehörigkeiten zu den Kategorien »Subjekt – Objekt«, »Gesellschaft – Natur« oder »Mensch – Maschine« sind solche Dinge nicht eindeutig nur als Rechner, Konstrukteure oder Programm zu klassifizieren, und in diesem Sinne sind die Rechenkünstler nie modern gewesen!

Neben dieser epistemologisch interessanten Ansicht ist für die Wissenschafts- und Technikgeschichte darüber hinaus zu bedenken, was Rheinberger auf die Frage »whether we need, in order to understand conceptual tinkering in research, more rigid meta-concepts than those first-order concepts that we, as epistemologists, analyze« in einer englischsprachigen Veröffentlichung antwortete: »I am inclined to deny this. Why should historians and epistemologists be less imprecise, less operational, and less opportunistic after all, than scientists?«¹⁵⁷

157 Rheinberger, *Gene*, 2000, S. 236.

Literatur

- Anderson, James A./Rosenfeld, Edward (Hg.): *Talking Nets: An Oral History of Neural Networks*. Cambridge, Mass., 1998.
- Aspray, William: *The Scientific Conceptualization of Information: A Survey*. In: *Annals of the History of Computing* 7 (1985), Nr. 2, S. 117–140.
- Bagley, John Daniel: *The Behavior of Adaptive Systems Which Employ Genetic and Correlation Algorithms*. PhD thesis, University of Michigan, Ann Arbor 1967.
- Bellman, Richard E./Kalaba, Robert/Zadeh, Lotfi A.: *Abstraction and Pattern Classification*. In: *Memorandum RM-4307-PR*, Santa Monica, California: The RAND Corporation, October 1964.
- Berkeley, Edmund Callis: *Giant Brains or Machines that think*. New York 1949.
- Bezdek, James C.: *What is computational intelligence?* In: Zurada, Jacek M./Marks, Robert J./Robinson, Charles J. (Hg.): *Computational Intelligence Imitating Life*, IEEE Press, 1994, S. 1–12.
- Bonissone, Piero: *Soft Computing: the convergence of emerging reasoning technologies*. In: *Soft Computing* 1 (1997), S. 6–18.
- Brockman, John: *The Third Culture: Beyond the Scientific Revolution*. New York 1995.
- Buchanan, Bruce G./Feigenbaum, Edward A.: *DENDRAL and META-DENDRAL: Their application dimensions*. In: *Artificial Intelligence* 11 (1978), S. 5–24.
- Callon, Michel/Latour, Bruno: *Unscrewing the Big Leviathan: How Actors Macro-structure Reality and How Sociologists Help Them to Do So*. In: Knorr-Cetina, Karin D./Cicourel, Aaron V. (Hg.): *Advances in Social Theory and Methodology: Toward an Integration of Micro- and Macro-Sociologies*. Boston, Mass., 1981, S. 277–303.
- Darrach, Brad: *Meet Shakey, the First Electronic Person*. In: *Life* 20 (1970), S. 58–68.
- De Jong, Kenneth A.: *An analysis of the behaviour of a class of genetic adaptive systems*. PhD thesis, University of Michigan, Ann Arbor, 1975.
- Dick, Philip K.: *The Man in the High Castle*. Putnam 1962. Deutsche Ausgabe: *Das Orakel vom Berge*. München 2000.
- Dreyfus, Hubert Lederer: *What Computers Can't Do*. New York 1979.
- Duch, Włodzisław: *What is Computational Intelligence and Where is it Going?* In: *Studies in Computational Intelligences (SCI)* 63 (2007), S. 1–13.
- Falk, Raphael: *The gene – a concept in tension*. In: Beurton, Peter/Falk, Raphael/Rheinberger, Hans-Jörg (Hg.): *The Concept of the Gene in Development and Evolution. Historical and Epistemological Perspectives*. Cambridge 2000, S. 317–348.
- Fisher, Ronald Aylmer: *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford 1930.
- Fogel, Lawrence/Owens, Al J./Walsh, M. Jack: *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. New York 1966.
- Gardner, Howard: *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York 1983.
- Gelernter, Herbert: *Realization of a Geometry Theorem Proving Machine*. In: *Proceedings*

- of International Conference on Information Processing, Paris, June 15–20, 1959, S. 273–282.
- Goldberg, David E.: Computer-aided gas pipeline operation using genetic algorithms and rule learning. PhD thesis, University of Michigan, Ann Arbor, 1983.
- Harris, Robert: *Fatherland*. London 1992. Deutsche Ausgabe: *Vaterland*. München 1992.
- Heims, Steve Joshua: *The Cybernetics Group*. Cambridge, Mass./London 1991.
- Heims, Steve Joshua: *John von Neumann and Norbert Wiener: From Mathematics to the Technologies of Life and Death*. Cambridge, Mass., 1980.
- Holland, John Henry: *Adaptation in Natural and Artificial Systems. An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. Ann Arbor, MI, 1975.
- Huxley, Aldous: *Brave New World*. London 1932.
- Koza, John: *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, Mass., 1992.
- Krohs, Ulrich/Toepfer, Georg (Hg.): *Philosophie der Biologie. Eine Einführung*. Frankfurt a. M. 2005.
- Lehr, Thomas: 42. Berlin 2005.
- Magdalena, Luis: What is Soft Computing? Revisiting Possible Answers. (Erweitertes unveröffentlichtes Manuskript, plenary lecture), Proceedings FLINS'08, World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science, Bd. 1, 2010, S. 3–10.
- Martin, C. D.: The Myth of the Awesome Thinking Machine. In: *Communications of the ACM* 36 (1993), Nr. 4, S. 120–133.
- Mayr, Ernst: *Das ist Biologie – Die Wissenschaft des Lebens*. Heidelberg 2000.
- Mayr, Ernst: *Das ist Evolution*. München 2005.
- Mayr, Ernst: *What Makes Biology Unique? Considerations on the Autonomy of a Scientific Discipline*. Cambridge, Mass., 2004.
- Mayr, Ernst: *Konzepte der Biologie*. Stuttgart 2005.
- McCarthy, John: *Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine. Part I: Communications of the ACM*. New York 1960.
- 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. 24–40. Originalausgabe: McCulloch, Warren S./Pitts, Walter H.: *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*. In: *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5 (1943), S. 115–133.
- McCulloch, Warren S.: *Maschinen, die denken und wollen*. In: McCulloch, Warren S.: *Verkörperungen des Geistes*. Wien/New York 2000 (Computerkultur 7), S. 81–92.
- Minsky, Marvin: *A Neural-Analogue Calculator Based upon a Probability Model of Reinforcement*. In: *Harvard University Psychological Laboratories*, January 8, 1952.
- Minsky, Marvin (Hg.): *Semantic Information Processing*. Cambridge, Mass./London 1968.
- Minsky, Marvin/Papert, Seymour: *Perceptrons*. Cambridge, Mass., 1969.

- Minsky, Marvin/Papert, Seymour: Artificial Intelligence. Eugene, Oreg., 1973.
- Neumann, John von: The Computer and the Brain. New Haven 1958.
- Neumann, John von/Burks, Arthur W. (Hg.): The Theory of Self-reproducing Automata. Urbana, IL, 1966.
- Newell, Allen/Simon, Herbert A.: The logic theory machine. In: IRE Transactions on Information Theory, IT-2 (3), 1956, S. 61–79.
- Newell, Allen /Shaw, J. Clifford/Simon, Herbert A.: Report on a General Problem-Solving Program. In: Proceedings of the International Conference on Information Processing, Paris, June 13–23, 1959, S. 256–264.
- Newell, Allen/Simon, Herbert A.: GPS, a program that simulates human thought. In: Feigenbaum, Edward A./Feldman, Julian (Hg.): Computers and Thought. New York 1963, S. 279–293.
- Petzold, Hartmut: Rechnende Maschinen. Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik. Düsseldorf 1985 (Technikgeschichte in Einzeldarstellungen 41).
- Petzold, Hartmut: Moderne Rechenkünstler. Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland. München 1992.
- Pitts, Walter: Some Observations on the Simple Neuron Circuit. In: Bulletin of Mathematical Biophysics 4 (1942), S. 121–129.
- Pitts, Walter: The Linear Theory of Neuron Networks: The Static Problem. In: Bulletin of Mathematical Biophysics 4 (1942), S. 169–175.
- Pitts, Walter: The Linear Theory of Neuron Networks: The Dynamic Problem. In: Bulletin of Mathematical Biophysics 5 (1943), S. 23–31.
- Quillian, M. Ross: Word Concepts: A Theory and Simulation of Some Basic Semantic Capabilities. In: Behavioral Science 12 (1967), S. 410–430.
- Quillian, M. Ross: Semantic Memory. In: Minsky, Marvin (Hg.): Semantic Information Processing. Cambridge, Mass. 1968, S. 227–270.
- Raphael, Bertram: The Thinking Computer: Mind Inside Matter. San Francisco 1976, S. 284.
- Rashevsky, Nicolas: Mathematical Biophysics. In: Nature, April 6, 1935, S. 528–530.
- Rashevsky, Nicolas: Mathematical Biophysics: Physico-Mathematical Foundations of Biology. Chicago 1938.
- Rashevsky, Nicolas: Advances and Applications of Mathematical Biology. Chicago 1940.
- Rashevsky, Nicolas: Mathematical Theory of Human Relations: An Approach to Mathematical Biology of Social Phenomena. Bloomington, ID, 1947.
- Rashevsky, Nicolas: Mathematical Biology of Social Behavior. Chicago 1951.
- Rashevsky, Nicolas: Mathematical Principles in Biology and their Applications. Springfield, IL, 1961.
- Rechenberg, Ingo: Evolutionsstrategie. Stuttgart-Bad Cannstatt 1973.
- Reingold, Nathan: Warren Weaver. In: American National Biography, Bd. 22. Oxford, 1999.
- Rees, Mina: Warren Weaver 1894–1978. A Biographical Memoir by Mina Rees. Washington DC 1987, S. 493–530.

- Rheinberger, Hans-Jörg: Toward a history of epistemic things: synthesizing proteins in the test tube. Stanford, Calif., 1997.
- Rheinberger, Hans-Jörg: Die Evolution des Genbegriffs. Perspektiven der Molekularbiologie. In: Rheinberger, Hans-Jörg: Epistemologie des Konkreten. Studien zur Geschichte der modernen Biologie. Frankfurt a. M. 2006, S. 221-244.
- Rheinberger, Hans-Jörg: Gene Concepts. Fragments From the Perspective of Molecular Biology. In: Beurton, Peter/Falk, Raphael/Rheinberger, Hans-Jörg (Hg.): The Concept of the Gene. In Development and Evolution. Cambridge 2000, S. 219-239.
- Rheinberger, Hans-Jörg: Iterationen. Berlin 2005.
- Rheinberger, Hans-Jörg: Historische Epistemologie zur Einführung. Hamburg 2007.
- Rheinberger, Hans-Jörg/Müller-Wille, Staffan: »Gene«. In: Zalta, Edward N. (Hg.): The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2010 Edition), <http://plato.stanford.edu/archives/spr2010/entries/gene/> (Zugriff v. 4.8.2010).
- The Rockefeller Foundation: Presidents's Review and Annual Report. New York 1958.
- Rosen, Charles A.: An Experimental Mobile Automaton, Technical Note 39. Menlo Park, Calif., 1970.
- Rosenblatt, Frank: The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. In: Psychological Review 65 (1958), Nr. 6, S. 386-408.
- Rucker, Rudy: The Imitation Game. In: Watson, Ian/Whates, Ian (Hg.): The Mammoth Book of Alternate Histories. London 2010.
- David E. Rumelhart/McClelland, James L./PDP Research Group: Parallel Distributed Processing I, II. Cambridge, Mass., 1986.
- Samuel, Arthur Lee: Some studies in machine learning using the game of checkers. In: IBM Journal of Research and Development 3 (1959), Nr. 3, S. 211-229.
- Scheibe, Erhard: Die Philosophie der Physiker. München 2006.
- Schmerl, Chr.: Sozialisation und Persönlichkeit. Zentrale Beispiele zur Soziogenese menschlichen Verhaltens. Stuttgart 1978, S. 76.
- Schwefel, Hans-Peter: Evolutionsstrategie und numerische Optimierung. Diss. Technische Universität Berlin, 1975.
- Seising, Rudolf: Die Fuzzifizierung der Systeme. Die Entstehung der Fuzzy Set Theorie und ihrer ersten Anwendungen. Ihre Entwicklung bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts. Stuttgart 2005.
- Searle, John R.: Minds, Brains, and Programs. In: The Behavioral and Brain Sciences 3 (1980), S. 353.
- Shermer, Michael: The Really Hard Science. In: Scientific American, September 16, 2007.
- Shortliffe, Edward H.: Computer-based medical consultations: MYCIN. New-Holland, N.Y., 1976.
- Snow, Charles Percy: The Two Cultures and the Scientific Revolution. Cambridge, Mass., 1960.
- Snow, Charles Percy: Two Cultures: And a Second Look. An Expanded Version of the Two Cultures and the Scientific Revolution. Cambridge, Mass., 1964.
- Turing, Alan Mathison: Computing Machinery and Intelligence. In: Mind 49 (1950), Nr. 236, S. 433-460.

- Weaver, Warren: Scene of Change: A Lifetime in American Science. New York 1970.
- Weaver, Warren: Science and Complexity. In: American Scientist 36 (1948), S. 65–74.
- Weaver, Warren: The Scientists Speak. New York 1947.
- Wiener, Norbert: Cybernetics or Control and Communications in the Animal and the Machine. Cambridge, Mass., 1948.
- Williams, Sam: Unnatural selection. In: Technology Review, March 2, 2005, S. 130.
- Winograd, Terry: Understanding Natural Language. In: Cognitive Psychology 3 (1972), Nr. 1, S. 1–191.
- Winograd, Terry: Understanding Natural Language. Orlando, FL, 1972.
- Winston, Patrick: Learning Structural Descriptions from Examples. In: Project MAC Report TR-76. Cambridge, Mass., 1970.
- Zadeh, Lotfi A.: Frequency Analysis of Variable Networks. In: Proceedings of the IRE, Bd. 38, March 1950, S. 291–299.
- Zadeh, Lotfi A.: Thinking machines. A new field in electrical engineering, In: Columbia Engineering Quarterly (January 1950), S. 12–13, 30–31.
- Zadeh, Lotfi A.: System Theory. In: Columbia Engineering Quarterly 8 (1954), S. 16–19, 34.
- Zadeh, Lotfi A.: From Circuit Theory to System Theory. In: Proceedings of the IRE 50 (1962), S. 856–865.
- Zadeh, Lotfi A./Desoer, Charles A.: Linear System Theory: The State Space Approach. New York u. a. 1963.
- Zadeh, Lotfi A.: Fuzzy Sets, Information and Control 8 (1965), S. 338–353.
- Zadeh, Lotfi A.: Biological applications of the theory of fuzzy sets and systems. In: The Proceedings of an International Symposium on Biocybernetics of the Central Nervous System. Boston 1969, S. 199–206.
- Zadeh, Lotfi A.: Making Computers Think like People. In: IEEE Spectrum 8 (1984), S. 26–32.
- Zadeh, Lotfi A.: Book Review: Hubert L Dreyfus, Stuart E. Dreyfus: Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer. In: IEEE Expert 2 (1987), Nr. 2, S. 110–111.
- Zadeh, Lotfi A.: Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing. In: Communications of the ACM 37 (1994), Nr. 3, S. 77–84.
- Zadeh, Lotfi A.: Fuzzy Logic = Computing with Words. In: IEEE Transactions on Fuzzy Systems 4 (1996), Nr. 2, S. 103–111.
- Zadeh, Lotfi A.: From Computing with Numbers to Computing with Words – From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions. In: IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications 45 (1999), Nr. 1, S. 105–119.
- Zadeh, Lotfi A.: Applied Soft Computing – Foreword. In: Applied Soft Computing 1 (2001), Nr. 1, 2001, S. 1–2.
- Zimmermann, Hans Jürgen: Editorial, Fuzzy Sets and Systems 69 (1995), Nr. 1, S. 1–2.

Hans Dieter Hellige

Die Aktualität von Hartmut Petzolds Sozialgeschichte des Computing

Hartmut Petzold hat als Technikhistoriker und Museumskurator ein sehr breites Oeuvre vorgelegt, das die mechanischen und elektromechanischen Rechenmaschinen, die analogen Rechengeräte, die Computer- und Informatikgeschichte, die Bauelemente-Entwicklung sowie auch den großen Bereich der Uhren- und Zeitmesstechnik umfasst. Im Folgenden soll es um den Ausgangs- und Kernbereich seiner Forschungen gehen, um die Geschichte des »Computing«. Dabei sehe ich meine Aufgabe vor allem darin, die Zusammenhänge in seiner historischen Arbeit aufzuspüren, Leitideen herauszufiltern und nach der bleibenden Aktualität seines Forschungsansatzes zu fragen. In den Mittelpunkt stelle ich dabei natürlich sein in zwei Versionen erschienenen Hauptwerk: die mehr analytisch-rekonstruktive Dissertationsdruck-Fassung von 1985, die stärker an einzelnen Techniken orientiert ist, und die von ihm so genannte Buchfassung von 1992, die Synthesen nachholt und die Anwendungsperspektive ins Zentrum rückt.¹ Dazu kommen etliche Aufsätze und Vorträge und vor allem viele telefonische Gespräche, die ich mit ihm seit Mitte der 1980er Jahre geführt habe. Unsere anfangs nur sporadischen Kontakte intensivierten sich durch drei Tagungen, die für mich persönlich sehr folgenreich waren, da ich hierdurch endgültig in die *scientific community* der Informationstechnik- und Computerhistoriker eintrat, die aber auch Ausgangspunkt der »Fachgruppe Informatik- und Computergeschichte« der »Gesellschaft für Informatik« wurden: Der von Hartmut Petzold und Oskar Blumtritt organisierte Workshop »Technohistory of Electrical Information Technology« Ende 1990², das von Martin Möhring geleitete 2. Ribnitzer Kolloquium im Sommer 1991 und vor allem die von Petzold und mir 1993 organisierte Tagung im Deutschen Museum »Leitbilder der Informatik- und Computergeschichte«.³ Der große Erfolg dieses Zusammentreffens der Computerpioniere Zuse, Lehmann, Bauer und Zemanek, von vielen Informatikern, Technikhistorikern und Techniksoziologen gab der seit 1991 vorbereiteten und 1993 gegründeten Fachgruppe einen so großen Schwung, dass sie auch die Anlaufschwierigkeiten der Folgejahre gut überstand. Die Kombination von neuen sozialgeschichtlichen Ansätzen der Technikgeschichte, der soziologischen Technikgenese-forschung und der wissenschaftssoziologisch ausgerichteten Disziplingeschichte erwies sich als so fruchtbar, dass wir uns bis heute daran abarbeiten. Die Münchener Tagung legte aber auch den Grundstein für die enge Kooperation mit Computer- und Informatikpionieren und dem Präsidiums-Arbeitskreis »Geschichte der Informatik«.⁴ Bei den Kontak-

1 Petzold, *Maschinen*; Ders., *Rechenkünstler*, 1992.

2 Blumtritt/Petzold, *Technohistory*, 1991.

3 Hellige, *Leitbilder*, 1994; Ders., *Technikleitbilder*, 1996.

4 Aus der Kooperation ging das Buch hervor: Hellige, *Geschichten*, 2004.

ten zu deutschen, österreichischen und Schweizer Pionieren profitierten wir intensiv von Petzolds persönlichen Beziehungen, die er im Rahmen seiner Oral Computer History aufgebaut hatte. Ebenso konnten wir und die informatik- und computerhistorische Forschung seit den 1990er Jahren an den sozialgeschichtlichen Forschungsansatz seines *opus majus* anknüpfen. Damit wende ich mich nun einer historiographischen Analyse der computerhistorischen Arbeiten Hartmut Petzolds zu.



Abb. 1: Petzold als Moderator der Abendveranstaltung mit den Pionieren Zuse, Zemanek, Bauer und Lehmann (v. rechts nach links) bei der Münchener Leitbild-Tagung 1993.

Prägende Faktoren und Leitfragen

Ich beginne, wie es sich für jede historiographische (Re-)Konstruktion gehört, mit der Frage nach dem prägenden Umfeld. Wichtig erscheinen mir dabei Petzolds Studium der Nachrichtentechnik an der TU Berlin zur Zeit der Studentenbewegung, seine zweijährige Tätigkeit als Entwicklungsingenieur in der Industrie, bei Bosch, die Rückkehr an die Freie Universität und dann an die TU Berlin zu einem Zweitstudium im Fach Geschichte, und zwar bei dem herausragenden Promotor einer neuen, einer sozialgeschichtlichen Technikgeschichte, Reinhard Rürup, der auch sein Doktorvater wurde. Alle Erfahrungsmomente haben ihre Spuren in der wissenschaftlichen Arbeit hinterlassen:

– Die Nachrichtentechnik hat das starke Interesse an der Bauelementebasis der Computertechnik und der Informationstechnik geweckt, die ein Leitthema von Petzolds Arbeiten geworden ist. Dazu kommen Fragen der Baukasten-Konstruktion, rationeller, fertigungsgerechter Konstruktionsmethoden und industrieller Massenproduktion bei den grundlegenden Technologien.⁵

5 Siehe u.a. Petzold, *Entstehung*, 1987; Ders., *Mechanisierung*, 1993; Ders., *Alternativen*, 2004.

- Das ingenieurwissenschaftliche Fundament und der praktische Umgang mit Technik bildeten den Ausgangspunkt für Petzolds Grundüberzeugung, dass Artefakte und deren fachgerechte Entschlüsselung Kern der Technikgeschichte sein sollen und dass diese nicht etwa nur als Illustrationsobjekte sozial- und geisteswissenschaftlicher Thesen zu dienen haben.
- Auf der anderen Seite haben Studentenbewegung inklusive ASTA-Tätigkeit, Erfahrungen im Berufsleben und das Geschichtsstudium die Aufmerksamkeit für die politisch-sozialen Implikationen und Folgen informationstechnischer Systeme und Artefakte geschärft, insbesondere für die Auswirkungen auf Arbeitsprozesse, Qualifikationsverschiebungen und politische Machtstrukturen, alles Leitfragen in Petzolds Studien. Hinzu kommt die Auseinandersetzung mit dem Nationalsozialismus und mit militärischen Einflüssen auf die Technikentwicklung, die im Hauptwerk und in vielen Aufsätzen eine große Rolle spielen.
- Gebündelt wurden diese Impulse und Fragestellungen durch den sozialgeschichtlichen Forschungsansatz in der Technikgeschichte, den in der BRD Mitte der 1970er Jahre vor allem Reinhard Rürup und Karin Hausen programmatisch entwickelten.⁶

Historiographisches Programm und Theoriebasis

Durch die Verbindung von Artefakt-Interpretationen mit sozialgeschichtlicher Orientierung entstand Petzolds Konzept einer ›Sozialgeschichte informationstechnischer Artefakte‹. Diese rankte sich anfangs zwar, ausgehend von Wilfried de Beauclairs Pionierwerk⁷, an den einzelnen Maschinentypen entlang, fragte aber jeweils nach den gesellschaftlichen Entstehungs- und Produktionsbedingungen, Anwendungskontexten und sozialen Folgewirkungen. Erst in der ›Buchfassung‹ löste sich Petzold von der Maschinenfolge als Skelett seiner sozialgeschichtlichen Analyse der Rechengerate-, Rechenmaschinen- und Computer-Entwicklung und rückte die politisch-gesellschaftlichen Triebkräfte und Anwendungszusammenhänge in den Vordergrund. Dabei wurde die in der Einleitung entwickelte »Theorie historischer Erfahrungsgänge« bzw. »Erfahrungsakkumulation« – eine für Dissertationen typische Ex-Post-Theoretisierung – nun zur Ordnung und Bündelung des empirischen Materials herangezogen.

Der Begriff des »Erfahrungsgangs« ist klar akteursorientiert. Er umfasst unterschiedliche Wissens- und Praxisformen und benennt Phänomene, die die Technikgeneseforschung später mit professionellen Kulturen, Konstruktionsstilen und Nutzungskulturen begrifflich fasst. Der Schwerpunkt liegt auf der Erfahrungsakkumulation im Entwicklungs- und Herstellungsbereich, aber über den Wandel der Gebrauchseigenschaften nach der Markteinführung sind auch Erfahrungsgänge in der Nutzungsphase immer präsent.

6 Hausen/Rürup, *Technikgeschichte*, 1975.

7 Beauclair, *Maschinen*, 1968; 2. Aufl. 2005.

Der Begriff der »Gebrauchswerteigenschaften«, die zentrale Behandlung der Übergänge von der handwerklichen und manufakturrellen zur industriellen Rechenmaschinenproduktion, sowie das Konzept der »Erfahrungsakkumulation« als technischer Entsprechung der Kapitalakkumulation verweisen dabei in die Richtung der Marxschen Produktivkraft-Theorie, die in den 1960/70er Jahren nicht zuletzt durch Rürup und Hausen, aber auch durch Nathan Rosenberg wieder für die Technikgeschichte entdeckt worden war.⁸ Doch mit dem analytischen Konstrukt eines Erfahrungsgangs als Vermittlungsinstanz zwischen Gesellschaftskräften und -strukturen und Technostrukturen verschaffte sich Petzold Raum für die sozialgeschichtliche Rekonstruktion von technischen, wissenschaftlichen und praxisbezogenen Lernprozessen. Denn für ihn bestimmt zwar der sozialökonomische Prozess die Rahmenbedingungen der bereichsspezifischen Produktivkräfte, doch determiniert er nicht die Formen der Wissensproduktion und Technikgenese. Erfahrung kann nur, so grenzt sich Petzold gegenüber ökonomistischen Positionen in der Technikgeschichtsschreibung ab, durch Menschen umgesetzt werden, die Nachverfolgung von Erfahrungsgängen ist daher wesentlich *Sozial*geschichte.



Abb. 2: Petzold führt die Teilnehmer der Münchener Leitbild-Tagung durch die Abteilung »Informatik und Automatik« im Deutschen Museum, 1993, neben ihm Heinz Zemanek.

Wie er sich immer gegen die Einordnung der Artefakte in »eindimensionale Entwicklungslinien« verwahrt, so lehnt er mit Blick auf die Vielfalt der Erfahrungsträger und Formen der Erfahrungsgänge auch die Mainstream-History ab, die, wie in der amerikanischen Computer-Geschichtsschreibung oft üblich, nur die erfolgreichen Entwicklungsstränge nachzeichnet. Im Gegensatz dazu betont er die Lerneffekte eines Studiums gescheiterter,

8 Rosenberg, *Marx*, 1976.

nicht realisierter oder ökonomisch wenig erfolgreicher Erfindungen und Projekte, die aber gleichwohl wichtige Marksteine technisch-wissenschaftlicher Entwicklung waren, obwohl sie manchmal nur in einem einzigen Exemplar existierten. Er streicht auch die Bedeutung der Bastler- und Amateur-Communities heraus, ebenso die wichtige Rolle von Meistern und Facharbeitern beim Anlauf der Fabrikation. Gegenüber der traditionellen Inventions- und Innovations-Geschichte, die mit der erfolgreichen Einführung einer Technik aufhört, insistiert Petzold auf die Einbeziehung der Etablierung und Vermassung von Produkten in die historische Analyse. Dabei geht es ihm vor allem um die dialektischen Zusammenhänge von qualitativer und quantitativer Technikentwicklung, insbesondere bei Bauelementen und IT-Geräten. Dies bleibt aktuell, da die meisten historischen soziologischen Technikanalysen die Diffusions-, Reife- und vor allem die Endphase von Techniken noch immer vernachlässigen.

Diese Ausführungen zum historiographischen Programm und zur Theoriebasis in Petzolds Arbeiten sollen genügen. Es bleibt festzuhalten, dass der theoretische Anspruch zwar vorhanden ist, dass Theorien aber immer nur eine dienende Rolle bei der Entschlüsselung der Artefakte in ihrem sozialen Umfeld spielen. Petzold arbeitet mit einer Bottom-Up-Theoretisierung und nicht, wie in der Technikgeneseforschung und Techniksoziologie vielfach üblich, mit einer Top-Down-Historie, bei der die Theorie die Empirie steuert bzw. subsumiert. Aus diesem theoretischen Ansatz heraus entwickelte er später am Deutschen Museum sein Konzept einer sozialgeschichtlichen Artefakt-Interpretation, die sich gleichermaßen von der vorherrschenden Textquellen basierten Computerhistorie wie auch von der technizistischen Apparate- und Maschinengeschichte absetzte:

Einmal entschlüsselt sind es die gesammelten Objekte selbst, die sich gegen ihre Einordnung in eindimensionale Entwicklungslinien sträuben. [...] Allerdings sind differenzierte Kenntnisse der Artefakte und das Wissen um ihre tatsächliche und auch ihre mögliche Rolle in ihrer historischen Umgebung erst sehr partiell entwickelt. Anders als in der Kunstgeschichte fristet die Interpretation technischer Artefakte in der akademischen Technikgeschichte ein zweitrangiges Dasein.⁹

Historische Erträge des Hauptwerkes

Die eigentliche Leistung des Petzoldschen Werkes ist die erste empirisch fundierte, detailliert rekonstruierte Gesamtdarstellung der Rechengenäte-, Rechenmaschinen- und Computergeschichte in Deutschland vom Ende des 19. Jahrhunderts bis 1960. Als Gesamtentwurf ist sie auch noch immer nicht übertroffen, auch wenn zu einzelnen Aspekten inzwischen neue oder genauere Erkenntnisse vorliegen. Bei welchen Themenkomplexen Petzold besonders anregend und weiterführend war, soll im Folgenden stichwortartig beleuchtet werden:

⁹ Petzold, *Leitbilder*, 1994, S. 88. Petzold trifft sich hier mit Mahoney, *Issues*, 1996, S. 772: »In short, the record of technology lies more in the artifacts than in written records, and historians have to learn to read the artifacts as critically as they do the records. [...] That is where museums play a central role in historical research.«

- a) In seinem ersten empirischen Kapitel liefert Petzold, ausgehend von de Beauclairs Zusammenstellung, das erste sozialgeschichtlich untermauerte Gesamtbild der analogen Rechentechnik in Deutschland von den frühen Planimetern und Integratoren bis zu den elektronischen Analogrechnern der 1950/60er Jahre. Dabei arbeitet er besonders die Zusammenhänge der Arbeitsweisen der verschiedenen Geräte mit den Qualifikationsanforderungen bei Entwicklern, professionellen und Laien-Nutzern heraus und macht zugleich deutlich, welchen Einfluss die Anschaulichkeit analoger Rechenverfahren für die lange Nutzungsphase dieser Geräte und Maschinen hatte. Ebenso zeigt er hier modellartig die Übergänge von der handwerklichen und kleinindustriellen Herstellung zur industriellen Fertigung und vor allem den grundlegenden Wandel dieses Zweiges der Rechentechnik durch die militärische Ausrichtung im Zweiten Weltkrieg.
- b) Im Kapitel über die mechanische und elektromechanische Rechenmaschinen-Entwicklung stellt er den Zusammenhang des Wandels der technologischen Basis, des Konstruktionsprozesses und der Fertigungsverfahren beim Übergang von feinmechanischen Werkstätten zur kleinindustriellen Serienproduktion und zur großindustriellen Massenproduktion heraus. Bemerkenswert finde ich darin die Ausführungen zur Entstehung einer feinwerktechnischen Konstruktionsmethodik und einer vergleichenden »Schalt- und Getriebelehre« bei Christel Hamann, Alexander Varren und Alfred Kuhlenkamp, denn die historischen Arbeiten zur Konstruktionslehre und -methodik lassen diesen Konstruktionsbereich meistens aus.
- c) Wie bei der Technologie Petzolds Aufmerksamkeit besonders der Ablösung mechanischer Getriebe durch elektrische Schaltvorgänge um 1930 gilt, so behandelt er auf der Geräteebene eine Reihe von Zwischenlösungen, die man mit dem Begriff eines »Zwischenbereichs zwischen Rechenmaschinen- und Computertechnik« kennzeichnen könnte, denn einen wirklichen Übergang gab es bekanntlich nicht. So führt er bei der Analogrechentechnik Weiterentwicklungen zu automatischen Ablaufsteuerungen vor, etwa die Photozellen gesteuerten Servomechanismen von Alfred Kuhlmann und Lochkartensteuerungen für die Einstellung beim zweiten »Differential Analyzer« von Vannevar Bush sowie die elektrische Verkopplung von Einzelgeräten mit – allerdings nicht realisierten – Programmiermöglichkeiten bei der Fortführung des Konzepts der ersten Bush-Maschine durch Alwin Walther und Wilfried de Beauclair am Institut für Praktische Mathematik (IPM) in Darmstadt. Bei den Rechen- und Buchungsmaschinen zeigt Petzold, wie Christel Hamann und Gustav Tauschek Übergangskonzepte zur Programmsteuerung realisierten: Hamann durch über Schrittschalter gesteuerte Rechenmaschinen für die Lösung linearer Gleichungssysteme und Tauschek durch Kopplung mehrerer Zählwerke mit Einstellwerk und gemeinsamem Summenwerk zu selbsttätigen Buchhaltungsmaschinen. Als ein weiteres Beispiel für diesen Ansatz wäre noch in den USA Irwin Travis zu nennen, der elektrisch verkettete Rechenmaschinen über Stecktafeln ablaufprogrammierte, ein Denkansatz der neben

Bushs »Differential Analyzer« grundlegend für die ENIAC-Entwicklung wurde.¹⁰ Im Bereich der Lochkartentechnik behandelt Petzold Leslie John Comrie, Wallace J. Eckert und die DEHOMAG D11, die einfache Formen der Programmsteuerung für zu Maschinenkomplexen integrierte Lochkarten- und Tabelliermaschinen schufen. Man könnte außerhalb der Rechenmaschinen noch die bedingungskombinatorischen Relaissteuerungen in den 1930er Jahren u.a. von Meiners und Piesch sowie die Konzepte von Wolfgang Schmid (AEG-Telefunken) zu »Programmreglern« und zu einer »Automatologie« anführen; ebenso die Ideen von Adolph de Leeuw in den USA zur Selbststeuerung von Bearbeitungszyklen von Werkzeugmaschinen, zumal de Leeuw für seinen Vorschlag von durch Buchstabencodes eingestellten Bearbeitungsschritten schon 1920/22 den Begriff der »program machine« eingeführt hatte.¹¹ Petzold hat das Fenster zur vergleichenden Erforschung von Ablauf- und Programmsteuerungen in der Zwischenkriegszeit aufgestoßen, aber hier wären weitere Forschungen nötig, um die Entstehung des modernen Computers auf einem breiteren Fundament hybrider Ansätze darzustellen.

- d) Im Kapitel über die Lochkartentechnik zeigt Petzold sehr deutlich die fließenden Übergänge zwischen betriebswirtschaftlichen Rationalisierungsstrategien auf der Basis umfangreicher Datenerfassung und Inventarisierung per Lochkarten und den Plänen zu einer vollständigen statistischen Beobachtung und Kontrolle der Bevölkerung im NS-System. Besonders eindringlich ist der Abschnitt über das »Maschinelle Berichtswesen« auf der Grundlage der Verkopplung von Lochkartenmaschinen und Fernschreibnetz. Ich habe diese Passage immer wieder in Veranstaltungen mit Elektrotechnikern verwendet, um das Zusammenspiel von technischen Kontrollpotentialen und politischem Interesse an umfassenden Massenbeobachtungs- und Kontrollsystemen zu demonstrieren.
- e) Aus dem langen Zuse-Kapitel geht, wenn man genau liest, bereits hervor, wie sehr auch Konrad Zuse mit seinen Ideen für Warenwirtschaftssysteme, Personalabrechnung und »Gefolgschaftskontrolle« unter dem Einfluss der Erfassungs- und Kontrollsysteme der Lochkartenwelt des Dritten Reiches stand. Interessanterweise wehrte sich Petzold bereits 1985/92 gegen überzogene Einschätzungen der Bedeutung Zuses, gleichzeitig jedoch auch gegenüber dessen Ausklammerung in vielen amerikanischen Darstellungen, indem er die einzelnen Entwicklungsschritte und Anwendungskonzepte aufzeigte und damit ein relativ präzises Bild der historischen Leistung Zuses gegeben hat. In einer Reihe weiterer Studien ist Petzold darüber hinaus der Frage nach den Gründen des schließlichen Scheiterns Zuses nachgegangen.¹²

10 Allison, *Interview*, 1988.

11 Meiners, *Technik*, 1936; zu Piesch siehe: Stanković/Astola, *Remarks*, 2008, S. 6; Schmid/Olk, *Maschinen*, 1939; Engel/Oldenbourg, *Regler*, 1944, S. 200–203; Schmid, *Arbeitsspiele*, 1941; Schmid, *Automatologie*, 1952; zu de Leeuw siehe Hellige, *Genese*, 2003, S. 49–51.

12 Petzold, *Mühlen*, 1998; Ders., *Konrad Zuse*, 2000, S. 315–322; Ders., *Konrad Zuse*, 2004.

- f) Im Schlusskapitel bezieht Petzold, für damalige Computergeschichten ungewöhnlich, auch die Programmiertechnik und Software mit ein. Er zeichnet die Entwicklungslinie vom Plankalkül über Rutishausers Rechenplanfertigung zur ALGOL-Entwicklung und zur Informatik-Institutionalisierung in Deutschland nach – und bricht dann ab. Dieser Abschnitt ist durch und durch von ›Bauerweisheiten‹ geprägt.¹³ Das Scheitern von ALGOL als allgemeinem Programmierkonzept wie der Niedergang der deutschen Computerindustrie und auch die Nach-Mainframe-Welt geraten nicht mehr in den Blick, wohl zurecht, denn hierfür hätten neue technische Entwicklungen, Akteurskonstellationen und Computerkulturen erforscht werden müssen, die außerhalb des Untersuchungsradius lagen.

Eine sozialgeschichtliche Ausrichtung der Geschichte des Computers und des Computings, wie Petzold sie exemplarisch entwickelt hat, ist m. E. nach wie vor von hoher Relevanz, da sie Fragestellungen bearbeitet, die andere Richtungen bzw. Leitkonzepte der Computergeschichte nicht erforschen. Dies zeigt ein kurzer Überblick über leitende Entwicklungsmodelle, Ordnungsprinzipien und Fragerichtungen der Computergeschichtsschreibung. Die folgende Aufstellung ist dabei weder vollständig noch ist sie als ein orthogonales Klassifikationsschema zu verstehen, da mannigfache Überschneidungen die Regel sind.



Abb. 3: Petzold mit Konrad Zuse bei einer Vorführung des Nachbaus der Z3 im Deutschen Museum, 1993.

13 Siehe dazu Bauer, *Zuse and Rutishauser*, 1980; Ders., *Algol-Verschöpfung*, 2004.

Leitkonzepte der Computergeschichte

Lange Zeit dominierte die *Computergeschichte als Arten-Genese des Geräte-, Maschinen- und Computer-Zoos*, in Linnéscher Ordnung, darwinistischer oder spezifisch definierter entwicklungslogischer Typenabfolge (wie z. B. die evolutionäre Bauformenlehre der historischen Schule der Rechnerarchitektur von Gordon C. Bell, Frederick P. Brooks und Gerrit Blaauw)¹⁴. Diese Betrachtungsweise überschneidet sich oft mit der *technologischen Computer-Geschichte*, bei der die Bauelemente-Generationen das Einteilungsprinzip der historischen Darstellung bilden,¹⁵ ebenso mit dem Ansatz der *Computergeschichte als fortgeschrittenstem Teil der Geschichte des Rechnens*, nach Michael Mahoney das Standard-Narrativ der Computer History, das ja auch im Deutschen Museum mustergültig vertreten ist.¹⁶

Die sich davon abhebende Konzeption, *Computergeschichte als Bestandteil der Entwicklung von Programmsteuerungen und Automaten* darzustellen, hat sich dagegen nicht so stark durchgesetzt. Hier war es vor allem Heinz Zemanek, der durch zahlreiche historische Studien die These untermauert hat, dass der Automat das Ziel der technischen Entwicklung ist und dass der Computer die »Krönung der Automatenbaukunst« ist.¹⁷ Hinzu kommen besonders in Frankreich einzelne Ansätze in der Tradition der »Automatique« von Leonardo Torres y Quevedo, z. B. die »Automatique« von Raymond Prudhomme und die Automaten-Geschichte von Devaux.¹⁸ Einen Niederschlag fand diese Sichtweise auch noch in der von Friedrich L. Bauer entworfenen und von Petzold weitergeführten Abteilung »Informatik und Automatik« im Deutschen Museum, in der Zemanek die Automaten-Abteilung konzipierte.¹⁹

Andere Auffassungen sehen die Computergeschichte als Bestandteil der Informationstechnologie-Entwicklung, etwa Steinbuch und Aspray, oder als Bereich der Informationsverarbeitung und des Dokumentationswesens. Letzteres hat vor allem Wolfgang Coy mit Blick auf den großen Anteil der Informationsbeschaffung per Computer als Neuausrichtung eingefordert.²⁰

In den letzten Jahrzehnten ist eine *medienhistorische Betrachtungsweise* hinzugekommen. Computer haben sich danach von Maschinen über Werkzeuge zu Medien entwickelt, die nach und nach alle anderen Medien in sich aufnehmen und so als Universalmedien das letzte Stadium der Mediengeschichte bilden. Ansätze zu einer solchen teleologischen Auffassung finden sich bereits in Alan Kays Traktaten der 1970er Jahre, doch erst seit den

14 Siehe dazu Hellige, *Genese*, 2004, S. 436–448, 454–459.

15 Vorndran, *Entwicklungsgeschichte*, 1982; Matis, *Wundermaschine*, 2002; Swedin/Ferro, *Computers*, 2005.

16 Mahoney, *History of Software*, 2008, S. 8–18, bes. S. 2; als Beispiele siehe: Goldstine, *Computer*, 1972; Augarten, *BIT*, 1984; Williams, *History*, 1985; 2. Aufl. 1997; Ifrah, *History*, 2001; Bauer u.a. *Informatik*, 2004; Ders., *Geschichte*, 2007; Naumann, *Abakus*, 2001; Davis, *Engines*, 2000; O'Regan, *History*, 2008.

17 Zu Zemanek siehe u.a. Goldscheider/Zemanek, *Computer*, 1971, bes. S. 3–17.

18 Torres y Quevedo, *Essais*, 1914; Prudhomme, *Construction*, 1962; Ders., *Automatique*, 1970/74; Devaux, *Automates*, 1941/60/67.

19 Weinhart, *Informatik*, 1990, bes. S. 11–17.

20 Steinbuch, *Gesellschaft*, 1966; Aspray, *History*, 1994; Coy, *Discipline*, 1997.

1990er Jahren entstanden elaborierte Konvergenztheorien, die die säkulare Medienentwicklung in einer »einzigsten Kommunikationsmaschine« münden lassen.²¹

Bei den gesellschaftsbezogenen Richtungen der Computergeschichte gibt es neben der *Sozialgeschichte des Computing* die seit langem etablierte *Computerindustrie- und IT-Branchehistorie*²² sowie seit den 1990er Jahren verschiedene kulturwissenschaftlich geprägte Richtungen. Die *Kulturgeschichte der Computer-Entwicklung und -Nutzung* begann mit kulturalistischen Ansätzen der Technikgeneseforschung (Thomas Parke Hughes, Werner Rammert, Meinolf Dierkes), bei denen es um regionale Technikstile, Konstruktionsstile, Technikkulturen, Leitbilder und Metaphern ging. Es folgten unter dem Einfluss Foucaults die Diskursanalyse bzw. Diskursgeschichte und die geisteswissenschaftliche Metaphern-Interpretation, etwa in Paul Edwards »Counterhistory« und in Jon Agars britischer Computergeschichte als Materialisierung der »Government Machine«, die interessante neue Sichtweisen erschlossen haben.²³ Im letzten Jahrzehnt kommen immer mehr Untersuchungen über PC-, Usenet- und Web-Kulturen hinzu, ebenso Studien über Produktmoden und Consumer Cultures. Hier stehen meist postmoderne Individualisierungs- und Differenzierungs-Bedürfnisse, identitätsstiftende Symbolwerte und Lifestyles im Vordergrund.²⁴

Sozialgeschichte des Computing als bleibendes Desiderat

Alle diese neueren Ansätze haben neue »histories of computing(s)«²⁵ entdeckt, darüber allerdings sehr oft sozioökonomische Zusammenhänge, die Arbeitssituation, Kontrollmöglichkeiten, Professionalisierungs- und Institutionalisierungsprozesse und überhaupt soziale Implikationen und Folgen ausgeblendet. Erst neuerdings ist in kulturwissenschaftlichen Studien eine gewisse Rückbesinnung auf gesellschaftliche Fragestellungen zu beobachten. Angesichts der gewaltigen Umwälzungen in der Arbeits- und Lebenswelt durch globale IT-Infrastrukturen sind sozialgeschichtliche Forschungsansätze notwendiger denn je. Denn neue Megaleitbilder wie Ubiquitous Computing und Cloud Computing, bei denen die Menschen im Alltag permanent mit IT-Dienstleistungen umsorgt werden und bei denen die bisherige PC-Internetwelt von gigantischen miteinander vernetzten Serverfarmen und IT-Fabrics abgelöst werden soll, enthalten umfassende Kontrollpotentiale. Vor diesem Hintergrund bilden historische Forschungen zum Computer als Kontrolltechnik, wie Petzold sie am Beispiel des Dritten Reiches vorgeführt hat, ein dringendes Desiderat. Auch der langfristige Wandel der Arbeitsstrukturen und -kulturen durch IT-Einsatz muss in Kooperation mit Soziologen wieder mehr erforscht werden. Schließlich sollte die Computerhistorie angesichts der ungeheuren Mengensteigerungen in der

21 Kay, *Computer*, 1972; Coy, *Vorgeschichte*, 1994; Winkler, *Docuverse*, 1997; Giesecke, *Mythen*, 2002; Robben, *Computer*, 2006.

22 Cortada, *Computer*, 1993; Ders., *Information*, 1996; Flamm, *Computer*, 1988; Zellmer, *Entstehung*, 1990; in gewisser Weise auch Ceruzzi, *History*, 1998.

23 Edwards, *World*, 1996; Agar, *Government*, 2003.

24 Markoff, *Dormouse*, 2005; Turner, *Counterculture*, 2006.

25 Mahoney, *Histories*, 2005.

IT-Geräteproduktion mit ihren beträchtlichen dissipativen Effekten auf die Umwelt und ihren Auswirkungen auf Material- und Energieverbrauch wieder mehr an Petzolds Überlegungen zur Vermassungphase von Techniken anknüpfen. Eine »Sozialgeschichte informationstechnischer Artefakte und Systeme«, die, wie Petzold es fordert, die technischen Strukturen, Bauweisen und Architekturen sorgsam entschlüsselt und dabei ihre Gesellschaftlichkeit ständig im Blick hat, ist somit weiterhin höchst aktuell.

Literatur

- Agar, Jon: *The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer*. Cambridge, MA, 2003.
- Allison, David: Interview with Eckert. Transcript of a video interview with Eckert by David Allison for the National Museum of American History, Smithsonian Institution on February 2, 1988; s. <http://americanhistory.si.edu/collections/comphist/eckert.htm> (Zugriff v. 3/2010).
- Aspray, William: *The History of Computing within the History of Information Technology*. In: *History and Technology* 11 (1994), H. 1, S. 7–19.
- Augarten, Stan: *BIT by BIT. An Illustrated History of Computers*. London/Boston/Sydney 1984.
- Bauer, Friedrich L.: *Between Zuse and Rutishauser – The Early Development of Digital Computing in Central Europe*. In: Metropolis, Nicholas C./Howlett, Jack/Rota, Gian-Carlo (Hg.): *A History of Computing in the Twentieth Century. A Collection of Essays*. New York/London 1980, S. 505–524.
- Bauer, Friedrich L.: *Die Algol-Verschwörung*. In: Hellige, Hans Dieter (Hg.): *Geschichten der Informatik. Visionen, Paradigmen und Leitmotive*. Berlin/Heidelberg/New York 2004, S. 237–254.
- Bauer, Friedrich L. u.a.: *Informatik. Führer durch die Ausstellung*, hg. v. Deutsches Museum. München 2004.
- Bauer, Friedrich L.: *Kurze Geschichte der Informatik*. München 2007.
- Beauchair, Wilfried de: *Rechnen mit Maschinen. Eine Bildgeschichte der Rechentechnik*. Braunschweig 1968; 2. Aufl. Berlin/Heidelberg/New York 2005.
- Blumtritt, Oskar/Petzold, Hartmut (Hg.): *Technohistory of Electrical Information Technology. Preliminary Papers*. München 1991.
- Ceruzzi, Paul E.: *A History of Modern Computing*. Cambridge, MA, 1998.
- Cortada, James W.: *Before the Computer: IBM, NCR, Burroughs, and Remington Rand and the Industry They Created, 1865–1956*. Princeton, N. J., 1993.
- Cortada, James W.: *Information Technology as Business History: Issues in the History and Management of Computers*. Westport, Conn., 1996.
- Coy, Wolfgang: *Aus der Vorgeschichte des Mediums Computer*. In: Bolz, Norbert/Kittler, Friedrich/Tholen, Georg Christoph (Hg.): *Computer als Medium*. München 1994, S. 19–37.
- Coy, Wolfgang: *Defining Discipline*. In: Freksa, Christian/Jantzen, Mattias/Valk, Rüdiger (Hg.): *Foundations of Computer Science. Potential, Theory, Cognition (Lecture Notes in Computer Science 1337)*. Berlin/Heidelberg/New York 1997, S. 21–35.
- Davis, Martin: *Engines of Logic. Mathematicians and the Origin of the Computer*. New York/London 2000.
- Devaux, Pierre: *Automates et automatisme*. Paris 1941, 1960, 1967.
- Edwards, Paul N.: *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge, MA, 1996.

- Engel, Friedrich V. A./Oldenbourg, R. C.: Mittelbare Regler und Regelanlagen: Grundlagen, Aufbau und Anwendung. Berlin 1944.
- Flamm, Kenneth: Creating the Computer: Government, Industry, and High Technology. Washington DC 1988.
- Giesecke, Michael: Von den Mythen der Buchkultur zu den Visionen der Informationsgesellschaft. Frankfurt a. M. 2002.
- Goldscheider, Peter/Zemanek, Heinz: Computer. Werkzeug der Information. Berlin/Heidelberg/New York 1971.
- Goldstine, Herman H.: The Computer from Pascal to von Neumann. Princeton, N. J., 1972.
- Hausen, Karin/Rürup, Reinhard (Hg.): Moderne Technikgeschichte. Köln 1975 (Neue Wissenschaftliche Bibliothek 81).
- Hellige, Hans Dieter (Hg.): Leitbilder der Informatik- und Computer-Entwicklung. Eine Tagung der Fachgruppe »Historische Aspekte von Informatik und Gesellschaft« der Gesellschaft für Informatik und des Deutschen Museums, München 4. – 6. Oktober 1993, Tagungsband. Dezember 1994 (artec-Paper 33). 480 S.
- Hellige, Hans Dieter (Hg.): Technikleitbilder auf dem Prüfstand. Das Leitbild-Assessment aus Sicht der Informatik- und Computergeschichte. Berlin 1996.
- Hellige, Hans Dieter: Zur Genese des informatischen Programmbegriffs: Begriffsbildung, metaphorische Prozesse, Leitbilder und professionelle Kulturen. In: Rödiger, Karl-Heinz (Hg.): Algorithmik – Kunst – Semiotik. Heidelberg 2003, S. 42–73.
- Hellige, Hans Dieter (Hg.): Geschichten der Informatik. Visionen, Paradigmen und Leitmotive. Berlin/Heidelberg/New York 2004.
- Hellige, Hans Dieter: Die Genese von Wissenschaftskonzepten der Computerarchitektur: Vom »system of organs« zum Schichtenmodell des Designraums. In: Hellige, Geschichten, 2004, S. 411–471.
- Ifrah, Georges: The universal history of computing: from the abacus to the quantum computer. New York u.a. 2001.
- Kay, Alan C.: A Personal Computer for Children of All Ages. Paper presented at the ACM National Conference. Boston 1972.
- Mahoney, Michael S.: Issues in the History of Computing. In: Bergin, Thomas J./Gibson, Richard G. (Hg.): ACM/SIGPLAN Second History of Programming Languages Conference. Cambridge, MA, 20–23 April 1993. Reading, MA/Menlo Park/New York 1996, S. 772–781.
- Mahoney, Michael S.: The Histories of Computing(s). In: Interdisciplinary Science Reviews 30 (2005), H. 2, S. 119–135.
- Mahoney, Michael S.: What Makes the History of Software Hard. In: Annals of the History of Computing 29 (2008), H. 3, S. 8–18.
- Markoff, John: What the Dormouse Said. How the Sixties Counterculture Shapes the Personal Computer Industry. New York/Toronto/London 2005.
- Matis, Herbert: Die Wundermaschine. Die unendliche Geschichte der Datenverarbeitung: Von der Rechenuhr zum Internet. Frankfurt a. M. 2002.

- Meiners, Gustav: Die Technik selbsttätiger Steuerungen und Anlagen: Neuzeitliche schaltungstechnische Mittel und Verfahren, ihre Anwendung auf den Gebieten der Verriegelungen und der selbsttätigen Steuerungen. München/Berlin 1936.
- Naumann, Friedrich: Vom Abakus zum Internet. Eine Geschichte der Informatik. Darmstadt 2001.
- O'Regan, Gerard: A Brief History of Computing. London/New York 2008.
- Petzold, Hartmut: Rechnende Maschinen. Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik (Technikgeschichte in Einzeldarstellungen 41). Düsseldorf 1985.
- Petzold, Hartmut: Zur Entstehung der elektronischen Technologie in Deutschland und den USA. Der Beginn der Massenproduktion von Elektronenröhren 1912–1918. In: Geschichte und Gesellschaft 13 (1987), S. 340–367.
- Petzold, Hartmut: Moderne Rechenkünstler. Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland. München 1992.
- Petzold, Hartmut: Mechanisierung und Automatisierung in der Rechenmaschinenteknik bis 1950 als Randbedingung für die frühen Arbeiten von Konrad Zuse. In: Deutsches Museum, Wissenschaftliches Jahrbuch 1992/93. München 1993, S. 186–209.
- Petzold, Hartmut: Leitbilder der Sammlung historisch-technischer Artefakte. Informatik im Deutschen Museum. In: Hellige, Leitbilder, 1994, S. 74–90.
- Petzold, Hartmut: Die Mühlen des Patentamts. Die vergeblichen Bemühungen Konrad Zuses, die programmgesteuerte Rechenmaschine patentieren zu lassen. In: Rojas, Raúl (Hg.): Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse. Berlin/Heidelberg/New York 1998, S. 63–108.
- Petzold, Hartmut: Konrad Zuse and Industrial Manufacturing of Electronic Computers in Germany. In: Rojas, Raúl/Hashagen, Ulf (Hg.): The First Computers – History and Architectures. Cambridge, MA/London 2000, S. 315–322.
- Petzold, Hartmut: Hardwaretechnologische Alternativen bei Konrad Zuse. In: Hellige, Geschichten, 2004, S. 79–138.
- Petzold, Hartmut: Konrad Zuse. Deutscher Ingenieur. In: Hoffmann, Dieter/Laitko, Hubert/Müller-Wille, Staffan (Hg.): Lexikon der bedeutenden Naturwissenschaftler in drei Bänden. Bd. 3: Men bis Z. München 2004, S. 500–506.
- Prudhomme, Raymond: La construction des machines automatiques (Information et Cybernétique). Paris 1962.
- Prudhomme, Raymond: Automatique 1, Systèmes séquentiels à niveau, systèmes asservis linéaires continus. Paris 1970; 2, Techniques binaires, systèmes asservis linéaires continus ou échantillonnés, systèmes asservis non linéaires, identification optimisation quadratique. Paris 1974.
- Robben, Bernard: Der Computer als Medium. Bielefeld 2006.
- Rosenberg, Nathan: Marx as a student of technology. In: Monthly Revue 28 (Jul/Aug. 1976), Nr. 3, S. 56–77; Neudruck in: Rosenberg, Nathan: Inside the Black Box: Technology and Economics. Cambridge, MA, 1982, Kap. 2.

- Schmid, Wolfgang/Olk, Friedrich: Fühlergesteuerte Maschinen. Essen 1939.
- Schmid, Wolfgang: Untersuchung der Arbeitsspiele der verschiedenen selbsttätigen Steuerungen im Fertigungswesen. In: *Feinmechanik und Präzision* 49 (1941), H. 6, S. 65–69.
- Schmid, Wolfgang: *Automatologie*. München 1952.
- Stanković, Radomir S./Astola, Jaakko, T./Karpovsky, Mark G.: Some Historical Remarks On Switching Theory, Paper 2008 (<http://mark.bu.edu/papers/200.pdf.pdf>, Zugriff v. 12/2009).
- Steinbuch, Karl: *Die Informierte Gesellschaft. Geschichte und Zukunft der Nachrichtentechnik*. Stuttgart 1966.
- Swedin, Eric G./Ferro, David L.: *Computers. The Life Story of a Technology*. Westport, Conn./London 2005.
- Torres y Quevedo, Leonardo: Essais sur l'automatique. Sa définition. Étendu théorique de ses applications. In: *Revue de l'Académie des Sciences de Madrid* (1914).
- Turner, Fred: *From Counterculture to Cyberculture: Stewart Brand, the Whole Earth Network, and the Rise of Digital Utopianism*. Chicago 2006.
- Vorndran, Edgar P.: *Entwicklungsgeschichte des Computers*. Berlin/Offenbach 1982.
- Weinhart, Karl (Hg.): *Informatik und Automatik. Führer durch die Ausstellung*, hg. v. Deutsches Museum. München 1990.
- Williams, Michael R.: *A History of Computing Technology*. Englewood Cliffs, N.J., 1985; 2. Aufl. 1997.
- Winkler, Hartmut: *Docuverse. Zur Medientheorie der Computer*. München 1997.
- 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*. Univ. Diss. Köln 1990.

Schriftenverzeichnis Hartmut Petzold

Monographien

- Rechnende Maschinen. Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik. Düsseldorf 1985 (Technikgeschichte in Einzeldarstellungen 41).
- Moderne Rechenkünstler. Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland. München 1992.
- Petzold, Hartmut/Aspray, William/Blumtritt, Oskar (Hg.) Tracking the History of Radar. Piscataway, N.J.: Institute of Electrical and Electronics Engineerings, Inc., 1994.

Aufsätze

- Konrad Zuse, die Technische Universität Berlin und die Entwicklung der elektronischen Rechenmaschinen. In: Rürup, Reinhard (Hg.): Wissenschaft und Gesellschaft. Beiträge zur Geschichte der Technischen Universität Berlin 1879-1979, Bd.1. Berlin/Heidelberg/New York 1979, S. 389-402.
- Die Entwicklung des »Standes der Technik« und der »Erfindungshöhe« beim Patentverfahren Z391, Dokumentation nach den Zuse-Papieren. In: GMD-Studien Nr. 59, St. Augustin 1981.
- Zählen – Speichern – Datentechnik. In: Museum für Verkehr und Technik. Schätze und Perspektiven. Ein Wegweiser zu den Sammlungen. Berlin 1983 (Berliner Beiträge zur Technikgeschichte und Industriekultur 1), S. 106–113.
- Rechtliche Verbindlichkeit und Informationstechnik. Historische Fallbeispiele. In: Technikgeschichte 52 (1985), S. 257–266.
- Technologiepolitik bei der Einführung der drahtlosen Telefonie in Deutschland und in den Vereinigten Staaten von Amerika. Zum Verhältnis von staatlicher Post und privater Wirtschaft. In: Hillmer, Hartmut (Hg.): Ingenieure in der öffentlichen Verwaltung. Aufgaben, Leistung, Anspruch. Vorträge und Diskussionen eines Symposiums am 15. und 16. April 1986 in Bonn, o. O.,o. J. [Düsseldorf 1987], S. 11–20.
- Petzold, Hartmut/König, Wolfgang: Elektrotechnik. In: Buddensieg, Tilmann/Düwell, Kurt/Sembach, Klaus-Jürgen (Hg.): Wissenschaften in Berlin. Bd. 2: Disziplinen. Berlin 1987, S. 172–177.
- Zur Entstehung der elektronischen Technologie in Deutschland und den USA. Der Beginn der Massenproduktion von Elektronenröhren 1912–1918. In: Geschichte und Gesellschaft 13 (1987), S. 340–367.
- 100 Jahre Hertzsche Wellen – Technische Nutzung einer physikalischen Entdeckung. In: Studienkreis Rundfunk und Geschichte, Mitteilungen 13 (1987), S. 370–379.
- Deutsch-Französische Rivalität und Zusammenarbeit bei der Errichtung des europäischen Telefonnetzes nach dem Ersten Weltkrieg. In: Cohen, Yves/Manfrass, Klaus (Hg.): Frankreich und Deutschland. Forschung, Technologie und industrielle Entwicklung im 19. und 20. Jahrhundert. München 1990, S. 263–280.

- Konrad Zuse – ein früher Wegbereiter des Computerzeitalters. In: Kultur & Technik 12 (1988), H. 3, S. 140–149.
- Zur Bedeutung der Bausteintechnik für die Entstehung des elektrischen Telekommunikationssystems. In: Technikgeschichte 3 (1988), S. 193–205.
- Die Geschichte des Transistors und die Veränderung der Medienkultur. In: Studienkreis Rundfunk und Geschichte, Mitteilungen 14 (1988), S. 331–338.
- Rechnerentwicklung in Deutschland in den dreißiger, vierziger und fünfziger Jahren. Maschinen als Marksteine technologischer Entwicklung. In: Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung (HMD). Praxis der Wirtschaftsinformatik 150, Nov. 1989, S. 77–85.
- Nipkowscheibe und Telstar. Stationen der Fernsehtechnik. In: Kultur & Technik 14 (1990), H. 3, S. 54–59.
- Informatik und Automatik, Deutsches Museum. Führer durch die Sammlungen, 3. Aufl. München 1991, S. 281–289.
- Technikgeschichte von Radio und Fernsehen (Bilanzpapier, 35 Seiten). In: Blumtritt, Oskar; Petzold, H. (Hg.): Workshop »Technohistory of Electrical Information Technology«, Deutsches Museum München 15.–19. Dezember 1990, als Manuskript vervielfältigt.
- Zeitzeichen. Entstehung und Wandel des Bewußtseins von Zeit. In: Kultur & Technik 17 (1993), H. 1, S. 22–27.
- Mechanisierung und Automatisierung in der Rechenmaschinentechnik bis 1950 als Randbedingung für die frühen Arbeiten von Konrad Zuse. In: Deutsches Museum, Wissenschaftliches Jahrbuch 1992/93, S. 187–205.
- Petzold, Hartmut/Brendel, K./Habinger, Otto: Die Uhrensammlung im Deutschen Museum. In: Uhren (1993), H. 2, S. 10–25, und H. 3, S. 10–25.
- »Die Charming Betty der anderen Art«. Der Preis für die exakte Bestimmung der geographischen Länge. In: Kultur & Technik 17 (1993), H. 3, S. 12–13.
- Some problems of radar systems historiography. In: Petzold, Hartmut/Aspray, William/Blumtritt, Oskar (Hg.) Tracking the History of Radar. Piscataway, N.J.: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1994, S. 247–266.
- Leitbilder der Sammlung historisch-technischer Artefakte. Informatik im Deutschen Museum. In: Hellige, Hans Dieter (Hg.): Leitbilder der Informatik- und Computer-Entwicklung. Eine Tagung der Fachgruppe »Historische Aspekte von Informatik und Gesellschaft« der Gesellschaft für Informatik und des Deutschen Museums, München 4. – 6. Oktober 1993, Tagungsband. Dezember 1994 (artec-Paper 33), S. 74–90.
- Maschinen zur Lösung verwickelter mathematischer Probleme. Versuch einer historischen Ortsbestimmung der elektrischen Rechenmaschine Wilhelm Cauers. In: Mathis, Wolfgang/Noll, Peter (Hg.): 2. ITG-Diskussionssitzung »Neue Anwendungen theoretischer Konzepte in der Elektrotechnik« mit »Gedenksitzung zum 50. Todestag von Wilhelm Cauer«, 21. u. 22. April 1995 in Berlin. Berlin 1996, S. 267–282.

- Slide rules in the Deutsches Museum. In: Proceedings of Third International Meeting of Slide Rule Collectors, Faber-Castell Castle Stein/Nürnberg, September 12, 1997, S. 19–21.
- Der Rechenriese. Die Maschine von John B. Wilbur. In: Kultur & Technik 21 (1997), H. 4, S. 28–29.
- Hardware, Software und anderes. Erfahrungen aus dem Deutschen Museum. In: Beiträge zur Geschichte von Technik und technischer Bildung 15 (1997), S. 58–67.
- Z22/Z23 – Konrad Zuses langer Weg zum elektronischen Computer. In: Methner, Horst u.a. (Hg.): Computer und Kybernetik. Anmerkungen zu ihrer Geschichte und zu Perspektiven in der Zeit von 1940 bis 1965. 3. Russisch-Deutsches Symposium, Heidelberg, 20.–21. November 1997, International Informatization Academy Moskau, Gesellschaft für Informatik Bonn. Bonn 1997, S. 135–142.
- Argumente der Sieger. Oder: Metamorphosen in der Informationstechnik. In: Kultur & Technik 22 (1998), H. 1, S. 42–45.
- Die Mühlen des Patentamts. In: Rojas, Raúl (Hg.): Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse. Berlin 1998, S. 63–108.
- Quarzeit, Uhrentechnik, Zeitmeßbürokratie. In: Grüttner, Michael/Hachtmann, Rüdiger/Haupt, Heinz-Gerhard (Hg.): Geschichte und Emanzipation. Festschrift für Reinhard Rürup. Frankfurt a. M./New York 1999, S. 553–569.
- Wer macht die Zeit? Der Sonnenuhrentypen im Deutschen Museum. In: Kultur & Technik 23 (1999), H. 3, S. 38–43.
- F. L. Bauer als Historiker. In: Arbeitspapiere des Münchener Zentrums für Wissenschafts- und Technikgeschichte, 1999, s. http://mzwgtg.mwn.de/arbeitspapiere/petzold_ (Zugriff v. 12.12.2010).
- Wilhelm Cauer and his mathematical device. In: Finn, Bernard (Hg.): Exposing Electronics. Amsterdam 2000 (Artefacts: Studies in the history of science and technology 2), S. 45–73.
- Erste Superhirne. Die PERM an der TH München. In: Kultur & Technik 24 (2000), H. 4, S. 33.
- Konrad Zuse and industrial manufacturing of electronic computers in Germany. In: Rojas, Raúl/Hashagen, Ulf (Hg.): The first computers – history and architectures. In: Cambridge, Mass./London 2000, S. 315–322.
- Z3 und Z4 von Konrad Zuse. In: Meisterwerke aus dem Deutschen Museum, Bd. 3, hg. v. Deutsches Museum. München 2000, S. 52–55.
- Die Zeit, die wir haben. Die neue Ausstellung »Zeitmessung« im Deutschen Museum. In: Kultur & Technik 25 (2001), H. 1, S. 22–29.
- Zeiten zur Jahrtausendwende. In: Kultur & Technik 25 (2001), H. 1, S. 4.
- IM 2001 im Deutschen Museum. In: Konrad-Klein, Jochen K./Kühn, Klaus/Petzold, Hartmut (Hg.): 7. Internationales Treffen für Rechenschieber- und Rechenmaschinensammler IM 2001. Wuppertal 2001, S. 6–10 (dt. u. engl.).
- Öffentliche und private Uhren in der Stadt. Uhren als Indizien für Veränderungen städtischen Umgangs mit der Zeit. In: Katzinger, Willibald (Hg.): Zeitbegriff. Zeit-

- messung und Zeitverständnis im städtischen Kontext. Linz 2002 (Beiträge zur Geschichte der Städte Mitteleuropas XVII), S. 107–128.
- Schiebereien. Aufstieg und Fall eines genialen Rechengegeräts. In: Kultur & Technik 26 (2002), H. 4, S. 54–57.
- Preserving Software in History Museum. Commentary on David K. Allison. In: Hasagen, Ulf/Keil-Slawik, Reinhard/Norberg, Arthur Lawrence (Hg.): History of Computing. Software Issues. International Conference on the History of Computing, ICHC 2000, April 5–7, 2000, Heinz Nixdorf MuseumsForum Paderborn. Berlin 2002, S. 273–274.
- Die Rechenmaschine von Anton Braun und Philippe Vayringe. In: Meisterwerke aus dem Deutschen Museum, Bd. 4, hg. v. Deutsches Museum. München 2002, S. 44–47.
- Sonnenuhren von Erasmus Habermel und Markus Purmann. Zwei kunstvolle Tischsonnenuhren um 1600. In: Meisterwerke aus dem Deutschen Museum, Bd. 5, hg. v. Deutsches Museum. München 2003, S. 48–51.
- Turmuhre aus dem 16. Jahrhundert, anonymer Meister. Werk einer eisernen Turmuhr mit Spindelgang und Waage. In: Meisterwerke aus dem Deutschen Museum, Bd. 5, hg. v. Deutsches Museum. München 2003, S. 52–55.
- Zeitmessung. In: Fehlhammer, Wolf Peter (Hg.): Deutsches Museum. Geniale Erfindungen aus Naturwissenschaft und Technik. München 2003, S. 120–123.
- Informatik. In: Fehlhammer, Wolf Peter (Hg.): Deutsches Museum. Geniale Erfindungen aus Naturwissenschaft und Technik. München u. a. 2003, S. 204–211.
- Chronometry. In: Fehlhammer, Wolf Peter (Hg.): Deutsches Museum. Ingenious Inventions and Masterpieces of Science and Technology. München u. a. 2003, S. 120–123.
- Computers. In: Fehlhammer, Wolf Peter (Hg.): Deutsches Museum. Ingenious Inventions and Masterpieces of Science and Technology. München u. a. 2003, S. 204–211.
- »Technikmuseum« – Begegnungen mit historisch-technischen Objekten im Deutschen Museum. In: Matthes, Michael/Weitze, Marc-Denis (Hg.): Science Center, Technikmuseum, Öffentlichkeit. Workshop »Public Understanding of Science« II, 3. Symposium »Museumspädagogik in technischen Museen« vom 9. bis 12. September 2001 im Deutschen Museum München. Berlin 2003 (Mitteilungen und Berichte aus dem Institut für Museumskunde, Staatliche Museen zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz 26), S. 15–21.
- Zur Gründung des Instituts für Maschinelle Rechentechnik. In: Hänseroth, Thomas (Hg.): Wissen und Technik. Studien zur Geschichte der TU Dresden. Köln/Weimar/Wien 2003, S. 189–211.
- Hardwaretechnologische Alternativen bei Konrad Zuse. In: Hellige, Hans Dieter (Hg.): Geschichten der Informatik. Visionen, Paradigmen, Leitmotive. Berlin u. a. 2003, S. 79–138.
- Vorwort zur deutschen Ausgabe. In: Ceruzzi, Paul E.: Eine kleine Geschichte der EDV. Bonn 2003, S. 13–16.
- Olympische Zeitmessungen. In: Kultur & Technik 28 (2004), H. 3, S. 22–27.

- Eine Informatiktagung vor der Gründung der Informatik. Die Darmstädter Konferenz von 1955. In: Seising, Rudolf/Folkerts, Menso/Hashagen, Ulf (Hg.): Form, Zahl, Ordnung. Studien zur Wissenschafts- und Technikgeschichte. Wiesbaden 2004 (Festschrift für Ivo Schneider zum 65. Geburtstag), S. 759–782.
- Konrad Zuse. Deutscher Ingenieur. In: Hoffmann, Dieter u. a. (Hg.): Lexikon der bedeutenden Naturwissenschaftler in drei Bänden, Bd. 3. Heidelberg 2004, S. 500–506.
- Scherbius, Arthur. Ingenieur, Erfinder 1879–1929. In: Neue Deutsche Biographie, Bd 22. Berlin 2005, S. 685–686.
- Der Computervater als Mechaniker. Konrad Zuse (1910–1995) im Deutschen Museum. In: Kultur & Technik 30 (2006), H. 2, S. 36–39.
- Handwerk mit goldenem Boden. Der Münchner Uhrmacher und Mechaniker Joseph Liebherr (1767–1840). In: Kultur & Technik 30 (2006), H. 3, S. 22–28.
- Zum Beitrag von Nikolaus Joachim Lehmann für die Herausbildung der Informatik in der DDR. In: Naumann, Friedrich/Schade, Gabriele (Hg.): Informatik in der DDR – eine Bilanz. Bonn 2006 (GI-Edition Lecture Notes in Informatics, Thematics, Series of the Gesellschaft für Informatik), S. 104–115.
- Die ständige Ausstellung »Informatik« im Deutschen Museum. In: Bauer, Friedrich L. (Hg.): 40 Jahre Informatik in München: 1967–2007. München 2007 (Festschrift der Fakultät für Informatik der TU München, Informatik-Club e.V.), S. 259–264.
- Zur Ausschmückung des Ehrenhofs und des Kongreßsaals des Deutschen Museums, 1928 bis 1958. 51 S., s. <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/artdok/volltexte/2008/607/> (Zugriff v. 12.12. 2010)
- German Bestelmeyer und der zweite Bauabschnitt des Deutschen Museums. In: Vaupel, Elisabeth/Wolff, Stefan L. (Hg.): Das Deutsche Museum in der Zeit des Nationalsozialismus. Eine Bestandsaufnahme. Göttingen 2010 (Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte 27), S. 287–319.
- Konrad Zuse – ein Computerpionier. In: Füßl, Wilhelm (Hg.): 100 Jahre Konrad Zuse. Einblicke in den Nachlass. München 2010, S. 12–21.
- Die Maschine »Z«. Dem Computerpionier Konrad Zuse zum 100. Geburtstag. In: Kultur & Technik 34 (2010), H. 3, S. 2–7.

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