TEKST NR 64 1983

Bernhelm Booss
Jens Høyrup

Von Mathematik und Krieg

Über die Bedeutung von Rüstung und militärischen Anforderungen für die Entwicklung der Mathematik in Geschichte und Gegenwart

TEKSTER fra

IMFUFA ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde

VON MATHEMATIK UND KRIEG - über die Bedeutung von Rüstung und militärischen Anforderungen für die Entwicklung der Mathematik in Geschichte und Gegenwart.

af Bernhelm Booss og Jens Høyrup

IMFUFA tekst nr. 64/83, RUC. 66 sider. ISSN 0106-6242

ABSTRACT:

Teksten omhandler forholdet mellem matematik og krig. At visse matematiske discipliner og teknikker har betydning for den moderne krig anses for velkendt og belyses kun i mindre omfang. Det er derimod mere tvivlsomt om matematikkens udvikling som helhed, som det er blevet påstået, afhænger af militære stimuli. Dette spørgsmål underkastes derfor en nøjere undersøgelse, såvel historisk som systematisk.

Den historiske undersøgelse giver hverken grundlag for dæmonisering eller fuld frikendelse af matematikken. Matematikkens militarisering vises at være et historisk set forholdsvis nyt fænomen, hvis principielle træk drages frem i den systematiske analyse af den nuværende matematik som netværk af grundforskning, anvendelse og uddannelse, i disses relationer til samfundet i dets helhed af politik, økonomi, teknologi, rustning og etik.

Für

Horst-Eckart Gross, Überblick schaffender Mathematiker, Berufsverbot in der Bundesrepublik Deutschland seit 1977

und

John Lamperti, den Gegenexperten

Das Folgende behandelt das Verhältnis zwischen Mathematik und Rüstung. Dieses Problem ist zweiseitig. Ein Aspekt ist die Bedeutung der Mathematik für die Rüstung und für die Kriegsführung. Der andere ist die Bedeutung der Rüstung für die Mathematik.

Das erste Problem behandeln wir nur als sekundäres Thema; wir wissen alle, dass die moderne Rüstung alles frisst, was sich als Nahrung anbietet: Wissenschaft, Geld, Leute ... Wir wissen auch, dass die moderne Rüstung und der moderne Krieg technologie-intensiv und damit unter den heutigen Bedingungen auch wissenschafts-intensiv sind und dass die moderne Wissenschaft sowie moderne Technologien (und ebenso viele Soziotechnologien, die ja auch in der Kriegsführung Anwendung finden) kreuz und quer mathematisiert sind.

*Wenden wir uns statt dessen der anderen Seite zu, der Bedeutung der Rüstung für die Wissenschaften, besonders die mathematischen Wissenschaften *). Man kann die Frage-*

... dass die moderne Rüstung alles frisst ...

Z.B. frisst die Raketenlenkung Systemtheorie und Kontrolltheorie, d.h. die Gruppe 93 der Mathematical Reviews. Zivil werden diese Theorien übrigens auch z.B. für die Prozesssteuerung von Fertigungsprozessen (chemische Fabriken, Brauereien, Walzwerke, Industrieroboter usw.) und für die Optimierung von Messgeräten verwendet.

Eine Durchsicht dieser Referatgruppe für einen Jahrgang (1981) zeigt, dass die folgenden Schlüsselworte am häufigsten vorkommen:

Approximation, Charakteristik, Differenzengleichung, Differentialgleichung, Dimension, Eigenschwingung, Fehler, Filter, Frequenz, Graph, harmonische Linearisierung, Information, Konvergenz, Korrektur, Korrelation, Krümmung, Nichtlinearität, Ordnung, Parameter, Phasenraum, Prozess, Randbedingung, Regelung, Selbstregelung, Singularität, Stabilität, Störung, Symmetrie, Turbulenz, Übergangsprozess, Variable, Verteilung, Verzögerung, Wahrscheinlichkeit, Zufall, Zustand.

Also Terme, die wahrlich auf eine Vielfalt von gefressenen Disziplinen hinweisen.

---

*) Wenn wir im Folgenden von Mathematik sprechen, ist also die Mathematik als Wissenschaft, d. h. als Schaffen von neuer Erkenntnis, gemeint. Die Mathematik als Unterrichtsgegenstand und als Mittel für Anwendungen werden wir nur in ihrer Verbindung mit der Mathematik als Wissenschaft betrachten.

stellung verkürzt so formulieren, ob die Wissenschaft mit echtem oder mit falschem Geld bezahlt wird, wenn sie sich von dem Rüstungssektor bestechen lässt? Ohne Bildsprache ausgedrückt: Wird die Mathematik als Wissen und als Wissenschaft durch ihre Verflechtung mit der Rüstung gefördert, oder wird sie in ihrer Entwicklung gehemmt?

Zuerst untersuchen wir diese Frage historisch in mehreren Stufen. Das erste Kapitel präsentiert die Phänomenologie, d. h. eine Nachzeichnung des geschichtlichen Verlaufs der Verbindung von Mathematik und Rüstung bis zum 18. Jahrhundert, zumeist in Einzelbeispielen. Das zweite Kapitel versucht, prinzipielle Strukturen in dieser Phänomenologie nachzuweisen. Kapitel 3 behandelt das "Vorspiel" der wissenschaftlich-technischen Revolution im 19. Jahrhundert: Der Versuch, im Kontext der französischen Revolutionskriege die Kriegsführung auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen; und die Ausarbeitung der Voraussetzungen für die spätere Verwissenschaftlichung der gesellschaftlichen Gesamtpraxis in Wissenschaft, Volks- und Kaderbildung, Technologie und sozialen, ökonomischen und politischen Gesellschaftsstrukturen.

Nach diesem "Vorspiel" erörtern wir in Kapitel 4 den Anfang des eigentlichen Dramas, die Zeit der beiden Weltkriege, wo die Verwissenschaftlichung des Krieges implementiert wurde; wo die Totalität des Krieges im Sinn der totalen Ausnutzung der in der heranreifenden wissenschaftlich-technischen Revolution geschaffenen gesellschaftlichen Ressourcen für die Kriegsführung angenähert wurde; und wo sich eben die Heranreifung der wissenschaftlich-technischen Revolution durch gezielte Ausnutzung ihrer Möglichkeiten in zwei blutigen Etappen entwickelte.

Aus der historischen Untersuchung entsteht kein einfaches Bild. Es gibt weder eine Grundlage für die Dämonisierung der Mathematik als schicksalhaft mit dem Krieg verbunden, noch - nach dem Durchbruch der wissenschaftlich-technischen Revolution - für ihre blauäugige Freisprechung. Für ein analytisches Verständnis der heutigen Verhältnisse zwischen der Mathematik und ihren militärischen Stimuli

und Anwendungen muss man die konkreten Phänomene der Gegenwart untersuchen und in einen theoretischen Rahmen bringen, der Mathematik als Wissenschaft, als Ausbildungsgegenstand und als Mittel für Anwendungen mit dem Milieu der Mathematiker, mit der Funktionsweise der militärischen Strukturen und mit der gesellschaftlichen Gesamtheit in Verbindung bringt. Das versuchen wir in Kapitel 5 .

Die Frage nach der Einwirkung des Krieges auf die Entwicklung der Mathematik - "Mathematik durch Krieg oder durch Frieden ?" - ist natürlich nur der kleinere Teil des Problemes. Auch für Mathematiker ist ja das Uberleben die grosse Frage , also "Mathematik für Krieg oder für Frieden ?" Im Prinzip sollten hier alle einig sein. Was kann und was soll man aber als Mathematiker machen ? Das ist die Fragestellung unseres Schlusskapitels, wo wir versuchen, aus dem empirischen Material und den theoretischen Uberlegungen der vorangehenden fünf Kapitel ethische Forderungen und Handlungsmöglichkeiten abzuleiten.

Mathematischer Fortschritt durch Frieden oder durch Kriegsvorbereitung und Krieg?

Oft haben wir gehört, dass die Entwicklung der modernen Wissenschaft und insbesondere die Entwicklung der modernen Mathematik eng mit der Rüstung verbunden sei. Wir hören sogar, dass diese Verbindung die wesentlichste Bedingung für den wissenschaftlichen Fortschritt sei.

Wäre das wahr, so wäre die gesamte Zukunft der Mathematik, der anderen Wissenschaften und der ganzen technischen Zivilisation sehr problematisch: Entweder rüsten wir unsere Zivilisation zu Tode - oder wir gehen im Fall der Abrüstung einem Zeitalter der Stagnation entgegen. Klar ist aber, dass sich die globalen Probleme von heute nicht durch die heute schon existierende Wissenschaft beseitigen lassen. Klar ist auch, dass die 5 - 10 Milliarden Menschen des ausgehenden 20. Jahrhunderts sich kein akzeptables Leben durch die einfache Abschaffung der modernen Wissenschaft schaffen werden. Die wissenschaftliche Stagnation führte also in eine unerträgliche Situation

(besser: sie würde uns nicht erlauben, aus der gegenwärtigen untragbaren Situation herauszukommen). Das Dilemma - Krieg oder Hunger und ökologische Katastrophe - erscheint unausweichlich und nicht lösbar.

Ist aber der Voraussetzung des Dilemmas wirklich zu trauen?

In einigen Darstellungen der Wissenschaftsgeschichte hört man auch, dass die Mathematik und die anderen Wissenschaften seit eh und je mit dem Krieg verbunden seien. Die Auseinandersetzung mit dieser Behauptung wird uns vielleicht helfen, die gegenwärtige Situation besser zu verstehen und die Realität des Dilemmas zu bewerten.

Wir danken der Universität Oldenburg, die mit der Einladung zum Symposium "Militärische Einflüsse auf die Wissenschaft und militärische Anwendung ihrer Ergebnisse" (Ossietzky-Tage, 3.-4. Mai 1982) den Anstoss zu unserer Untersuchung gab, und Christina Palmquist und Birthe Holm, die mit grosser Geduld und Geschicklichkeit die Schreibarbeiten übernahmen.

1. Die Beispiele der Geschichte

Die Geschichte bietet gewisse Beispiele, die die gerade erwähnte populäre Behauptung unterstützen.

Schon die Babylonier hatten, was Neugebauer (1933) "Belagerungsrechnung" nennt. Sie ist aber, wenn man die Texte näher analysiert, nur ein Anwendungsbereich unter vielen für die ansonsten gleichen mathematischen Techniken: Ziegel sind Ziegel, und Erdvolumina sind Erdvolumina - ob es sich um den Aushub von Kanälen, den Bau von Tempelanlagen oder die Anlage von Rampen handelt. Man findet in Babylonien weder besondere militärisch inspirierte mathematische Techniken noch eine militärische Gesamtprägung der Mathematik.

Auch die Griechen wussten, dass man mit Mathematik Kriege besser führt. Platons "Sokrates" weist (Der Staat 525 b) darauf hin, dass der Feldherr für die Aufstellung seiner Truppen Arithmetik und Geometrie braucht. Gewisse "Zimmertaktiker" ("tacticiens en chambre" - Aujac 1975:163) haben sogar den Versuch gemacht, die Taktik als mathematische Disziplin zu verteidigen, weil dort z.B. das isoperimetrische Problem Anwendung findet. Aber wie Geminos, der ihren Gesichtspunkt damals diskutierte, richtig sagt, handelt es sich dabei nur um die Anwendung schon bekannten mathematischen Wissens. (Fragment über die mathematischen Wissenschaften, in: G. Aujac 1975:114).

Ernster zu nehmen ist die systematische Entwicklung militärischer Technologie in Alexandrien (B. Gille 198o). Diese Technologie verwendete das zugängliche mechanische und elementarmathematische Wissen der Zeit und kombinierte es in einem neuen Wissenszweig. Auch kann man gewisse Teile von Herons Arbeit (Metrikon, Dioptra, Einleitungsparagraphen) als den Versuch auffassen, die vorhandene Praxis durch die Entwicklung einer "praktischen Mathematik" als Teilgebiet der Mathematik zu verbessern.

Über den islamischen Kulturkreis ist dieser Komplex von

angewandter Mathematik und (u.a. militärisch inspirierten) Techniken in transformierter Form in die Neuzeit übertragen worden.

Im Mittelalter war die Mathematik in Europa nur ein Teil der Bildung, weder von der Kriegstechnik beeinflusst noch die Kriegstechniken befruchtend. Erst in der Renaissance finden wir wieder, auf einer höheren Ebene, die alte alexandrinische Synthese zwischen einerseits Technologien, über die theoretisiert wird, und andererseits angewandter Mathematik: Architektur; Perspektivtheorie und Malerei; Ballistik und Artillerie; Kartenzeichnen; Buchführung; kaufmännische Umrechnungen und Algebra. Wir finden auch eine hohe Einschätzung der Möglichkeiten der Mathematik in aller Praxis, gelegentlich eine phantastische Überschätzung. So wohl bei Tartaglia (Nova Scientia in: S. Drake & I.E. Drabkin 1969:68), der seine neue (falsche) Theorie der Ballistik lange verbarg, um nicht "die Ausrottung der menschlichen Art, insbesondere der Christen in ihren ewigen Kriegen" zu fördern. So gewiss in der gelehrten Magie, die in der Renaissance ganz platonisiert und mathematisiert wurde (cf.z.B. P.J. French 1972:89-125). Unser mo-

Tartaglia, die Ballistik und die Verantwortung der Wissenschaft

"Durch diese Entdeckungen beabsichtigte ich, Regeln für die Kunst des Kanoniers zu geben.... Aber dann kam mir eines Tages der Gedanke, es sei ein schändliches Ding, zu verurteilen - grausam und keine kleine Strafe durch Gott wert, wenn man eine so verdammenswürdige Übung untersucht und verbessert, Ausrotter der menschlichen Art, insbesondere der Christen in ihren ewigen Kriegen. Deshalb, oh erlauchter Fürst, habe ich nicht nur das Studium solcher Sachen vollständig beiseite gelegt und mich anderen Studien zugewendet, sondern auch alle meine Berechnungen und Notizen über diesen Gegenstand vernichtet und verbrannt. Ich habe sehr die für diesen Gegenstand verwendete Zeit bedauert und bereut; und die Einzelheiten, die (gegen meinen Willen) in meinem Gedächtnis verblieben, beabsichtigte ich, niemals jemandem niederzuschreiben, weder aus Freundschaft noch für Geld (obwohl viele mich dazu aufgefordert haben), weil solche Lehre mir zu Katastrophen und grossem Unrecht zu führen schien.

Jetzt aber, wo der Wolf [d.h. die Türken] begierig ist, unsere Herde zu reissen, und alle Hirten zur Verteidigung eilen, erscheint es mir nicht mehr länger zulässig, diese Dinge verborgen zu halten."

Niccolo Tartaglia, Nova scientia, Vorwort (1537); zitiert nach Drake und Drabkin 1969:68f.

derner Skeptizismus gegenüber dem Erfolg der Magie lehrt uns vielleicht, auch die postulierten Erfolge der Mathematik in anderen, eigentlicheren Renaissance- und frühneuzeitlichen Technologien nochmals zu überdenken.

Für die Entwicklung der Mathematik war jedoch der Unterschied zwischen Hochschätzung und Überschätzung nicht entscheidend, solange nur an die Effektivität der Mathematik in Wissenschaft und Technik geglaubt wurde. Man hat lange diskutiert, welche Rolle die Praxis für die Entwicklung der Wissenschaften in der Renaissance und in der frühen Neuzeit genau gespielt hat. Keiner wird jedoch leugnen, dass die Praxis die Wissenschaft, darunter die Mathematik, beeinflusst hat. Im selben Mass, wie die Kriegsführung in der Renaissance ein Teil der bewussten gesellschaftlichen Praxis war, hat sie dann auch ihre Rolle für die Entwicklung der Wissenschaften und der Mathematik gespielt.

Diese diffuse Wechselwirkung zwischen einer gesamten gesellschaftlichen Praxis und dem Netzwerk der mehr oder weniger mathematisierten Wissenschaften bestand und besteht noch, und wir werden sie hier nicht weiterdiskutieren. Wenn wir uns vorläufig auf die Periode bis zur grossen französischen Revolution beschränken, können wir jedoch auch auf mehrere Fälle gezielter Förderung der Wissenschaften und insbesondere der Mathematik durch militärische Anforderungen verweisen.

Erstens gibt es die systematische Entwicklung mathematischer Kenntnisse am portugisischen Hof des 15. Jahrhunderts (Heinrich des Seefahrenden) (cf. H.E. Gross 1978: 246-248). Dazu stellt Horst-Eckart Gross fest:
"Ob nun die strikte Geheimhaltungspolitik Portugals dazu beigetragen hat, dass eine Kommunikation mit den anderen wissenschaftlichen Zentren Europas unterblieb und sich dies negativ auf die Mathematik ausgewirkt hat, oder ob die enge Ausrichtung auf die Praxis lediglich dazu führte, dass man sich mit den Problemen der Mathematik beschäftigte, die man gerade brauchte, und so sich die Mathematik insgesamt nicht entwickeln konnte, festzuhalten bleibt, dass dieser Ansatz für eine enge Verbindung von Mathematik

mit der Praxis trotz günstiger Bedingungen keine bemerkenswerten Impulse für die Entwicklung der Mathematik auslöste, bzw. ermöglichte." (S. 248).(Schon an dieser Stelle möchten wir festhalten, dass diese Bemerkung von Horst-Eckart Gross für die Erörterung gegenwärtiger Kriegsforschung wesentliche Bedeutung hat.)

Die Anfänge der englischen kolonialen Expansion bauten wie die portugiesische auf gezielte Sammlung, Entwicklung und Vermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse - nicht nur der mathematischen Navigation wie in Portugal, sondern von Wissen aller Art (cf. P.H. Kristensen 1982: 6o). Das zeigte sich in der elisabethanischen Epoche, und war die klare Inspiration für Bacons universalwissenschaftliches Programm. Cambridger Mathematiker nahmen an Seereisen teil (Marie Boas 197o: 191) - ebenso wie Botaniker und viele andere Wissenschaftler.

Das enzyklopädische elisabethanische Programm wiederholte sich in den Ideen hinter der Royal Society und den verschiedenen staatlichen Wissenschaftlichen Akademien des 17. und 18. Jahrhunderts, die der systematischen Erzeugung wissenschaftlicher Erkenntnisse dienten - zur Stärkung des Staates und der Ökonomie. Eines der Mittel dafür war die Ausschreibung von Preisaufgaben, die häufig mathematische Antworten auf Fragen von technischem Interesse forderten. Da die Stärke des Staates militärisch definiert war und die Preise im Vergleich zu einem Professorenjahreslohn gross sein konnten, wurden dadurch die Akademien zu Übersetzern militärischer Anforderungen an die Wissenschaft.

Man findet auch die direkte Bestellung von Forschungen. Hookes Gesetz war vermutlich ein theoretischer Spin-off von empirischen Elastizitätsuntersuchungen im Auftrag der Royal Society (R.K. Merton 1970: 178 f). Hooke erhielt den Auftrag zu diesen Untersuchungen, weil die Kriegsmarine Holzeinsparungen im Schiffbau wünschte.

Erwähnen wir schliesslich die Offizierausbildung. (Ähnliches lässt sich über die Ausbildung der Seeoffiziere der

Robinson und die Mathematik

Über seine Seemannsausbildung erzählt bei Defoe Robinson Crusoe fast nur dies:

"[Von meinem Freund, dem Kapitän] bekam ich einen guten Einblick in Mathematik und Navigation, lernte den Kurs eines Fahrzeugs zu berechnen und eine Observation zu nehmen und wurde in andere Dinge eingeführt, die ein Seemann kennen muss."

Auf seine Insel gekommen erzählt er:

"Da die Grundlage der mathematischen Wissenschaft auf gesunder Vernunftruht, muss jeder Mensch bei vernünftigem Berechnen und Anpassen von allem mit der Zeit so weit kommen können, dass er Fähigkeit in jeder mechanischen Kunst, die er zu erlernen versucht, erwirbt. Ich hatte in meinen Tagen nie ein Stück Werkzeug gebraucht - und doch kam ich schliesslich so weit, dass ich bei Fleiss, Übung und Findigkeit alles herstellen konnte, was ich brauchte."

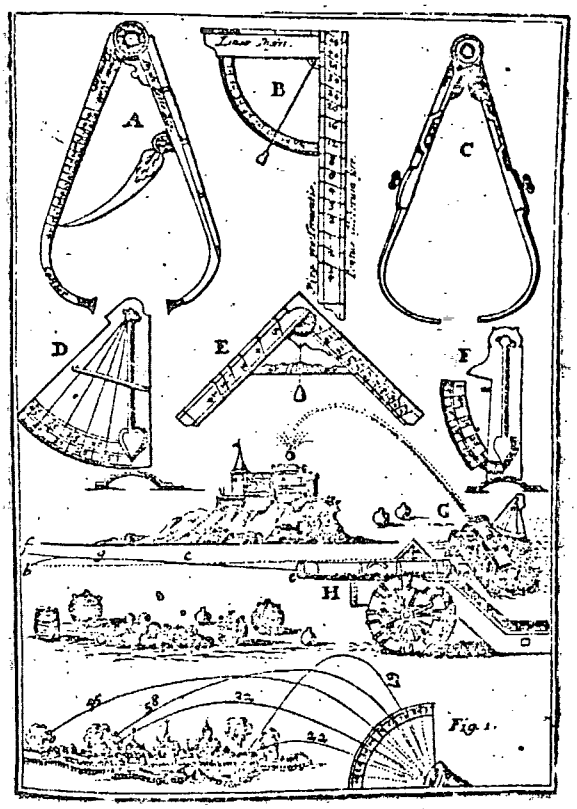
Defoe, Robinson Crusoe (1719); zitiert nach Defoe 1975:17, 62.

"Wer seinen Beruf lernt, lernt Mathematik." Und wer die einfache Seeoffiziersmathematik lernt, lernt - Defoe zufolge - dadurch eigentlich alles.

Handels- und Kriegsmarine berichten). In der meisten Literatur aus dem 17. und 18. Jahrhundert, wo militärische Fragen berührt werden, wird die Mathematik immer als bedeutungsvoll dargestellt. Wer als Offizier seinen Beruf lernt, lernt Mathematik. (So auch Robinson Crusoe bei Defoe). Aber welche Mathematik und wofür?

Zwei Zweige sind wichtig. Der eine ist die Fortifikationsrechnung, mit der die komplizierten vieleckigen Befestigungsanlagen des 17. und 18. Jahrhunderts unter den geometrischen Bedingungen des zu befestigenden Objekts und der Geschütze optimiert wurden. (cf. I. Schneider 197o: 223-227). Das geschah mit Hilfe von mathematischen Tabellen, also arithmetisch, und wurde an den Offiziersschulen, besonders an den französischen Écoles d'Artillerie gelehrt.

Der andere, an den Écoles d'Artillerie ebenso mit grossem theoretischen Anspruch gelehrte Zweig ist die Ballistik auf der Grundlage der Galileischen Parabeltheorie (Charbonnier 1927:1o18-1o4o; I. Schneider 197o:222 f). Auch hier wurden für die Berechnungen umfangreiche mathematische Tabellen



Arbeitsgeräte und Probleme der Offiziersmathematik. Aus Nicolas Bion, Traité... des instruments de mathématique (Paris 1709); nach Schneider 1970: 222.

benötigt, u.a. weil die Geschwindigkeit des Projektils als Funktion der Pulvermenge selbst unter der Annahme gleicher Projektile unbekannt war. Am Ende des 18. Jahrhunderts wurde auf der Grundlage einer zwar falschen, aber mit Quadraturen berechenbaren Theorie des Luftwiderstandes die Infinitesimalrechnung einbezogen.

Für Fortifikation und Ballistik waren alle Arten von Geodäsie und die dafür benötigten Kenntnisse über Trigonometrie, Logarithmen und Analog-Recheninstrumente fundamental.

2. Was lehren die Beispiele?

Wir haben gesehen, dass es in der Antike eine Wechselwirkung zwischen mathematischer und militärtechnischer Entwicklung gab. Aber wie bedeutend war sie? Wer denkt als erstes bei der Betrachtung der griechischen Mathematik an

Herons Metrikon - und nicht an Eudoxos, Euklid, Archimedes, Apollonios, Ptolemaios oder Diophant?

Ähnliches gilt für die Renaissance. Von den vielen Zweigen der angewandten Mathematik, die in der Renaissance vorangetrieben wurden, wurde nur die Algebra für den gesamten wissenschaftlichen Fortschritt der Mathematik in der Renaissance fundamental.

An der Grenze der Renaissance (und der Grenze der Mathematik) finden wir Galileis Arbeiten (die Discorsi) über Fallprobleme und über Materialstärke. Während die Algebra keine Verbindung mit militärischen Problemen hatte, hatte Galileis Arbeit eine allgemeine, aber meistens eben nur allgemeine Verbindung mit der physikalisch-technologischen Praxis. Bei der Erörterung von Feuerwaffen sagt er ausdrücklich, dass seine ballistische Theorie nur für Mörser brauchbar ist, weil bei anderen Geschützen der Luftwiderstand zu gross ist (Discorsi, 4. Tag, Theorem I; S. 256, Übers. Crew & Salvio).

Das illustriert ein allgemeines Verhältnis: Die Einwirkung einer praktischen Frage auf die Wissenschaft ist, wenn sie da ist, für das Gebäude der Mathematik zufällig*. Die Lösung der Frage mag ganz peripher für die wissenschaftliche Entwicklung sein (wie Herons Dioptra) oder sie mag fundamentale Neuentwicklungen provozieren (wie die Algebra). Alle Graduierungen dazwischen sind natürlich auch möglich.

Die militärische Praxis mag ihre Anforderungen an die Wissenschaft direkt äussern. Aber sie äussert sie eben so häufig und vielleicht öfter indirekt wie im Fall Galilei. Die praktischen Anregungen für die wissenschaftliche Entwicklung sind also hier nicht sehr andersartig, nur weil die Praxis auch militärische Anwendungen findet. Dazu kommt, dass Wissenschaft wie Praxis eher Netzwerke als unilineare

---

* Diese Bemerkung verkleinert nicht die grundlegende Bedeutung der gesellschaftlichen Gesamtpraxis als Bedingung und Energiequelle für die Mathematik als besondere Praxis. Vergleiche auch unten.

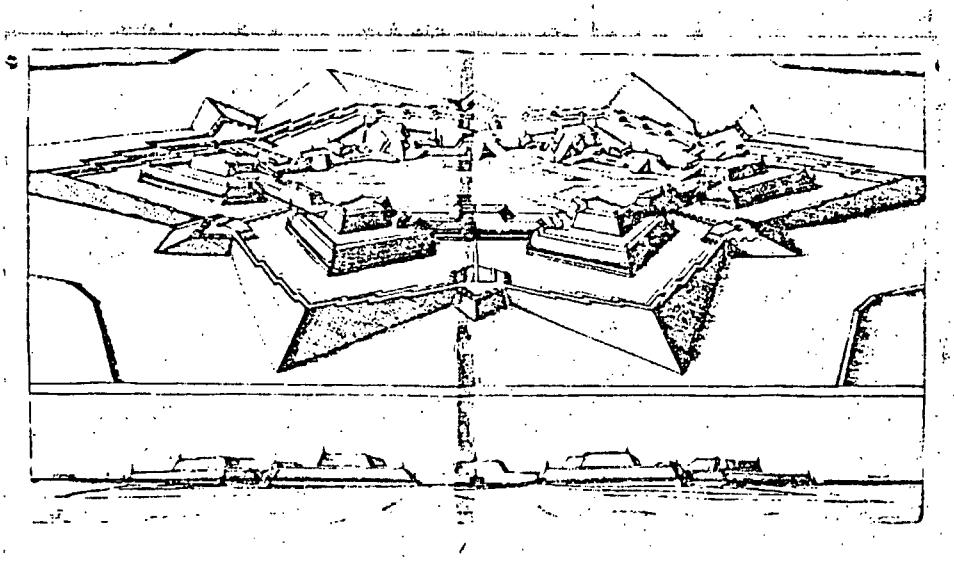
Kausalketten sind. Betrachtet man Galileis Discorsi, sieht man leicht, dass Euklid und Archimedes und die Auseinandersetzung mit der mittelalterlichen Theorie der Bewegungen für Galilei so wichtig waren wie die praktischen Fallprobleme.

Je breiter ein Praxiszweig ist, desto grösser ist die Chance, dass eine breite kohärente Wissenschaftsentwicklung provoziert wird (z.B. die praktische kaufmännische Mathematik des späten Mittelalters und der Renaissance, die die Algebra hervorgebracht hat). Je punktueller, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Problem (wenn es kein wiederkehrendes ist) entweder eine isolierte Lösung findet - oder, wenn es keine sofortige Lösung findet, abgelegt wird.

Betrachten wir in diesem Licht die Entwicklung zwischen Renaissance und französischer Revolution.Die portugiesische Entwicklung der Navigationswissenschaft wurde schon als unfruchtbar, weil zu punktuell, charakterisiert. Tatsächlich muss man auch in späteren Jahren die Navigationswissenschaft und Kartographie als im Grossen und Ganzen unfruchtbar für die Mathematik charakterisieren, weil nur bereits vorhandenes mathematisches Wissen angewandt wurde. Allerdings gehört die Navigation zu den Triebkräften für die Entwicklung neuer Berechnungstechniken wie die Erfindung der Logarithmen. Auch benötigte die Navigationswissenschaft exakte empirische Beobachtungsmöglichkeiten für die Bestimmung der geographischen Länge. Dafür musste man entweder gute Chronometer oder eine korrekte Theorie der Mondbewegung schaffen. Beide Probleme waren wichtig für die Entwicklung der theoretischen Mechanik im 17. und 18. Jahrhundert, z. B. für Huygens Cykloiden-Pendel-Theorie,für Newtons Himmelsmechanik und für die Weiterbearbeitungen dieser Theorie. (S.F. Mason 1962: 27of).

Von den durch die Akademien im 17. und dann insbesondere im 18. Jahrhundert vermittelten praktischen Interessen, die sich in den Preisaufgaben niederschlugen, sind viele fruchtbar geworden, weil sie - als Akademieaufgaben formuliert - in das Netzwerk der Wissenschaft der Zeit eingingen.

Nochmals ergibt sich aber hier, dass die militärische Praxis keine besondere Stellung hatte (Schiffbau ist Schiff-



Sechseckige, reguläre Fortifikation. Aus Daniel Speckle, Architectura von Vestungen, (Strassburg 1589); nach Schneider 197o: 226.

bau) und dass die Eigenstruktur der Wissenschaft letztendlich entscheidend dafür war, was sich entwickeln konnte - und was nicht: Mathematik machte Hooke nicht aus der damals nicht mathematisierbaren Frage, in welcher Jahreszeit man Bäume für den Schiffbau fällt, sondern aus dem mathematisierbaren Zusammenhang zwischen Druck und Dehnung. Fruchtbar wurde Hookes Gesetz erst in Verbindung mit dem gesamten Gebäude der Newtonschen Mechanik. Genau deshalb war die Vermittlung der praktischen Anforderungen durch die wissenschaftlich kundigen Akademien so wesentlich.

Bei der Offiziermathematik handelte es sich ausschliesslich um schon entwickelte Mathematik. Sie war bedeutend für die weite Verbreitung mathematischer Kenntnisse - proportional mit der Bedeutung der Offiziere in der Gesellschaft. Neue mathematische theoretische Entwicklungen sind vor Monge nicht aus ihr entsprungen.

3. Vorspiel im 19. Jahrhundert

Das 19. Jahrhundert beginnt, wenn wir das Verhältnis von Theorie und Praxis diskutieren, wie unter so vielen anderen Gesichtspunkten, mit der grossen französischen Revolution. Die Ausbildung der Ingenieure an der École Polytechnique kündigt etwas gänzlich Neues an. Der Ingenieur im heutigen Sinn als wissenschaftlich ausgebildeter Praktiker existierte nie zuvor. Seine Vorgänger im 17. und 18. Jahrhundert waren die "mathematischen Praktiker" (cf. I. Schneider 197o), die mehr handwerklich als wissenschaftlich ausgebildet waren, und die Offiziere. An der École Polytechnique, 1794 als zivile Institution gegründet und 18o4 dem Kriegsministerium unterstellt, erhielten künftige Militäringenieure (die später im Leben oft im Beamtendienst zivile Ingenieure wurden) eine zweijährige grundwissenschaftliche, d.h. mathematische Ausbildung, bevor sie sich an anderen Schulen weiter spezialisierten (cf. F. Klein 1926: I, 63-93).

Die Schaffung der École Polytechnique war ein Ergebnis der die französische Revolution prägenden Vorstellungen, wonach Ausbildung und Wissenschaft für den gesellschaftlichen Fortschritt grundlegend sind - Vorstellungen, die sowohl dem utopisch-rationalistischen Denken wie den Erfordernissen

Ecole Polytechnique: Eine Schule der Mathematik

In den ersten Jahrzehnten umfasste der Unterricht der École Polytechnique folgendes:

	Doppelvorträge (zu je 1½ Stunden)
Reine Analysis	108
Anwendungen der Analysis auf Geometrie	17
Mechanik	94
Darstellende Geometrie	153
Zeichnen	175
	547

Nach Klein 1926:I, 66.

des nüchtern-bürgerlichen Kampfes um die Macht entsprangen. Im Kontext der Napoleonischen Kriege, die zum ersten Mal in der Geschichte die totale Mobilisierung der gesellschaftlichen Ressourcen anstrebten, wurde aus der Idee der Verwissenschaftlichung des gesellschaftlichen Lebens natürlich auch eine Idee der Verwissenschaftlichung des Krieges. Ein Resultat dieser Verwissenschaftlichung des Krieges (und Militarisierung des Rationalismus und der bürgerlichen Vernunft) war die schon erwähnte Überführung der École Polytechnique an das Kriegsministerium 1804. Sie war aber eben nur eine Konsequenz einer allgemeinen Tendenz - einer Tendenz, deren Ideen vom Napoleonisch geprägten Offizier Clausewitz ausgearbeitet wurden, und die spätestens seit dem Ende des 19. Jahrhunderts im strategischen Denken aller Grossmächte wiederzufinden ist.

In Verbindung mit der École Polytechnique sehen wir also viele Samen, die unter den aktuellen technologischen Bedingungen heute in den nuklearen Holokaust wie in die Einsicht in die Notwendigkeit der atomaren Abrüstung aufgehen können. Im frühen 19. Jahrhundert war die Zeit für die in der École Polytechnique liegenden Ideen aber noch nicht reif. "Die Zeit" - d.h. die Gesellschaftsordnung, die Entwicklung der Produktivkräfte und der Stand der Wissenschaft. Wie der Polytechniker Carnot in der Einleitung zu seiner mathematischen Grundlegung der Thermodynamik (Reflexions...) schreibt, hatte England den Krieg gegen Frankreich gewonnen, weil es Frankreich an industrieller Kapazität fehlte (also weder an mathematischer noch an militärischer Kompetenz, können wir hinzufügen).

Der Fall des Gaspard Monge ist auch bezeichnend (A.Wolf 1952: 59 f; M. Cantor 1924: 626ff). Im 18. Jahrhundert hatte er an der Artillerieschule in Mézières seine darstellende Geometrie entwickelt, die im Kontext des 18. Jahrhunderts als ein wichtiger, wenn auch zufälliger Spin-off der Offiziersmathematik zu betrachten ist. Die langwierigen arithmetischen Berechnungen der Fortifikationsmathematik wurden durch elegante geometrische Konstruktionen ersetzt. Im organisatorischen und geistigen Kontext der frühen École Poly-

technique wurde daraus etwas ganz anderes: Eine der Hauptdisziplinen im Unterricht, durch die die künftigen Ingenieure und damit auch viele künftige Mathematiker geprägt wurden. Und trotzdem kam aus dem Fall Monge letztlich nichts wirklich neues. Die enge Wechselwirkung zwischen hochentwickelter mathematischer Grundlagenforschung und Anwendungen verschwand nach 1o-2o Jahren Restauration von der École Polytechnique. Der darstellenden Geometrie entsprang am Ende zufälliger, wenn auch gewiss bahnbrechender mathematischer Spin-off, insbesondere die projektive Geometrie, deren Grundlagen von dem Polytechniker Poncelet in russicher Kriegsgefangenschaft geschaffen wurden.

Was geschah dann wirklich an Neuem im 19. Jahrhundert? Ja, vor allen Dingen entwickelten sich die Bedingungen fur die wissenschaftlich-technische Revolution des 2o. Jahrhunderts, nämlich: die volle Entwicklung der industriellen kapitalistischen Gesellschaft und des modernen Staates; eine Industrie, die die wissenschaftlich ausgebildeten Ingenieure, d.h. die jeweils aktuelle Wissenschaft, anwenden konnte; eine Wissenschaft als systematisch betriebene Forschungstätigkeit verstanden, geknüpft an Universitäten, technische Lehranstalten und andere höhere Bildungseinrichtungen; und eine Reifung der mathematischen, physikalischen und chemischen Erkenntnisse, die diese Wissenschaften erst anwendbar für die Industrie machten. Diese Reifung wurde nur durch ein ungeheures Anwachsen im Umfang, eine völlige Neuorganisation und eine tiefgreifende Arbeitsteilung des Wissens möglich. So entstand erst im frühen 19. Jahrhundert die Physik als Gesamtdisciplin; in den folgenden Jahrzehnten folgten die Ingenieurwissenschaften sowie die Scheidung von reiner und angewandter Mathematik.

Aus der engen Verknüpfung von Mathematik und Militär, die sich mit der École Polytechnique scheinbar angekündigt hatte,- aus diesem Ansatz wurde zunächst nichts. Militärische Interessen spielten im 19. Jahrhundert im grossen ganzen nur sehr vermittelt, nämlich durch die Industrie und ihre allgemeinen Ansprüche an die Wissenschaft, für die Mathematik eine Rolle.

"Reine, unangewandte Mathematik"

Journal für die reine ~~und~~ un- angewandte Mathematik

gegründet 1826 von

August Leopold Crelle

fortgeführt von
C. W. Borchardt, K. Weierstrass, L. Kronecker, L. Fuchs,
K. Hensel, L. Schlesinger, H. Hasse, H. Rohrbach

gegenwärtig herausgegeben von

Otto Forster · Willi Jäger · Martin Kneser
Horst Leptin · Samuel J. Patterson · Peter Roquette

unter Mitwirkung von
M. Deuring, P. R. Halmos, O. Haupt,
F. Hirzebruch, G. Köthe, K. Krickeberg, K. Prachar,
H. Reichardt, L. Schmetterer, B. Volkmann

JRMAA8

Band 331

Walter de Gruyter · Berlin · New York 1982

Schon die erste spezialisierte Mathematikzeitschrift, die 1810 gegründeten Annalen Gergonnes, trug den Titel Annales de mathématiques pures et appliquées. Diese Idee einer sowohl Theorieentwicklung wie Anwendungen umfassenden Mathematik ging in Crelles oben gezeigtes Journal für die reine und angewandte Mathematik (1826) und in Liouvilles Journal de mathématiques pures et appliquées (1836) ein. Die Tendenz des 19. Jahrhunderts zur Spezialisierung und Auskristallisierung der Reinen Mathematik als selbständiges Gebiet spiegelte sich allerdings sehr schnell in der Praxis der Zeitschriften wider; Crelles Journal verdiente sich schnell den Spitznamen "Journal für reine, unangewandte Mathematik" (Klein 1926: I,95).

4. Die Zeit der Weltkriege

"Der moderne Krieg ist der Weltkrieg. Wir haben zwei Weltkriege gehabt. Der erste Weltkrieg wurde mit altmodischen Waffen ausgekämpft. Er war aber trotzdem ein Krieg ganz neuen Charakters. Er war ein Krieg, in den alle führenden Mächte in der Welt verwickelt waren. In ihm ging es um die weltweite Verteilung und Neuverteilung von Einflussphären und um die Rangordnung der führenden Mächte des Imperialismus. Er wurde an allen Fronten der Welt geführt. Schliesslich, er war ein totaler Krieg. Er war gerade nicht nur eine militärische Kraftprobe auf den Schlachtfeldern, sondern auch eine Kraftprobe zwischen den gesamten Produktionskapazitäten der kriegsführenden Länder, in der nicht zuletzt der soziale und politische Zusammenhalt dieser Länder auf die Probe gestellt wurde. Deshalb richtete sich dieser Krieg gegen die gesamte Gesellschaft des jeweiligen Gegners, gegen das Produktionsvermögen, sowohl als gegen den Zusammenhalt der Gesellschaft, die Reproduktion des gesellschaftlichen Lebens und gegen dessen Gesellschaftsordnung" (I.M. Jarvad 1981:6f).

In der wissenschaftlich-technischen Revolution und schon

Die Wissenschaft im 1. Weltkrieg

"Bis in den Sommer 1918 erwarteten die deutschen Physiker wie der Rest der deutschen Öffentlichkeit mit Vertrauen und Genugtuung einen siegreichen Abschluss des Kriegs, für den sie sich vier Jahre lang engagiert hatten. Vielleicht mehr als jeder andere Ausschnitt der deutschen akademischen Welt fühlten sie auch Selbstvertrauen und Selbstzufriedenheit entsprechend ihren Beiträgen zu Deutschlands militärischem Erfolg und ihrer Vorstellung von einer politischen und intellektuellen Nachkriegs-Umgebung, die das Wohlergehen und den Fortschritt ihrer Disziplinen äussert begünstigen würde... Indem die Chemiker, die Physiker, die Mathematiker die grosse praktische Bedeutung ihrer Gebiete während des Krieges und die Wünschbarkeit und Unerlässlichkeit von noch engerer Zusammenarbeit mit der Technologie für die Zukunft hervorhoben, erwarteten sie noch mehr, grössere und besser ausgerüstete Institute und wesentlich erhöhte öffentliche Wertschätzung und akademisches Ansehen."

(Forman 1971:8f)

in ihren frühen Jahren ist und war die Wissenschaft Teil der "gesamten Produktionskapazität" der Gesellschaft. Das äusserte sich auch in der Eingliederung der Wissenschaftler in die Kriegsführung im 1. Weltkrieg.

Die Wissenschaftler, wenn kaum die Grundwissenschaft selbst, wurden als höchstqualifiziertes technisches Personal in die Kriegsmaschine eingegliedert. Es entstand systematischer als je zuvor der Versuch, wissenschaftlich fundierte Entwicklungsarbeit im grossen Masstab zu betreiben und zwar unter Benutzung des aktuellen Standes der Grundwissenschaften durch Einbeziehung von Grundwissenschaftlern. Am wichtigsten waren hierbei die Chemie und die Metallurgie, weniger wichtig die physikalischen Wissenschaften. Die Mathematik kam nur in Form einer Hilfsdisziplin als "angewandte Mathematik" in Betracht*. (Dass Ingenieurtruppen wie immer Mathematik benötigten, ist hier unwichtig, da es sich wieder wie im 18. Jahrhundert nur um die Anwendung fertigen mathematischen Wissens handelte).

Deshalb konnte Hardy 1915 seine Arbeit in der "reinen" Zahlentheorie dadurch verteidigen, dass "eine Wissenschaft nützlich heisst, wenn ihre Entwicklung zur Verschärfung bestehender Ungleichheiten in der Verteilung von Wohlstand beiträgt oder direkter die Zerstörung menschlichen Lebens fördert" (zitiert nach Hardy 1940:120). (Erst 20 Jahre später, wenn auch noch zu Lebzeiten Hardys, wurde seine geliebte analytische Zahlentheorie als Werkzeug militärischer Kodierung und Nachrichtenverarbeitung in diesem Sinn "nützlich").

Nach dem 1. Weltkrieg wurden die grossartigen Versuche wissenschaftlicher Entwicklungsarbeit wieder abgebaut. Die wissenschaftlich-technische Revolution war noch so jung, dass die Gesellschaft sich nur im totalen Krieg auf solche

---

* H.-E. Gross führt jedoch an, dass Mathematiker "in einem erheblichen Masse" an der (der Flugzeugkonstruktion dienenden) Entwicklung der Aerodynamik beteiligt waren, wodurch vielleicht "Impulse auf die Entwicklung der Mathematik ausgegangen sind" (private Mitteilung). Vergleiche auch den Kasten.

Die Mathematik im 1. Weltkrieg

Ein Indiz für die Richtigkeit der Gross'schen Vermutung, dass die Entwicklung und Konstruktion von Flugzeugen im Ersten Weltkrieg die Arbeit von Mathematikern als forschende Mathematiker erforderte, findet sich in Youngs Hinweis auf die Entwicklung der Hydrodynamik in seinem Festvortrag vor dem Internationalen Mathematikerkongress 1924. Mathematiker seien nicht nur für die Weiterentwicklung der Hydrodynamik erforderlich, sondern wichtige mathematisch-theoretische Probleme für die von Young ausdrücklich genannte Ballistik und Aerodynamik stünden auch noch offen (und stehen teilweise bis heute noch offen, BB/JH) (Young in Proc... 1924: 156).

Während der Kriegs- und Nachkriegszeit kam es auch zu einer allgemeinen geistigen Klimaveränderung bei den Mathematikern. Beim 5. Internationalen Mathematikerkongress 1912 in Cambridge wurden die Ergebnisse der Angewandten Mathematik neuhumanistisch als "Wahrheiten über das Universum, in dem wir leben" definiert (Proc...1912:35). Der nächste Kongress wurde 1920 in Strasbourg im wiedererworbenen Alsace von französischen Mathematikern eröffnet - unter Ausschluss der "verbrecherischen" und "unwürdigen" deutschen und österreichischen Mathematiker, die ja für den Kriegsgegner gearbeitet hatten. Unter dem Eindruck der Technisierung aller Grundwissenschaften im Kriege befürchtete Emile Picard in seinem Eröffnungsvortrag, dass sich die neue Mathematikergeneration in den kommenden Zeiten nur den Anwendungen und nicht länger der reinen Mathematik zuwenden werden (Proc...1920: xxviii, xxxiif). Im lautereren Klima des folgenden Kongresses in Toronto 1924, wo vom kanadischen Regierungsvertreter bei der Eröffnung die Anwendung der Wissenschaften im Krieg schlechthin als Entartung ("defigurement") gebrandtmarkt wurde, wurden die Anwendungen der Mathematik weiterhin noch spezifisch-technisch und nicht neuhumanistisch verstanden - vgl. oben Young über Ballistik und Flugtechnik - aber andererseits auch die Bedeutung der mathematischen Grundforschung und der reinen Mathematik für diese technischen Anwendungen wieder herausgestellt. (Proc...1924:52, 156).

Vorhaben einlassen wollte. Erst in der systematischen Erforschung von Ersatzrohstoffen und der Zusammenarbeit zwischen den deutschen Chemiekonzernen und dem faschistischen Staat, in der sich entwickelnden Industrieforschung der USA der 30er Jahre und in der Periode der 5-Jahrespläne der Sowjetunion kommt es wieder zu einer direkten Verknüpfung von wissenschaftlicher Forschung und Praxis ("Wissenschaft als unmittelbare Produktivkraft"). Richtig ernst wurde das alles erst im 2. Weltkrieg.

Von den Erfahrungen des 1. Weltkrieges wusste man, dass die Wissenschaft auch unmittelbare Destruktivkraft sein konnte. Kein Kriegsministerium würde jetzt den zur Fabel gewordenen Ausspruch des US-Kriegsdepartements zu Beginn

des 1. Weltkrieges wiederholen, dass die Assistenz der nationalen Chemikergesellschaft nicht erforderlich sei, weil man bereits einen Chemiker angestellt habe.

Das bekannteste aller wissenschaftlichen Projekte des 2. Weltkriegs ist das "Manhattanprojekt", die Entwicklung der Atombombe (cf. z.B. J.G. Crowther 1968:209-212). Dies Projekt war kein reines Entwicklungsprojekt im Sinne des 1. Weltkriegs: diesmal war auch zielgerichtete und umfassende Grundforschung notwendig. Das Projekt beschäftigte eine Armee von 125000 Mitarbeitern; eine Vielzahl von Grundwissenschaftlern unterschiedlichster Fachrichtungen und von staatlich oder privat angestellten Entwicklungsingenieuren wurde einbezogen; das Riesenbudget dürfte der Summe der Aufwendungen für Wissenschaft und wissenschaftliche Entwicklungsarbeiten in der gesamten vorhergehenden Weltgeschichte wohl vergleichbar gewesen sein.

Das Manhattanprojekt war das grösste, aber nicht das einzige Projekt, in dem Grundforschung getrieben wurde. Daneben standen z.B. die Entwicklung des Radars, des Penizillins, der Strahltriebwerke und der Raketentechnik, die Weiterentwicklung des Sonars, der Metallurgie usw. Im eigentlich mathematischen Bereich erwähnen wir besonders Weiterentwicklungen der Hydrodynamik und den Bau des ersten leistungsfähigen, ursprünglich für ballistische Berechnungen geplanten amerikanischen elektronischen Grossrechners ENIAC sowie andere auf Telefon-Relais basierte amerikanische Grossrechner; die elektromagnetische Feldtheorie und die Netzwerktheorie in Verbindung mit dem Radar; Zuses Grossrechner Z-3 für Berechnungen des Gasdruckes in der Verbrennungskammer der V2; die Entwicklung der modernen Kodierungstheorie mit den britischen Grossrechnern Colossi; mehrere Zweige des Operation Research.

Viele dieser Bereiche sind von grundlegender Bedeutung für die moderne Mathematik. Man kann aber zunächst fragen, wieweit die Durchbrüche in diesen Wissenzweigen wirklich durch den Krieg geschaffen worden sind. Die grundlegenden mathematischen Ideen der "inneren Ballistik" der Atombombe stammen zum grössten Teil nicht aus dem Manhattanprojekt,

Mathematik und Mathematiker im Zweiten Weltkrieg

Schon während des Zweiten Weltkriegs formulierte ein Dr. Jewett, damaliger Präsident der amerikanischen National Academy of Sciences und Vizepräsident der American Telephone and Telegraph Company, dass "die Chemiker, ohne ein Schuldgefühl anzudeuten, diesen Krieg [im Gegensatz zum Ersten Weltkrieg] zu einem Krieg der Physiker erklären. Man könnte ebenso gut sagen, dass er ein Krieg der Mathematiker ist". Dies zitiert Marston Morse (1943: 51), der Schöpfer der modernen Variationsrechnung, in einem Aufsatz über "Die Mathematik und der maximale wissenschaftliche Einsatz im totalen Krieg".

Morse begründet dies mit dem "Maschinencharakter" der modernen Kriegsführung, der natürlich Ingenieurqualifikationen, aber darüber hinaus neue Erfindungen und insbesondere "eine neue und mathematischere Anwendung von Maschinen" erfordert.

Mathematischere Anwendungen der Technologie benötigen oft keine forschungsmässigen Neuentwicklungen der Mathematik. Das war auch die Erfahrung der meisten der im Krieg eingesetzten Mathematiker, wie J. Barkley Rosser berichtet, dessen spätere Erfahrungen mit Kriegsmathematik im Vietnamkrieg in The AMRC Papers, S. 95 und passim, dokumentiert wurden:

"Ich schrieb an praktisch alle noch lebenden Mathematiker, die Mathematik für das Kriegsaufgebot gemacht hatten (davon gibt es noch knapp zweihundert), und bat sie um eine Zusammenfassung ihrer mathematischen Tätigkeiten während des Krieges. Viele antworteten nicht. Und viele, die antworteten, sagten, sie hätten in Wirklichkeit keine Mathematik gemacht. Ich hatte eine aus einem Satz bestehende Antwort von einem Mann, der sagte, er habe nicht eine Sache gemacht die publizierbar war. Wenn wir Mathematik mit publizierbar gleichsetzen, dann wurde in der Tat sehr wenig Mathematik für das Kriegsaufgebot gemacht. Aber ohne die nicht-publizierbaren Antworten, die einige hundert Mathematiker in einem Zeitraum von zwei oder drei Jahren lieferten, hätte der Krieg erheblich mehr gekostet und bedeutend länger gedauert". (Rosser 1982: 509f).

Wie auch aus den von Rosser in seinem Beitrag dargelegten Beispielen deutlich wird, war das Benötigte - "nicht-publizierbare" - der Common Sense und die daran geknüpfte Routine und der Überblick des geübten Mathematikers. Eigentlich ist das - auf höherer Ebene - eine Fortführung der alten Belagerungs- und Offiziersmathematik-Traditionen.

Das Hauptgebiet des von Morse erörterten Einsatzes der Mathematik im totalen Krieg ist eigentlich auch von der Art der Offiziers- und Unteroffiziersmathematik ("schnelles und genaues mathematisches Berechnen", "Lösung von Problemen der elementaren Algebra, der ebenen Geometrie und der ebenen Trigonometrie" zusammen mit grundlegender mechanischer Physik und "guter Gesundheit und hartem körperlichen Training").

Was im Krieg erfahren wurde, war letztendlich ein allgemeines Kennzeichen der wissenschaftlich-technischen Revolution: dass die volle Ausnutzung wissenschaftlicher Technologien breite wissenschaftliche Qualifikation, darunter eine mathematische Allgemeinbildung erfordert. "Das Problem der Navigation eines Flugzeugs über den pazifischen Inseln ist sehr schwierig. Es ist möglich, ebenso viele Männer durch Navigationsfehler zu verlieren wie durch gegnerisches Feuer. Es ist klar, dass wir zehntausende von Navigatoren brauchen. Sind unsere Studenten dieser Aufgabe gewachsen?" (Morse 1943:52).

Es gab im Krieg, wie in der wissenschaftlich-technischen Revolution im allgemeinen, auch eine andere Seite des Gebrauchs der Mathematik, die integrierte Entwicklung von mathematischer Forschung und Anwendungen. Wir haben die Sequenzanalyse und die Grossrechner bereits diskutiert, und Mina Rees (1980) konzentriert sich gerade auf diese Seite, die Forschungs-orientierten Projektgruppen. Deren Arbeit konnte Morse selbstverständlich 1943 nicht öffentlich diskutieren; deshalb wohl wirkt seine Darstellung 40 Jahre später etwas verzerrt.

sondern wie z.B. die Theorie der Wiener-Hopf-Gleichungen aus der Astrophysik, nämlich aus lo Jahre älteren Berechnungen zum Strahlungsgleichgewicht an der Oberfläche von Sternen (Wiener 1971:120f); die bahnbrechenden Ideen über stochastische Prozesse entsprangen auch nicht den Diffusionsgleichungen und Verzweigungsprozessen der Kernphysik, sondern gehen auf die reinmathematischen Forschungen Markows zurück - Forschungen deren praktische Anwendbarkeit er ausschliesslich sprachwissenschaftlich, z.B. durch eine Untersuchung der Zeichenfolgen in Puschkingedichten, illustriert hatte (Youschkevitch, DScB IX, 129); die Gleichzeitigkeit des Baus von Grossrechnern in Deutschland, England und den USA

Die ersten Grossrechner

Die ersten Anfänge der modernen Grossrechner waren die Telephonrelais-basierten Anlagen von Stibitz in den USA und von Zuse in Deutschland.

Stibitz beschreibt die Stadien seiner Arbeit so: Als "mathematischer Ingenieur" bei den Bell Telephone Laboratories sollte er sich im Herbst 1937 mit elektrischen Relais beschäftigen. Aus "Neugier" begann er, sich für ihre logischen Eigenschaften zu interessieren, und baute in der eigenen Küche einen einfachen Addierer, aus dem in den folgenden drei Jahren ein Gerät für die Multiplikation von komplexen Zahlen entwickelt wurde, die für die Theorie von Filtern und die Berechnung von Übertragungslinien im Telephonwesen zu dieser Zeit wichtig wurde. Die Konstruktionskosten von 20.000 $ verhinderten den Bau von weiteren Exemplaren - bis das National Defence Research Committee ein neues Modell für Luftabwehrberechnungen bestellte. Weitere Modelle folgten, aber bis Kriegsende blieben die Luftabwehrberechnungen der einzige Anwendungsbereich. (Stibitz in Metropolis et al 198o: 479-483).

Auch die Geschichte der Zuseschen Maschinen zeigt, dass die Entwicklung der Grossrechner Zeit brauchte und weder unter den zivilen Vorkriegsbedingungen noch im 2. Weltkrieg ihre Allseitigkeit entfalten konnte: Nach privaten Vorarbeiten begann Zuse 1936 mit dem Bau eines binären Rechners und hatte noch 1937 grosse Schwierigkeiten, allein das Interesse eines Fabrikanten an seinem Prototyp zu wecken. Bei Kriegsbeginn wurde er, trotz einer Aussage des erwähnten Fabrikanten über die Bedeutung seiner Erfindung für die Luftwaffe nicht vom gemeinen Kriegsdienst befreit. "Die deutschen Flugzeuge sind die besten der Welt. Ich sehe nicht, was da noch zu berechnen ist", zitiert Zuse seinen Major. Erst ein halbes Jahr später wurde er - nicht als Rechenmaschinenerfinder, sondern als Ingenieur - in die Flugzeugindustrie abgeordnet und bekam somit die Gelegenheit, an den Rechnern für flugtechnische Berechnungen und für Aufgaben der Prozessteuerung innerhalb der Flugzeug- und Raketenproduktion weiterzuarbeiten. Auch hier wurden also nur sehr wenige Maschinen gebaut, und ihre Anwendungen blieben auf einen Kontext beschränkt. Zuses theoretisch weitgehende Ideen blieben in seinem Kopf und in seinen privaten Aufzeichnungen. (Zuse in Metropolis et al 1980:611-615).

zeigt, dass ihre tragenden Ideen sozusagen in der Luft lagen und überfällig waren - vgl. Kasten . Die lineare Programmierung und die Simplex-Methode waren endlich schon 1938 für die Sowjetische ökonomische Planung entwickelt und auf russisch publiziert worden (cf. Rees 198o:618).

Man kann weiterhin auch fragen, ob die erwähnten kriegsgeförderten Disziplinen ihre Bedeutung für die gegenwärtige Mathematik und für die moderne technische Zivilisation der Computer, Automation, Prozessteuerung, Verfahrenstechnik etc. unmittelbar dem Krieg verdanken - oder ob sie ihr Potential und ihre reifere weitere Entwicklung erst in Verbindung mit zivilen Bedürfnissen gewonnen haben. In der frühen Periode weist die schnell gewonnene Führung von IBM und in der späteren Periode die rasch anwachsende Rolle der Japaner darauf hin, dass die Computerproduktion und -anwendung sich nur auf der Grundlage der zivilen Bedürfnisse im kommerziellen, administrativen und produktiven Bereich voll ent-

UNIVAC und IBM: Die Kosten der militärischen Verflechtung

ERA, The Engineering Research Associates, später UNIVAC, wurde von ehemaligen Reserveoffizieren mit Kriegserfahrungen auf dem Gebiet von Codierungscomputern gegründet und arbeitete lange Jahre ausschliesslich für das Militär an geheimen Aufträgen. Als Preis für diese einseitige Orientierung gibt ein ERA-Sprecher an: Orientierung auf die Lösung schon definierter Einzelprobleme, nicht auf die Untersuchung und Auflösung komplizierter Situationen; mangelnde Erfahrung mit dem kreativen Wechselspiel zwischen Nutzern und Herstellern; und damit letztlich ein "Hindernis für den Eintritt der Firma in kommerzielle Aktivitäten und eine Verzögerung ihrer Heranreifung zu einem Anbieter totaler Computersysteme". Wie realistisch diese Einschätzung ist, zeigte sich ab 1953, als IBM mit der 7o1 ihren ersten "General Purpose Computer" auf den Markt brachte. Obwohl ERA/UNIVAC sich nun auch auf den zivilen Markt orientierte und wegen ihrer bedeutend längeren Erfahrung einen Startvorsprung und gewisse Anfangserfolge verbuchen konnte, musste sie doch die Marktführung sehr schnell an IBM abgeben. (Tomash in Metropolis et al 198o: 485-49o).

Auch die IBM-7o1 wurde ursprünglich als "Defence Calculator" konzipiert und das erste Kunden-Exemplar an das Kernwaffenzentrum Los Alamos geliefert. Ganz bewusst wurde aber die Maschine von IBM als allgemein verwendbar geplant, konstruiert und kommerzialisiert - eine Politik, die auf IBMs jahrzehntelange Erfahrung als Produzent von Büromaschinen mit Tradition für Anstellung von breit qualifizierten Wissenschaftlern und Öffnung zur Universitätswelt weiterbaute. (Hurd in Metropolis et al 198o:39o-392).

wickeln konnte (was eigentlich auch zu erwarten ist, da nur solche Anwendungen Massenproduktion und ständige Verbilligung fordern und erlauben).

Für die volle Entwicklung von Operation Research, Prozesssteuerung und Verfahrenstechnik gilt das gleiche, dass nämlich erst die nichtbarocken Anwendungen im zivilen Bereich die Methoden ausreifen liessen.

Man kan damit wohl als Konklusion sagen:

1. Auch wenn die militärischen Bedürfnisse im 2. Weltkrieg Grundlagenforschungen gefördert haben, so handelte es sich doch immer um "orientierte" Grundlagenforschung, die keine grundlegenden Durchbrüche gebracht hat. Langfristige Entwicklungsbedürfnisse der Wissenschaft wurden dadurch kaum befriedigt.

2. Die militärische Technologieentwicklung erhält auf Dauer mehr von der zivil geförderten Technologie- und Wissenschaftsentwicklung als umgekehrt.

3. Selbst wenn die Ausgaben des Manhattan-Projekts auch nur annäherungsweise mit der Summe aller früheren Ausgaben für Forschung und wissenschaftlicher Entwicklungsarbeit vergleichbar seien, muss man (ganz abgesehen vom Endergebnis des Projekts) die wissenschaftliche Produktivität dieses militärischen Grossprojekts als empörend gering charakterisieren. Als Wissen und Können betrachtet hat das Projekt gewiss nicht die bisherige Wissenschaft und Technologie verdoppelt!

4. In einer humanen Welt wäre auch ohne Krieg der direkte Übergang von den Puschkingedichten zur industriellen Anwendung der Markoffprozess möglich gewesen, ohne die horrible Ressourcen-Verschwendung des Manhattanprojekts. Nur in einer militarisierten Welt - wenn überhaupt - ist der Militarismus für den wissenschaftlichen Fortschritt notwendig.

5. Die Gegenwart. Die Zukunft?

"Nur in einer militarisierten Welt - wenn überhaupt - ist der Militarismus für den wissenschaftlichen Fortschritt notwendig."

Aber was heisst das in unserer heutigen Welt? Fangen wir mit dem Gesichtspunkt der Mathematiker an. Es gibt in der Mathematik etwas ähnliches wie den Nobelpreis, die Fieldsmedaille, die alle vier Jahre an zwei bis vier jüngere Mathematiker für epochemachende mathematische Forschungen vergeben wird. Die Auswahl der Preisträger seit der ersten Verleihung des Preises im Jahr 1936 und die von führenden Mathematikern gegebenenen Begründungen zeigen uns, was von Mathematikern als epochemachend betrachtet wird. Belohnt wird ausschliesslich

- die Lösung alter mathematischer Probleme
- die Vereinheitlichung verschiedener mathematischer Gebiete durch Entdeckung von Querverbindungen und neue Konzeptualisierungen
- die Öffnung des Weges zu neuen innermathematischen Entwicklungen.

Diese Kriterien gelten auch in den wenigen Fällen (zwei bis vier), wo Arbeiten aus anwendungsbezogenen Gebieten prämiert wurden. (Vgl. Kasten und Tabelle).

Wenn Anwendungen für die Entwicklung der Mathematik als Wissenschaft wichtig sind, so sind also Anwendungen im allgemeinen und militärische Anwendungen im besonderen jedenfalls nicht so wichtig, dass sie nicht aus dem Bewusstsein selbst der führenden Mathematiker verdrängt werden können. Einflüsse der Praxis auf die Mathematikenentwicklung müssen also, wenn sie da sind, hauptsächlich indirekt sein.

Dass es Einflüsse gibt, dass also das Bewusstsein der "führenden Mathematiker" borniert ist und nur einen Aspekt der Wirklichkeit der Mathematiker widerspiegelt, das können wir am Beispiel der nichtlinearen Analyse sehen. Das moderne Lehrbuch dieser Disziplin ist M.S. Bergers Nonlinearity and Functional Analysis, wo neben den innermathematischen Quellen dieser Theorie in der Differentialgeometrie und in der Variationsrechnung eine Vielzahl von Quellen in der

Die Fieldsmedaille

Die Träger der Fieldsmedaille und ihre Arbeitsgebiete

1936:	L.V.Ahlfors	Quasikonforme Abbildungen, Riemannsche Flächen
	J.Douglas	Plateausches Problem der Variationsrechnung
1950:	A.Selberg	Analytische Zahlentheorie
	L.Schwartz	Theorie der Distributionen
1954:	K.Kodaira	Harmonische Formen auf komplexen Mannigfaltigkeiten
	J.-P.Serre	Homotopietheorie von Sphären
1958:	K.F.Roth	Algebraische und analytische Zahlentheorie
	R.Thom	Topologie differenzierbarer Mannigfaltigkeiten
1962:	L.Hörmander	Lineare Differentialoperatoren
	J.W.Milnor	Differentialtopologie
1966:	M.F.Atiyah	Topologische Methoden in der Analysis
	P.Cohen	Logische und mengentheoretische Grundlagen der Mathematik
	A.Grothendieck	Algebraische Geometrie
	S.Smale	Differentialtopologie
1970:	A.Baker	Theorie der transzendentalen Zahlen
	H.Hironaka	Auflösung von Singularitäten in der algebraischen Geometrie
	S.Novikov	Geometrische und algebraische Topologie
	J.Thompson	Endliche einfache Gruppen
1974:	E.Bombieri	Zahlentheorie, reelle und komplexe Analysis
	D.Mumford	Algebraische Geometrie
1978:	P.Deligne	Algebraische Geometrie
	Ch.Fefferman	Konvergenz von Fourierreihen und Fourierintegralen
	G.A.Margulis	Diskrete Untergruppen von Liegruppen
1982:	A.Connes	Topologie von Operatoralgebren
	W.P.Thurston	Topologie von dreidimensionalen Mannigfaltigkeiten
	Sh.-T.Yau	Analytische Methoden in der Geometrie (und vice versa)

(fortgesetzt)

Von den 26 Fieldsmedaillen - Gewinnern baute Laurent Schwartz seine Arbeiten unmittelbar auf mathematische Probleme verschiedener Anwendungen; seine Distributionstheorie schaffte die Sicherheit, dass dem Physiker und Ingenieur schon geläufige Methoden mathematisch gerechtfertigt sind. Hörmanders und Feffermans Arbeiten liegen in Gebieten, die letztendlich durch von Praktikern verwendete Kalküle geprägt sind. Hörmanders und Feffermans Arbeiten haben allerdings nur sehr indirekt etwas mit diesen praktischen Kalkülen zu tun, und die Laudationes distanzieren sich entschieden von allen praktischen Bezügen.
Im Fall Hörmanders: "Fragen dieser Art haben keinen physikalischen Hintergrund, sondern einen sehr soliden Grund in mathematischer Neugier." Feffermans Arbeiten liegen auf dem Gebiet der klassischen Analyse, die in den 40er und 50er Jahren für abgeschlossen und damit als "tot" angesehen wurde. Prämiert wird seine Leistung für die "Vereinigung von Methoden der harmonischen Analyse, komplexen Variablen und Differentialgleichungen"; die "Einsicht, dass in vielen Problemen Komplikationen nicht vermieden werden können", erntet Lob.

Selbst bei Laurent Schwartz, wo die Praxisverbindung sehr direkt ist, ist das kein Thema für die Laudatio, die stattdessen seine "Formung der neuen Ideen in ihrer Reinheit und Allgemeinheit" hervorhebt.

Bei den anderen 23 Laureaten sind die mathematikexternen Verbindungen nur historisch durch mehrfache Begriffs- und Disziplinumgestaltungen vermittelt. Das verhindert aber andererseits nicht, dass Resultate mehrerer dieser Laureaten in anderen Wissenschaften Aufmerksamkeit erregt haben (z.B. Thom in der Biologie, Atiyah in der Quantendynamik und Smale in der Ökonomie).
Die Anwendbarkeit der Mathematik wird nicht durch die innere Dynamik und Bearbeitung der Problemstellung verhindert. Vielmehr ist diese eine Bedingung für qualitativ neue Anwendungen der Mathematik (nicht die einzige Bedingung).

Verbindungen zwischen Fieldsmedaillen und Militär sind nicht inhaltlich, sondern nur persönlich nachweisbar: in der Form von NATO- und ähnlichen Stipendien.

(Quellen: Proc... 1936 - Proc... 1971; Notices of the American Mathematical Society 29:6 (October 1982), 499-502).

klassischen und modernen mathematischen Physik, in der Ökonomie und in der Biologie ausführlich dokumentiert sind (Berger 1977:1o-18, 6o-63).

Hierzu sei bemerkt, dass gerade in dem Gebiet der nicht-linearen Analysis bedeutende Einflüsse der modernen Praxis zu erwarten sind. Die Nicht-Linearität ist (gemeinsam mit der Mathematischen Statistik) sozusagen "die" Mathematik der wissenschaftlich-technischen Revolution. Die klassische Mechanik und die klassische mathematische Ökonomie bauen weithin auf lineare Approximationen realer Zusammenhänge (Z.B. Hookes Gesetz, d'Alemberts Wellengleichung und Walras "reine politische Ökonomie") und die Vorstellung exakter, vollständiger Berechenbarkeit. Wissenschaftliche, statt nur praktisch-pragmatische Überbrückung der Kluft zwischen der idealisierten klassischen Theorie und der wirklichen, materiellen Praxis erfordert eine Mathematisierung der Nicht-Linearität der Zusammenhänge und der Nicht-Bestimmtheit (Unvollständigkeit) des Wissens.

Betrachten wir hingegen mathematische Disziplinen wie die moderne Topologie und die moderne Algebra, so sind solche direkten Einflüsse von der Praxis kaum zu erwarten und auch kaum zu finden. In einem anderen Sinn kann man jedoch auch diese Gebiete als "Mathematik der wissenschaftlich-technischen Revolution" betrachten. Sie mathematisieren nicht die Kompliziertheit der realen Welt, sondern - abstrakter - die Komplexität als solche. In welcher Zeit, wenn nicht der unseren, würde sich die Forschung für Gruppen mit z.B. 808.017.424.794.512.875.886.459.904.961.710.757.005.754.368.000.000.000 $(=2^{46} \cdot 3^{20} \cdot 5^{9} \cdot 7^{6} \cdot 11^{2} \cdot 13^{3} \cdot 17 \cdot 19 \cdot 23 \cdot 29 \cdot 31 \cdot 41 \cdot 47 \cdot 59 \cdot 71$ - vgl. Conway 1980) Elementen interessieren*?

Schon im Fall der nicht-linearen Analyse ist also der Einfluss der Praxis als Einfluss der Praxis im Ganzen zu betrachten, nicht als Einfluss einzelner Fragen. Gehen wir

---

* Tatsächlich hat der Weg von der sich der Vereinfachung widmenden Gruppentheorie des 19. Jahrhunderts zu diesen modernen "Monstern" u.a. über die irreduziblen Gruppen der Quantenphysik geführt - auch in diesem Fall haben materielle reale Komplexitäten und nicht nur das ideologische Problem der Komplexität an sich eine gewisse orientierende Rolle gespielt.

zur Topologie und zur Algebra über, lässt sich dasselbe mit grösserer Emphase sagen.

Kann man das alles - Fieldsmedaillen, Nicht-Linearität und Topologie in ein Gesamtbild über das Verhältnis von reiner Mathematik, Praxis und Militär zusammenfassen? Das kann man, und die Überschrift dafür heisst "organisierte Segmentierung".

Bedenken wir, dass es heute viel mehr Mathematiker und viel mehr Personen, die Mathematik anwenden, gibt als je zuvor. Wie D.J. de Solla Price bemerkt hat, sind die meisten Wissenschaftler und Ingenieure der Weltgeschichte noch am Leben. Es gibt heute so viele Mathematiker und so viele Technologen, dass in dem einen wie in dem anderen Gebiet starke innere Wechselwirkungen möglich sind und dominieren können. Beide Bereiche sind auch so hoch über den Common Sense hinaus entwickelt, dass die meisten Fragen eines Mathematikers nur von anderen Mathematikern beantwortet werden können und die meisten seiner Arbeiten sich nur an Kollegen im engeren Sinn richten. Dasselbe gilt mutatis mutandis für den Technologen. In der Regel ist nur das Resultat der Zusammenarbeit vieler Mathematiker und das Flugzeug, an dem viele Technologen zusammen gearbeitet haben, für andere brauchbar. Mathematik, Technologie und ihre Einzeldisziplinen stellen alle jeweils für sich "offene Systeme" dar: für jedes gewöhnliche Teilelement (Mathematiker oder Theorem, Technologe oder Maschinenkomponente) sind die Wechselwirkungen mit anderen gleichartigen Elementen am zahlreichsten und am gewichtigsten. Für jedes Gesamtsystem produzieren diese inneren Wechselwirkungen die Gesamtträgheit des Systems und seine Leistungsfähigkeit. Äussere Wehcselwirkungen sind im Verhältnis zur Anzahl der inneren Wechselwirkungen marginal; wie in einem biologischen System können sie aber als notwendige Energiezuführung betrachtet werden; wie der Lotse auf dem Schiff können sie auch die Richtung der trägen Masse bestimmen und damit auf die Art der Leistungen mittelbar einwirken.

Diese systemtheoretischen Metaphern können wir ausfüllen.

Genealogie der Linearen Programmierung: militärisch, wirtschaftlich/administrativ, innermathematisch

militärisch	wirtschaftlich-industriell: Anwendung	wirtschaftlich-industriell: Theorie	mathematisch: Theorie	mathematisch: Rechentechnik
Oberbefehlshaber plant Operationen persönlich			FOURIER (1823) GAUSS (1826)	Finger
↓	Tableau Économique (QUESNAY, 1759)	Walrasisches System (1874)		Abakus (600 v.Chr.) PASCALs Addiermaschine (1642)
Entstehen des Generalstabs (1860)			GORDAN (1873) MINKOWSKI (1896) PARKAS (1903) STIEMKE (1915)	
↓				↓
Aufteilung des Programmierungsprozesses auf Stabsabteilungen (1917)	Größere Untersuchungen durch die Regierung (1932)		Statistische Theorie (1900) (NEYMAN, 1936; WALD, DANTZIG, 1939)	BABBAGES Differenzenmaschine (1822)
↓	↓			↓
Zentralstelle für den Programmierungsprozeß (1942)	LEONTIEFs Modell (1936)	VON NEUMANNs Gleichgewichtsmodell (1937)	MOTZKIN (1936) KANTOROWICZ (1939) HITCHCOCKs Transportproblem (1941)	HOLLERITHs Lochkartenmaschine (1890)
↓	↓			↓
	Planung der Kriegsproduktion (1940)	Transportmodell von KOOPMANS (1944)	Spieltheorie (VON NEUMANN, MORGENSTERN, 1944)	Relay Computer (AIKEN, 1946; STIBITZ, WILLIAMS)
↓				↓
				ENIAC (VON NEUMANN, MAUCHLEY, ECKERT, GOLDSTINE, 1945)
Mechanisierung (1947)				
Lineare Programmierung (1947)			Simplexmethode (Dantzig, 1947)	Simplexlösung des Ernährungsproblems (LADERMAN, 1948)
Dreiecksmodell (WOOD, DANTZIG, GEISSLER, 1948)		Allgemeines Wirtschaftsmodell von KOOPMANS (1948)	Dualität (VON NEUMANN, 1947)	Transportproblem (DANTZIG, 1949)
US- Luftwaffenkodes BINAC 1949 IBM-604 1949 SEAC 1950 UNIVAC 1952		DORFMANs Theorie der Firma (1951) DORFMAN, SAMUELSON und SOLOW: Lineare Programmierung und Wirtschaftsanalyse (1958)	Theorie (TUCKER, GALE, KUHN, KOOPMANS, 1948)	
			↓	
			Konferenz in Chicago (1949)	
Anwendungen der Linearen Programmierung: Ausschreibung von Angeboten (1952) Planung, Training, Aufmarschpläne (1952)	Planung bei Raffinerien (CHARNES, COOPER, MELLON, 1951) Lebensmittelverteilung (1953) Metallverarbeitende Industrie (MARKOWITZ, 1953) Papiermühlen (1954) Elektrizitätswerke		Symposia in Washington (1951, 1955) Entwicklung in UdSSR (1957)	Simplex-Kode SEAC (1952) ORCHARD-HAYS RAND-Kodes IBM-CPC (1953) IBM-701 (1954) IBM-704 (1956)
Personalzuordnung (1952)			Ganzzahlige Programmierung Handlungsreisende (DANTZIG, FULKERSON, JOHNSON, 1954) Allgemeine Theorie (GOMORY, 1958)	
Planung von Luftbrücken (MANNE, 1954)	(MASSE, GIBRAT, 1955) Verschiedenartigste Anwendungen (seit 1956), viele den 1939 ausgesprochenen Vorschlägen von KANTOROWICZ ähnlich		Ungewißheit (DANTZIG, 1954) Netzwerktheorie (ORDEN, 1950; KUHN, FORD, FULKERSON, 1956) Quadratische, Nichtlineare Programmierung (MARKOWITZ, WOLFE, 1955) Dekompositionsprinzip (DANTZIG, WOLFE, 1958) Symposium bei RAND (1959)	

Dantzig 1963: 13;
nach Schlöglmann 1982: 14.

Die Fieldsmedaillen zeigen uns die unmittelbare Dominanz der inneren Dynamik. Selbst da, wo äussere Einwirkungen in den Arbeiten der Fieldspreisträger durchscheinen, wird das in das Einwirkungen sehen wir dagegen deutlich im Fall der nicht-linearen Analyse. Die nicht-lineare Analyse ist nicht nur eine Anhäufung von mathematischen Antworten auf praktische Fragen; die meisten Theoremen verhalten sich zu Fragen, die von anderen Theoremen gestellt wurden - d.h., sie ist unter dem Gesichtspunkt "mathematische Disziplin" zu betrachten. Andererseits sind jedenfalls die grundlegende Problemstellung der nicht-linearen Analyse sowie die übergeordneten Ziele, die laufend angestrebt werden, ausserhalb dieses Gebietes und zu einem guten Teil ausserhalb der ganzen Mathematik bestimmt worden. Hier konstituieren also die äusseren Einwirkungen zugleich Energie und Lotse. Das gleiche liesse sich für die mathematische Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie nachweisen.

Disziplinen wie die Topologie sind von der Mathematik-externen Wirklichkeit besser abgeschirmt. Äussere Wechselwirkungen sind in der Topologie nahezu ausschliesslich Wechselwirkungen mit anderen Gebieten der reinen Mathematik, insbesondere der Zahlentheorie, der Algebra, der komplexen Analysis, den partiellen Differentialgleichungen, der algebraischen Geometrie und der Differentialgeometrie, und mit der abstrakten Gesamtprägung der modernen Mathematik: dem Studium der Komplexität als solche. (Natürlich gibt es wie immer prominente Ausnahmen: die Katastrophentheorie, die qualitative Theorie der Turbulenz und als jüngstes Beispiel ein Durchbruch in der Klassifizierung vierdimensionaler differenzierbarer Mannigfaltigkeiten (Scientific American 247:4 (Okt. 1982), 62-65).

Wenn schon zur Zeit Galileis beide, Wissenschaft und Praxis als Netzwerke zu betrachten waren, wenn im 19. Jahrhundert die Differenzierung von Physik und Ingenieurwissenschaften, von reiner Mathematik und angewandter Mathematik Voraussetzung für die Verwissenschaftlichung der Technologie war, - dann ist es eigentlich auch nicht sonderbar, dass

sich diese Züge in der reifen wissenschaftlich-technischen Revolution noch tiefer ausprägen. Die obigen erkenntnistheoretisch orientierten Argumente dafür, dass die Segmentierung für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystemes Wissenschaft-Technologie notwendig ist, werden also von der historischen Kontinuität gestützt. (Zu dem Folgeproblem, der möglichen Determination der Art der Leistungen - gewissenlose und/oder bewusstlose Mithilfe bei der Zerstörung der Natur und den Töten von Mitmenschen - kehren wir zurück.)

Es bleibt noch die Frage der Rüstung. Was würde hier die historische Kontinuität besagen?

In der gesamten Weltgeschichte waren Rüstung und Krieg für die Mathematik nie etwas besonders. Der Krieg war als Teil der Praxis in seinem Verhältnis zur Mathematik mit allen anderen Teilen der Praxis vergleichbar. Hatte der Krieg gesellschaftliche Priorität, so machte er auch den grossen äusseren Einfluss aus (vgl. die École Polytechnique). Selten, wenn überhaupt waren die militärischen Einflüsse auf die Mathematik von spezifisch militärischem Charakter. Hätte die Royal Society sich um Holzeinsparungen in der Handelsmarine bemüht, würden Hookes Arbeiten nicht anders ausgesehen haben. Hätte es jemanden gegeben, der für die Berechnung des Luftwiderstands von Zuckerkugeln bezahlen wollte, wären die Fragen an die Mathematik nicht anders als in der Ballistik ausgefallen*.

Ist das heute anders? Betrachten wir zum Beispiel die Sequenzanalyse, wie sie im Zweiten Weltkrieg entwickelt wurde. Die statistische Analyse der Zuverlässigkeit einer Produktionslinie war natürlich wichtig für die Massenproduk-

---

* Unten werden wir zu verschiedenen negativen Auswirkungen des militärischen Einflusses auf der Mathematikentwicklung zurückkehren, unter den Stichwörtern "Punktualisierung" und "Überfrachtung". Sie sind in der Geschichte der Mathematik nicht so deutlich zu sehen - wohl besonders weil keine Mathematik entstand wo sie zu stark waren. Ein Beispiel haben wir schon oben erwähnt: Die portugiesische Navigationswissenschaft.

tion von Waffen und Munition unter Kriegsbedingungen. In der Tat war sie im zivilen Leben vorher auch nie so wichtig gewesen, dass man sie entwickelt hätte. In der realen Geschichte war also der Krieg die notwendige Bedingung für die Formulierung als wissenschaftliches Problem und für seine Lösung - wie einst die Kriegsmarine. Heute aber handeln die Standardbeispiele in den modernen Lehrbüchern der Statistik von der Qualitätskontrolle in der zivilen Produktion und anderen ungefährlichen oder sogar nützlichen Stichprobenauswertungen, die natürlich alle ebensogut den Anlass für A. Walds bahnbrechende Arbeiten auf dem Gebiet der statistischen Entscheidungstheorie hätten geben können. Die Ausarbeitung dieser Technik (deren fundamentale Ideen, wie in so vielen Parallelfällen, schon vor dem Krieg vorlagen - D.B. Owen 1976 :139f, 34off) wurde von "der ausserordentlichsten Gruppe von Statistikern, die jemals organisiert wurde" (Rees 198o:614) 1942-1945 vorgenommen. Für eine solche Organisierung von Forschern was das Zivilleben bis 1941 nicht reif gewesen*.

Die Möglichkeit einer zivilen Entstehung der Sequenzanalyse ist eine ahistorische Spekulation. Es gibt aber eine andere kriegsgeförderte mathematische Technik, der (wie schon oben berührt) eine unabhängige Entstehung im zivilen Bereich nachgewiesen werden kann: Der erste Beginn der Linearen Programmierung, die von T. Koopmans für die Transportoptimierung im Pazifischen Krieg entwickelt wurde, findet sich in ebenso entwickelter Form schon in L.W. Kantorowitschs Arbeit <u>Mathematische Mathoden für die Organisation und Planung der Produktion</u> aus dem Jahr 1939 (cf. Rees 198o: 618), die im Zusammenhang mit dem sowjetischen Fünfjahresplan stand.

---

* Gewisserweise ist also trotzdem der Krieg für die Wissenschaft eine besondere Art der Praxis. Ohne den extremen Druck des totalen Krieges lässt sich (oder liess sich bis 1945) die kapitalistische Gesellschaft nicht zu solcher rationalen Organisierung zwingen, die eine eigentliche Ausnützung der Potentialitäten der Wissenschaften ermöglicht.

Moderne Beispiele für den nicht spezifisch militärischen Charakter der militärischen Einflüsse auf Wissenschafts- und Technologieentwicklung finden wir in der Entwicklung der wichtigsten höheren Programmierungssprachen. COBOL (COmmon Business Oriented Language), die heute in der administrativen Datenverarbeitung am weitesten benutzte (und damit insgesamt verbreiteteste) Programmierungssprache, verdankt ihre Entstehung einer vom Pentagon 1959 - 1961 organisierten Kommissionsarbeit, in der Luftwaffe und Flotte mit den grössten elektronischen Herstellerkonzernen und den grössten Industrikonzernen zusammenwirkten (Sammett 1969:33off). Auch die schnelle Verbreitung verdankte COBOL der Pentagonerklärung, nur mit COBOL oder mit "beweisbar gleichwertigen" Sprachen ausgestattete Maschinen zu kaufen (mdl. Mitteilung H.B. Hansen). Die Bedeutung des Militärs als Abnehmer war so gross, dass in der Praxis alle Hersteller COBOL anbieten mussten.

Die Entwicklung von FORTRAN, FORmula TRANslating System,

Wer brauchte COBOL ?

Bei der Entwicklung von COBOL gehörten die folgenden Organisationen der vom Pentagon einberufenen Kommission an:

Air Materiel Command, United States Air Force; National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce; Burroughs Corporation; David Taylor Model Basin, Bureau of Ships, U.S. Navy; Electronic Data Processing Division, Minneapolis-Honeywell; Regulator Company; International Business Machines Corporation; Radio Corporation of America; Sylvania Electric Products, Inc.; Univac Division of Sperry-Rand Corporation.

Darüber hinaus nahmen die folgenden weiteren Organisationen an der Arbeit der "Maintenance Group" teil:

Allstate Insurance Company; Bendix Corporation, Computer Division; Control Data Corporation; Dupont Corporation; General Electric Company; General Motors Corporation; Lockheed Aircraft Corporation; National Cash Register Company; Philco Corporation; Standard Oil Company (N.J.); United States Steel Corporation.

(Rosen 1967: 121f).

der für wissenschaftlich-technische Berechnungen auch heute noch am weitesten verbreiteten Sprache, erzählt dieselbe Geschichte in anderer Weise: Die Sprache wurde von IBM scheinbar auf eigene Initiative seit 1954 entwickelt. Die Entwicklung ist eng mit IBMs Versuch verknüpft, als Büromaschinenkonzern in den Markt der wissenschaftlich-technischen Berechnungen und der schnellen Grosscomputer einzudringen. Alle institutionellen und personellen Verknüpfungen zeigen aber, dass dieser Markt im wesentlichen mit dem Markt der militärischen und nuklartechnologischen Auftraggeber identisch war (University of California, Radiation Laboratory; United Aircraft Corporation; Joint Meteorological Committee of the Joint Chiefs of Staff; Oak Ridge National Laboratory; U.S. Navy - cf. Goldstine 1972:324-331, und Sammet 1969:143).

Aus jüngster Zeit ist bekannt, dass die Entwicklung der neuen Programmiersprache ADA zur Programmspezifikation von Realtime Control- und Command-Systemen wiederum vom Pentagon mit grossem finanziellen Aufwand "NATO-wide" betrieben wird. (cf. P. Gorny, d.Bd.)

Wie COBOL für alle administrativen Aufgaben und nicht nur für die Verwaltung der Lagerhaltung von Ersatzteilen für Kampfflugzeuge geeignet ist; wie FORTRAN nur'zufälliger'-weise z.B. für den militärischen und nicht den zivilen Wetterdienst entwickelt wurde; so ist die simultane Kommunikation zwischen verschieden ausgestatteten Teilsystemen eines komplexen Systems nicht nur ein Erfordnis der NATO-Integration, sondern eine charakteristische Anforderung der gegenwärtigen Phase der wissenschaftlich-technischen Revolution.

Vielleicht ist ADA in ihrer konkreten Ausführung für zivile Zwecke überladen. Das behaupten jedenfalls einige Experten. In der Tat stellt ja die Integration aller Waffensysteme während des stundenkurzen Dritten Weltkrieges ein substantiell anders geartetes Problem dar als die Jahre dauernde Interaktion innerhalb eines Grosskonzerns, einer Nationalökonomie oder eines Kombinats. Die mögliche Überfrachtung ADAs steht so in Parallele zu den hochgetriebenen

ADA

"... nicht ein grosser Konzern der Computer-Industrie oder eine im universitären Bereich verwurzelte Gruppe von Wissenschaftlern [stand] Pate für Ada. Das amerikanische Verteidigungsministerium (kurz DoD, für United States Department of Defense) zündete die Rakete, die nach dem Willen und der festen Überzeugung ihrer Entwickler wie ein Komet in den Raum der Programmiersprachen aufsteigen soll. Zu Beginn der siebziger Jahre hatte das DoD anhand von Studien festgestellt, dass die Erstellung, Wartung und der Einsatz aller von von ihm eingesetzten Software-Produkte astronomische Summen verschlang. Für das Jahr 1973 wurde eine Zahl von 3 Milliarden Dollar für dieses Kapitel errechnet. Den Hauptgrund für diesen horrenden Betrag glaubte man in der Vielzahl der eingesetzten Programmiersprachen ausmachen zu können. Von da an ging alles im militärischen Stil weiter." (Barth 1982: 141).

Tatsächlich richteten sich die militärischen Anforderungen nicht nur auf Rationalisierung und Standardisierung "der Vielzahl der eingesetzten Programmiersprachen", sondern auch auf qualitativ neue Leistungsmerkmale, wie z.B. in Horowitz 1983: 23 beschrieben:

"Das Ziel der Sprache war es, die Programmierung von eingebetteten Computersystemen zu unterstützen. Das sind Anwendungen, die typischerweise grossmasstäblich und hoch komplex sind, ausserordentliche Grade von gleichzeitigem Geschehen beinhalten, kritisch von der Leistungserfüllung abhängen und sich fortwährend entwickeln."

The United States Department of Defense

Invites You to Attend the Debut

of the

Ada Programming Language

September Fourth and Fifth, Nineteen Hundred Eighty

U.S. Department of Commerce Auditorium

Constitution Avenue at Twelfth Street, N.W.

Presentation by Dr. Jean Ichbiah
(Principal Language Designer)

Starting at Nine o'Clock Each Morning

R.S.V.P.

Die Computerisierung der NATO-Integration als schönes Kind verkleidet. Nach Mathematical Intelligencer 2:4 (1980).

Zuverlässigkeitsanforderungen an die Militärelektronik, wie sie von Joachim Wernicke (d.Bd) als "Tribut an ein absurdes Technikverständnis" angeprangert wurde. Das, was bei ADA zivil-fortschrittlich ist, hat aber mit dieser möglichen Überfrachtung kaum etwas zu tun. Zivile Anforderungen hätten auch hier die gleiche, prinzipiell begrüssenswerte Entwicklung vorantreiben können.

Nochmals sehen wir, dass der direkte Übergang "von den Puschkingedichten" zur friedlichen industriellen Anwendung der Wissenschaften nur von der Militarisierung unserer Welt verhindert wird. Es stellt sich dann die Frage, ob der Umweg über die Rüstung ein riskanter, mörderischer, aber - abgesehen von möglichen Überlastungen - insgesamt doch ein ökonomisch kostenloser Umweg ist oder - wie das Manhattenprojekt - eine Verschwendung von Ressourcen?

Vergleichen wir die Ressourcen, die in der Militärforschung eingesetzt werden, mit den bisher bekannten Resultaten der Militärforschung für das friedliche Leben, so wird die Antwort "Verschwendung" plausibel. Darauf deutet auch die obige genauere Analyse der Spin-off-Effekte des Zweiten Weltkriegs.Für diese Antwort können auch theoretische Gründe angegeben werden:

Erstens ist die Militärforschung an Geheimhaltung gebunden. Der "natürliche" Wachstumsprozess der Wissenschaft, wo jede offene Frage und jedes wichtigere Resultat im Prinzip der weltweiten Gemeinschaft der Fachkollegen als Grundlage für Kritik und weitere Arbeit vorgelegt wird, ist dadurch gehemmt. Wissenschaftliche Information zirkuliert nur in engen, nicht einmal von den Staatsgrenzen, sondern von der jeweiligen Militärforschungsinstitution definierten Bahnen. Das erinnert an die obige Diskussion der portugiesischen Navigationswissenschaft des 15. Jahrhunderts. Man kann auch an die frühe Entwicklung der Kernenergie denken, wo wegen der Verwendung der Reaktoren für die Bombenherstellung "die ersten Entwicklungen unter strengster Geheimhaltung vorgenommen wurden, wodurch die verantwortlichen Ingenieure und Physiker vor dem kritischen Urteil der grossen Mehrheit ihrer Kollegen über die von ihnen entwickelten Technologien abgeschirmt waren"; nach

Burhop (198o:2) sei dies eine wesentliche Quelle der noch immer auftretenden Probleme dieser Technologie. Vergleiche auch den Kasten über IBM und Univac, S. 24.

Zweitens haben die der Wissenschaft vom Militär gestellten Fragen meistens punktuellen Charakter und sind innerhalb kurzer Zeit zu beantworten. "Lieber eine brauchbare Antwort jetzt als eine theoretisch durchgearbeitete in zwei Jahren". Auch dies erinnert an die unfruchtbar gebliebene portugiesische Navigationswissenschaft. Besonders nach den frühen 6oer Jahren, wo ein Pentagon-Forschungsprojekt "Hindsight" sehr wenig Ausbeute für das Militär in der gesamten Nachkriegs-Grundforschung fand, setzte sich die Tendenz immer stärker durch, dass die Rüstungsproduktion in ihrer Entwicklung nur schon vorhandenes theoretisches Wissen verwandte.

Beide Umstände tragen dazu bei, dass die für Militärforschung verbrauchten Mittel weniger "Wissen pro Mark" hervorbringen als Mittel für offene, zivile und grundwissenschaftliche Forschungen. Dazu kommt, dass nicht alles vernichtungswissenschaftliche Wissen für friedliche Zwecke voll anwendbar ist. "Weniger Wissen pro Mark" wird demnach noch weniger zivil verwendbares Wissen pro Mark.

"Projekt Klugheit im nachhinein"

Im Jahr 1963 analysierte das Pentagon die Technologie von 20 avancierten Waffen (verschiedene Kernwaffen, Raketen, Radarausrüstung, einen Navigationssatellit und eine Seemine). Für jedes dieser Waffensysteme wurden - soweit wie möglich - die Einzelbeiträge von seit 1945 neu geschaffenen wissenschaftlichen und technischen Erkenntnissen aufgespürt. Von den 556 auf diese Weise registrierten Einzelbeiträgen entfielen 92% auf technische Entdeckungen, knapp 8% auf angewandte Forschungen und nur zwei auf die Grundforschung.

Obwohl die Methodologie dieses Projektes "Hindsight" angreifbar ist (so wurde z.B. die gesamte Halbleitertechnologie nur als ein Einzelbeitrag, der Transistor, gezählt), bemerkt man doch, dass die Technologie hauptsächlich von Ergebnissen des Technologie-Subsystems genährt wird.

(Greenberg 1969:59)

Einige kritische Beobachter der Rüstungswirtschaft gehen noch weiter und behaupten, dass überhaupt kein oder fast kein zivil verwendbares Wissen aus der Rüstungsforschung entspringt. So Mary Kaldor (1981), nach der die Militärtechnologie seit den späten 5oer Jahren so spezialisiert und die sozio-ökonomische "autistische Triebkraft" des militärisch-industriellen Komplexes auf genau diese Spezialisierung so dominierend geworden seien, dass der "Rüstungsbarock" nur zu völliger technologischer Degeneration führt (vgl. auch Wernicke, dieser Band). So auch ungefähr der amerikanische Marxist Victor Perlo (1974:172), während der sowjetische Ökonom Viktor Kudrow (1981), sowie westdeutsche und japanische Konkurrenten der US-amerikanischen Grossfirmen eine auch wirtschaftlich positive Rückwirkung der Rüstungsausgaben auf die technologische Spitzenposition der USA fürchten.

Konkurrenten haben ihren guten Grund, sich nicht zu irren. Wir können ihnen deshalb wohl soviel Vetrauen leihen, dass "weniger Wissen" Wissen bleibt. Auf der anderen Seite gelten Kaldors Argumente für viele, wenn nicht für alle Gebiete der Rüstungstechnologie; "weniger Wissen" bleibt damit, auch nach den erwähnten Beobachtern des empirisch feststellbaren technologischen Fortschrittes, weniger.

Das alles gilt für militärisch gebundene Forschung im allgemeinen: Alle Wissenschaften, nicht nur die Mathematik, werden durch die Militarisierung gehemmt. Ausserdem ist die Militarisierung nicht die einzige Quelle für Geheimhaltung, Doppelforschung, Fehlorientierung und Punktualität. Auch der ökonomische Konkurrenzkampf im Kapitalismus, besonders im heutigen Monopolkapitalismus, sowie die Publish-or-Perish-Degeneration des wissenschaftlichen Milieus fördern solche Tendenzen.

Gegen die Wirkungen ökonomischer Kräfte und soziologischer Strukturen arbeiten aber andere Kräfte: Öffentliche Patentregister, die sozialen Normen des wissenschaftlichen Lebens, Bürgerproteste gegen barocke Technologie und sogar die Interessen der Grosskonzerne selbst an einem gewissen Handel mit Wissen. Diese korrigierenden Kräfte werden im

Fall der Militärforschung weithin ausser Kraft gesetzt. Man vergleiche hier die jüngste Anordnung Reagans einer Totalklassifizierung amerikanischer wissenschaftlicher Ergebnisse (vgl. Kasten), was weder den Know-How-nützenden und -verkaufenden Konzernen noch den Wissen-austauschenden Wissenschaftlern passen wird.

Es gilt aber auch für die Mathematik. Überdies ist es eine Frage, ob nicht jedenfalls die Punktualisierung die Mathematik noch härter als die anderen Wissenschaften trifft? Anforderungen der Praxis an z.B. die Physik fordern oft ein Totalverständnis des physikalischen Phänomens; so bei den Anforderungen der modernsten Computertechnik an die Festkörperphysik, der Fusionsreaktoren an die Plasmaphysik, der Meteorologie an die Hydrologie etc. Militärische wie überhaupt die meisten anderen praktischen Anforderungen an die Mathematik sind jedoch häufig über technische Fragestellungen vermittelt, wo die Mathematik lediglich als Hilfswissenschaft eingeht, die konkrete Einzelfragen beantwortet. Hier "tritt die Mathematik nicht mehr als die 'Königin der Wissenschaften' auf, sondern sie übernimmt die Funktion einer Hilfswissenschaft für die anderen Disziplinen oder für die Anwendungen im täglichen Leben" - wie im Grusswort des Vorsitzenden der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 1982 formuliert (H. Werner 1982:67). In solchen Fällen nehmen die Fragen leicht einen punktuellen Charakter an und sind kaum in eine innermathematische Entwicklung zu integrieren.

Das muss nicht so sein. Innerhalb der jüngeren Mathematik gibt es auch Beispiele, wo ein ganzer Zweig mathematischer Forschung entwickelt werden musste, um das praktische Problem zu lösen; so bei der Schaffung der Kontrolltheorie für die Raketensteuerung (cf. Whittle 1971:142-145). Das muss also nicht so sein, ist aber im grossen und ganzen heute so.

Bisher diskutierten wir die Verbindung der Mathematik zum militärischen Establishment, wie sie durch die Suche nach Anwendungen motiviert ist. Insbesondere in den Vereinigten Staaten, aber auch anderso, gibt es allerdings noch eine andere Verbindung, die den Blick verwirren kann: Die Finan-

ZUTRITT VERBOTEN! Wissenschaftlicher Arbeitsplatz!

Seit langen klassifizieren (geheimstempeln) wechselnde amerikanische Regierungen militärisch empfindliche wissenschaftliche Ergebnisse, allerdings von Eisenhower über Nixon bis Carter mit abschwächender Tendenz. Seit 1980 gibt es eine gewaltsame Umkehr dieser Tendenz.
Noch unter Carter wurde von der National Security Agency, der National Science Foundation und dem American Council of Education eine Kommissionsarbeit in Gang gesetzt, die eine Vorzensur aller wissenschaftlicher Publikationen auf dem Gebiet der Kryptologie vorbereiten sollte. Im April 1982 entsprang daraus die Aufforderung an die Mitglieder der American Mathematical Society, sich bis auf weiteres freiwillig einer Vorzensur zu unterwerfen - "Wir würden die Gelegenheit begrüssen, Artikel, Manuskripte oder anderes Material von jedem durchzusehen und zu kommentieren, der kryptologische oder mit der Kryptologie verwandte Forschungen durchführt und der mögliche Implikationen solcher Forschung für die nationale Sicherheit vermutet (Notices of the American Mathematical Society 29:4 (Juni 1982), 322f).

Vom gleichen Monat stammt die neue "Executive Order on Classification of National Security Information", die der Reagan-Administration eine Zwangsklassifizierung aller wissenschaftlichen, technologischen und ökonomischen Informationen ermöglicht, die in ihren Augen die nationale Sicherheit berühren. Im Prinzip wird dadurch alle wissenschaftliche Information erfasst, wenn sie nicht ausdrücklich davon ausgenommen ist.

Zwar wird in der Endfassung des Erlasses der grösste, aber nicht klar definierte Teil der Grundforschung von der obligatorischen Vorzensur ausgenommen; die Verwaltungspraxis zeigt aber doch eine sehr extensive Auffassung der Sicherheitsbedeutung von Wissenschaft. So hatte schon 1980 das Handelsministerium bei den Veranstaltern einer internationalen Konferenz über Bubble Memory interveniert und mit Androhung von 10 Jahren Haft, einer Geldbusse von $ 10.000 und einer Schadensersatzforderung in der fünffachen Höhe des Gesamtwertes aller gezeigten Geräte die Wiederausladung der sowjetischen und der anderen osteuropäischen Tagungsgäste durchgesetzt.

Freiherzig schlug der damalige Vizedirektor der CIA in einer Rede vor der American Association for the Advancement of Science die folgende Organisationsform der geplanten Totalklassifizierung vor: "In den Bewertungsprozess [sowohl vor Beginn eines Forschungsprojektes, wie vor der Publikationsentscheidung] sollte die Frage möglichen Schadens für die Nation einbezogen werden." (Gerjuoy 1982: 31-37).

Die neue Klassifizierungsmanie wird nicht nur die amerikanische Wissenschaft, die amerikanische Ökonomie und die amerikanische Demokratie im allgemeinen beeinträchtigen, sondern gerade die amerikanische Militärindustrie in ihrer Entwicklung besonders hemmen. Zu diesem Ergebnis kam eine Kommissionsarbeit, die von den wissenschaftlichen Akademien, dem Pentagon und privaten Stiftungen unterstützt wurde und die von prominenten Wissenschaftlern, Universitätsadministratoren, ehemaligen hochgestellten Regierungsbeamten und Direktionsmitgliedern spitzentechnologischer Firmen durchgeführt wurde. (Scientific American 247:6 (Dez. 1982), 65f).

zierung von Forschung, darunter auch mathematischer Forschung, um die Integration der Univervitäten und der Forscher in "das Leben der Nation" zu fördern - wie der ehemalige US-Vizepräsident Hubert H. Humphrey so schön die Integration der Universitäten in den militärisch-industriellen Komplex 1968 bezeichnete (Lang 1971:73). Es handelt sich also um Be-

Kauf und Verkauf von Loyalität

Dass auch in der Mathematik Forschungsfinanzierung zum Kauf von Loyalität stattfindet, wird von Serge Lang (1971) ausführlich nachgewiesen. Er stellt den Zusammenhang zwischen Verteidigungsministerium, öffentlicher Forschungsfinanzierung im allgemeinen und Universitäten dar mit einer Fülle von Beispielen von Einschüchterungsversuchen amerikanischer Mathematiker auf dem Höhepunkt des Vietnamkrieges - und die Gegenkräfte, welche die Mathematiker gemeinsam organisieren konnten.

So die Geschichte von L.LeCam und J. Neyman, zwei berühmten Statistikern von Berkeley, die in den 50er und 60er Jahren ihre öffentlich publizierten Forschungen z.T. mit Militärgeldern finanziert hatten. 1968 waren sie Mitunterzeichner eines Appells in den Notices of the American Mathematical Society:

"Jobmöglichkeiten in Kriegsarbeit werden in den Notices ... annonciert. Wir fordern Sie auf, sich selbst als verantwortlich für die Anwendung Ihrer Talente zu betrachten. Wir glauben, dass diese Verantwortlichkeit es verbietet, Mathematik in den Dienst dieses grausamen Krieges zu stellen."

Obwohl die Unterzeichnung eines solchen Appells die militärische Nutzung ihrer Forschungsergebnisse nicht beeinflussen konnte, wurde den zwei "illoyalen" Kontraktnehmer von Army und Navy damit gedroht, dass ihre Forschungskontrakte nicht weiterlaufen könnten - angeblich um ihnen eine "unmögliche Gewissenskonflikt-Situation" zu ersparen. (Dazu Neyman: "Ich habe Kriegsarbeit im Zweiten Weltkrieg geleistet. Seit 16 Jahren mache ich das nicht. Ich beweise Theoreme. Sie werden publiziert. Und was danach mit ihnen geschieht, weiss ich nicht.").

Die Drohung machte Skandal. Nach weiteren Überlegungen erneuerten die zwei Statistiker ihre Anträge an das Office für Naval Research, Neyman für ein Projekt über Wetterveränderungsstatistik, die er als "potentiel nützlich für Nation und Menschheit" betrachtete.

Beide erhielten die Bewilligung ohne zu Kreuze zu kriechen. Weniger bekannte Wissenschaftler waren aber nicht in derselben glücklichen Lage. Eine interne Dienstvorschrift des Director of Defense Research and Engineering für die gesamte militärische Forschungsfinanzierung gab die Anregung, in allen politisch zweifelhaften Fällen die wissenschaftliche Qualität und Produktivität des Antragstellers sehr kritisch unter die Lupe zu nehmen - einmal, weil direkt-politische Ablehnungsbegründungen zu vermeiden seien, und dann auch, weil gewisse Projekte auch von politisch weniger loyalen Antragstellern zu militärisch bedeutenden Ergebnissen führen könnten. (S. 53-58, Wiedergabe der Dienstvorschrift S. 57).

zahlung, die nicht militärisch nutzbares Know-How, sondern ideologische, politische und moralische Loyalität kauft. Dieses Verhältnis ist aber den Beobachtern und oftmals auch den gekauften Teilnehmern nicht klar. Einige Mathematiker lachen sich ins Fäustchen, weil die den dummen "colonels" ihre kleinen grundwissenschaftlichen Hobbies als potentiell militärisch relevant aufgeschwatzt zu haben glauben - wobei sie aber streng darauf achten, die Auftraggeber nicht zu verletzen. Privat sind die stolz darauf, dass sie so dem Destruktionsapparat Mittel entzogen haben, indem sie ihre Hilbertraum-Forschung als Raumfahrtforschung durchscheinen liessen. Andere dagegen finden ihren Stolz darin, dass sie in das "Leben der Nation" integriert sind, und ihre Forschungen, die sie bisher bedauernd als irrelevant ansehen mussten, nun doch für die Nation von Interesse zu sein scheinen. Kritische Beobachter endlich sehen in der weitverbreiteten militärischen Finanzierung oder Bezuschussung von Grundforschung den Beweis dafür, dass alle Wissenschaft durch und durch militarisiert ist.

Es gibt natürlich Beispiele, wo es schwer zu entscheiden ist, ob es sich um ideologische Eingliederung des wissenschaftlichen Produzenten (und Hochschullehrers) oder um eine besonders raffinierte Einfügung eines esoterisch wirkenden Einzelresultats in ein fortgeschrittenes militärisches Projekt handelt.

In den unzweifelhaften wie in den zweifelhaften Fällen ist es aber klar, dass die Mittel, die jetzt zur Integration und Einschüchterung der Mathematiker über militärische Konten an die Grundforschung vergeben werden, diese ohne den militärischen Umweg eben so gut gefördert hätten.

6. Was tun?

Die Mathematik, so wie sie sich historisch bis zum Anfang unseres Jahrhunderts entwickelt hatte, war, wie wir gesehen haben, kein Kind des Krieges. Der neue, tendenziell zunehmend totale Charakter von Krieg und Kriegsvorbereitung hat in Verbindung mit der wissenschaftlich-technischen Revolution die militärischen Einflüsse auf die mathematische Forschung wachsen lassen und zu bedeutenden militärischen Anwendungen mathematischer

Ergebnisse geführt, ohne bislang jedoch für die Mathematikentwicklung richtungsgebend geworden zu sein - wie oben dargestellt.

Die Diskussion im vorigen Kapitel zeigt uns auch, dass - forschungslogisch gesehen - sich die Mathematik in einer friedlichen Welt ebenso gut und vielleicht besser hätte entwickeln können, wenn ihr nur dieselben oder gerne auch etwas bescheidenere Mittel zur Verfügung gestellt würden. Mathematiker sind also ihrem Begriff und ihrem Interesse nach nicht notwendig mit der Rüstung verbunden. Das mag einigen ihr schlechtes Gewissen als Angehörige eines "verderbten Faches" erleichtern.

Aber Mathematik und Mathematiker existieren nicht forschungslogisch, sondern in der realen Welt mit ihrer sehr realen Militarisierung:

Mathematiker berechnen die "Enthauptung" der Sowjetunion durch einen nuklearen Erstschlag. Sie berechnen die Techniken des Erstschlages, insbesondere die Zielgenauigkeit der eigenen Raketen, d.h. die Fähigkeit, die landsbasierten Raketen des Gegners in ihren Silos zu zerstören, und die akustische Unterwasserortung der gegnerischen Atom-U-Boote, wodurch die Risiken einer nuklearen Vergeltung beseitigt werden sollen; sie berechnen die Miniaturisierung von Wasserstoffbomben und die wahlweise Optimierung ihrer Spreng- oder Strahlungswirkung durch eine genaue Steuerung des zeitlichen Verlaufs der Zünd-, Fissions- und Fusionsprozesse; sie berechnen die vertikale Proliferation, die immer schwerer zu kontrollierende quantitative Ausweitung der Trägermittel, Erhöhung der Reichweiten ballistischer Raketen durch neuartige Brenngeometrien und Entwicklung von winzigen Hochleistungstriebwerken für Langstrecken-Cruise Missiles; und sie berechnen die Gesamtstrategie des Erstschlages, wobei der Tod von 3o bis 6o Millionen Amerikanern als "admissible losses" vorausgesetzt, die Vernichtung Westeuropas als Verbrauch eines "dispensable item" betrachtet und an dem Tod von vielleicht 15o Millionen sowjetischer Zivilisten als "collateral damages" vorbeigegangen wird.

DAS BUDGET DER NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (USA) FÜR MATHEMATIK UND ANDERE WISSENSCHAFTEN

	Verbrauch 1979 (Millionen $)	Änderung 1979-1980 (%)	Verbrauch 1980 (Millionen $)	Änderung 1980-1981 (%)	Verbrauch 1981 (Millionen $)	Änderung 1981-1982 (%)	Budget 1982 (Februar 1982)	Änderung 1982-1983 (%)	Regierungsvorschlag für 1983 (Februar 1982)
(1) Mathematische Forschung (ohne Informatik u. (3))	22.8	9.6%	25.0	13.2%	28.3	10.3%	31.2	8.7%	33.9
(2) Andere Forschungsförderung (einschl. Informatik, ohne (3))	761.0	7.5%	817.7	6.8%	873.7	-0.3%	870.8	9.5%	953.4
(3) Erziehung, wiss. Information, internationale Zusammenarbeit	88.4	7.9%	95.4	-15.5%	80.6	-61.9%	30.7	-27.0%	22.4
(4) Verwaltungskosten	54.7	6.4%	58.2	1.7%	59.2	7.3%	63.5	-0.6%	63.1
(5) Summe (1)-(4)	926.9	7.5%	996.3	4.6%	1041.8	-4.4%	996.2	7.7%	1072.8
(6) (1) in % von (1)+(2)	2.91%		2.97%		3.14%		3.46%		3.43%
(7) (1) in % von (5)	2.46%		2.51%		2.72%		3.13%		3.16%

(Notices of the American Mathematical Society 29:3 (April 1982), 238)

Die Tabelle wurde einem Artikel über das Budget der National Science Foundation für 1983 entnommen. Andere Tabellen im gleichen Artikel zeigen, dass der Löwemanteil der Mittel für die mathematische Forschung weiterhin in die mathematische Grundforschung fliessen soll, in realen Dollars nicht erhöht - aber doch weniger gekürzt als die anderen Wissenschaften im Durchschnitt, von den Erziehungsprogrammen ganz zu schweigen. Ebenso von den Kürzungen ausgenommen sind die Informatik, die Physik, die Chemie und die Materialforschungen. Die eigentliche Erhöhung in der Mathematik betrifft das Gebiet "Special Projects", worunter Forschungsaktivitäten verstanden werden, die mehr als ein Gebiet der Mathematik nutzen oder sonstwie vom Lehrbetrieb abgekoppelt erscheinen.

Dies ist aber nur das vielleicht schlagendste Beispiel der Verwicklung der Mathematik in die Kriegsvorbereitung. Wie wir schon gesehen haben, wurde die Entwicklung der Mathematik seit den vierziger Jahren weitgehend militärisch finanziert; viele Mathematiker wurden auf die eine oder andere Weise ideologisch eingegliedert; und einige theoretische Gebiete der Mathematik wurden sogar direkt zur Zufriedenstellung militärischer Bedürfnisse entwickelt oder weiterentwickelt. Insgesamt ist überhaupt die Mathematik als vielleicht wichtigster Teil der Infrastruktur der modernsten Wissenschaft und der fortgeschrittensten Technologie zu betrachten. Die neueste Erhöhung des Budgets der mathematischen Grundforschung inmitten aller Einsparungen im Zivilbereich durch die Reagan-Regierung deutet darauf hin, dass die militärische Verwicklung der Mathematik jedenfalls von der US-Regierung vorausgesetzt wird und das wahrscheinlich nicht ganz ohne Grund.

Die militärische Verwicklung ist nicht der einzige Bezug der Mathematik zur realen Welt. Eine andere Herausforderung der abstrakten forschungslogischen Betrachtungsweise ist die Frage, ob in einer friedlichen Welt der Mathematik "dieselben oder gerne auch etwas bescheidenere Mittel zur Verfügung gestellt würden"?

"Warum denn nicht", möchte man als ehrlicher Mensch fragen. Tatsächlich muss man aber auch die gesellschaftlichen Bedingungen in der realen Welt bewerten. Die reale Welt ist bei uns im "Westen" die Welt eines hochorganisierten Monopolkapitalismus; einige werden behaupten, dass ein solcher "gesetzmässig" zu Rüstung und Aggressivität getrieben wird und dass er sich nur deshalb letztlich für Forschung und technologische Entwicklung interessiert. Eine auf den Grund gehende Auseinandersetzung mit diesen beiden Fragen würde uns zu weit führen. Hier sei nur bemerkt: Erstens ist die grosse Frage das ob und wie der Machbarkeit eines friedlichen Monopolkapitalismus (oder, falls das nicht möglich ist, des Sozialismus), nicht die des Weiterforschens, wenn der Monopolkapitalismus erst einmal zur friedlichen Weiterentwick-

lung (oder zur Abdankung) gezwungen worden ist. Zweitens ist die Rüstung zweifellos eine wichtige Triebkraft dafür, dass die USA ungefähr zwei Prozent ihres Bruttosozialproduktes für die Forschung und Entwicklung ausgeben. Es gibt aber im Monopolkapitalismus in der Konkurrenz zwischen Staaten und zwischen Firmen starke ökonomische Bedürfnisse für forschungsbasierte Produkt- und Prozessentwicklung, die ohne weiteres etwa zwei Drittel der heutigen Budgets für Forschung und Entwicklung sichern würden (eigene Schätzung nach Vergleich der internationalen Forschungsstatistik).

Die Mathematik ist also in der wirklichen Welt, wie sie existiert und wie sie nach augenblicklichen Tendenzen weiterexistieren wird, mit der Rüstung verbunden; in dem Mass, wie es überhaupt Möglichkeiten gibt, diese Welt der Wirklichkeit friedlich zu machen, gibt es auf der anderen Seite auch realisierbare Möglichkeiten, die Mathematik von der Rüstung loszureissen.

Das legt uns als Mathematiker die Verantwortung auf, das Realisierbare nach besten Vermögen zu realisieren. Das bringt uns weiter an die Frage, wie das Realisierbare zu realisieren sei?

Für solche Fragen war ein Teil der Physiker seit 1945 immer empfänglicher als die Mathematiker. Es ist seit Hiroshima und Nagasaki für Physiker direkter einsehbar als für Mathematiker, dass sie mit einem Bein im Zuchthaus stehen. Einer von ihnen, E.L. Woollett, schrieb kürzlich mit Galgenhumor: "Ein Physiker kann seine möglichen Beiträge zur Dekkung militärischer Bedürfnisse minimieren, indem er entweder nicht oder schlecht lehrt, und indem er entweder keine Forschung betreibt oder nur solche Forschung, die keinen Fortschritt in grundwissenschaftlichem oder angewandtem Wissen produziert" (Woollett 198o:1o6).

Die zweite Hälfte dieses Aphorismus drückt lediglich erneut den Netzwerkcharakter des wissenschaftlichen Wissens aus: Begriffe, Methoden und Techniken, die für die Beherrschung der Probleme eines vielleicht ganz abstrakten Gebietes entwickelt werden, sind nicht dagegen gesichert, dass sie plötzlich

Diplom-Mathematiker für "Staat, Wehrmacht und Wirtschaft"

Zu dieser Frage schreibt uns Horst-Eckart Gross:

Die Studienordnung für Studierende der Physik sowie für Studierende der Mathematik (mit der die Diplom-Prüfung sowie der "Diplom-Mathematiker" eingeführt wurde) wurde durch Erlass des Reichsministers für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung vom 7.August 1942 verkündet, und z.B. in der Zeitschrift "Studium und Beruf", 12. Jg., Heft 9 vom September 1942 veröffentlicht (S.97-100). Zur Begründung der Einführung steht dort auf S.97: "Die wachsenden Anforderungen, die Staat, Wehrmacht und Wirtschaft an die Physiker und Mathematiker stellen, machen es notwendig, die Ausbildung der künftigen Vertreter dieser Fachgebiete auf eine neue Grundlage zu stellen." Die Reform ist das Ergebnis einer langen Diskussion, die allerdings erst nach 1933 begonnen hatte.

In dem Artikel "Die neue Studien- und Prüfungsordnung für Wirtschaftsmathematiker im Grossdeutschen Reich" von Loys Timpe, erschienen in "Zeitschrift für die gesamte Versicherungwissenschaft" Jg.43/1943,S.65-71 führt der Autor auf S.71 aus: "Die Schritte zur Verwirklichung des Diplom-Mathematikers, die bei Kriegsausbruch im Ministerium schon in die Wege geleitet, aber durch die Kriegsverhältnisse dann ins Stocken gekommen waren, wurden im Herbst 1941 durch die dankenswerte Initiative des zuständigen Dezernenten erneut vorwärtsgetrieben und nunmehr zum glücklichen Abschluss gebracht." Hieraus wird deutlich, dass Pläne bereits vorhanden waren, aber dass im Ministerium diese Frage für so wichtig gehalten wurde, dass selbst 1942 dieser Frage entsprechende Aufmerksamkeit gewidmet wurde, also - berücksichtigt man den Zeitpunkt - diese Studienreform als kriegswichtig erachtet wurde. Betrachtet man den damaligen Mangel an Mathematikern sowie den wachsenden Einsatz der Mathematiker und der Mathematik in der Rüstung, so dürfte dies auch einsichtig sein.

(Private Mitteilung)

in militärischem Zusammenhang konkrete Vernichtungsbedeutung erlangen. Die erste Hälfte drückt dagegen etwas Neues aus. Bislang hatten wir die Mathematik nur als abstraktes corpus von Wissen betrachtet. Mathematiker bilden aber auch Studenten aus, von denen viele, wenn sie einmal fertig ausgebildet sind, nicht in die Grundforschung und auch nicht in die Schule gehen werden, sondern in die Anwendungen, darunter die Rüstung. Auf dieses Verhältnis weist auch die Tatsache hin, dass der "Diplom-Mathematiker", also der mit spezifischem Hinblick auf die

Praxis ausgebildete Mathematiker, gerade im "Dritten Reich" erfunden wurde.

Wir müssen also die Verantwortung des Mathematikers unter zwei Gesichtspunkten diskutieren: Seine Verantwortung als Forscher und seine Verantwortung als Hochschullehrer. Hier sei eine Bemerkung vorausgeschickt: Viele der Wissenschaftler, die überhaupt die Verantwortungsfrage diskutieren, meinen, dass die Verantwortung für die gegenwärtige von tödlicher Gefahr gezeichnete Situation "allein bei den Wissenschaftlern liegt" - so z.B. S. Zuckerman (1982:1o2-1o6), langjähriger wissenschaftlicher Hauptratgeber des britischen Verteidigungsministers und später des britischen Premierministers. Dies ist wohl eine Selbstüberschätzung. Der Wissenschaftler ist mitverantwortlich, wenn er sich als bewusstloses und gewissenloses Instrument verwenden lässt. Verantwortung wird aber nicht dadurch vermindert, dass sie geteilt ist. Wer mitverantwortlich ist, der ist auch verantwortlich.

Wie kann dann der Mathematiker als Forscher den - grösseren oder kleineren, aber immer existierenden - Spielraum für moralisch-politisches Handeln ausnutzen? Solange wir in Staaten leben, von denen wir nicht sicher sein können, dass sie ihre militärischen Mittel nicht zur Vorbereitung eines Angriffskrieges, zur Unterdrückung anderer Völker und Staaten und zur militärischen Erpressung benutzen werden, müssen wir mit der negativen Seite der Verantwortung beginnen: Was kann man vermeiden?

Man kann vermeiden, sich die mathematischen Probleme vom Militär formulieren zu lassen, das heisst: Es gibt Mathematiker, die direkt bei militärischen Behörden oder bei Rüstungskonzernen an der Übersetzung konkreter Probleme ihrer Auftraggeber in mathematische Fragestellungen arbeiten. Zu denen muss man nicht gehören.

Es gibt andere oft hoch-qualifizierte Hochschulmathematiker, die diese Fragestellungen aufgreifen, innermathematisch dafür sorgen, dass viele Mathematiker sich an der Bearbeitung dieser mathematischen Fragestellung beteiligen und schliesslich die Ergebnisse kombinieren und an die militärischen Auftrag-

Der Kamke-Appell

Vom 23-27 September 1946 veranstaltete das Mathematische Institut der Universität Tübingen eine Wissenschaftliche Tagung, "die erste nach Kriegsende in Deutschland". Sie wurde eingeleitet mit einer Ansprache von E. Kamke, in der dieser u.a. ausführte:

"Wie zum Arzt neben der medizinisch-technischen Ausbildung auch eine charakterliche Erziehung gehört die ihn selbst die gefährlichsten Hilfsmittel - Messer, Narkotika, Gifte - nur zum Wohle des Kranken verwenden lässt, so ist es unerlässlich, dafür zu sorgen, dass auch die Wissenschaftler ihre ungeheure Macht, die sie zum Herrn über Leben und Tod ganzer Völker, ja der ganzen Menschheit machen kann, nur zu deren Wohle verwenden. Während früher die Eignung für die eigentliche wissenschaftliche Forschung das hervorstechendste Merkmal des Forschers bildete, wird in Zukunft noch etwas anderes hinzukommen müssen: ein besonders hohes Berufsethos, ein auf das feinste ausgeprägtes Verantwortungsbewusstsein gegenüber den Folgen der Forschung für die Menschheit. Es wird zu erwägen sein, ob zu diesen auf moralischem Gebiet liegenden Ansprüchen an die Forscherpersönlichkeit noch organisatorische Massnahmen hinzukommen müssen, etwa als mildeste Massnahme die Einrichtung eines internationalen Informationsbüros, bei dem ohne Beschränkung der Freiheit des Forschens, alle Forschungen bestimmter Wissenschaftsgebiete anzumelden sind.

Diese Probleme sind von solcher Bedeutung, dass sie überall, wo Wissenschaftler zusammentreffen, diskutiert werden sollten. Wir alle müssen uns mit aller unserer Kraft, mit unserer ganzen Person dafür einsetzen, dass die Wissenschaft niemals mehr einem Werk der Zerstörung, sondern nur dem Wohle der Menscheit dient." (S.11 aus "Bericht über die Mathematiker-Tagung in Tübingen vom 23. bis 27. September 1946", herausgegeben vom Mathematischen Institut der Universität Tübingen. Tübingen o.J. (1946 oder 1947), Mitteilung von H.E.Gross).

geber zurückkanalisieren. Auch zu denen muss man nicht gehören.

Endlich gibt es die Vielen, Hochschulmathematiker und Examenskandidaten, die im Netz der zweiten Gruppe gefangen werden. Ob man zu ihnen gehört, ist manchmal schwer zu wissen*. Man kann jedoch oft dadurch, dass man bloss ein bisschen seine

---

* Diese dreistufige struktur der Abhängigkeit vom Militär ist sehr klar zu sehen am Fall "Mathematics Research Center - U.S. Army" der University of Wisconsin. Eine sehr genaue Untersuchung dieser Institution findet sich in The AMRC Papers.

Augen offen hält, Hinweise erhalten, wieweit die eigenen Arbeiten in ein grösseres militärisches Ganzes eingehen.

Als anderen Aspekt der negativen Seite kann man auch vermeiden, die internationale mathematische Zusammenarbeit als Schlachtfeld des kalten Krieges zu missbrauchen. Das

Internationale Zusammenarbeit : Mittel für die Wiederherstellung des Entspannungsprozesses ?

Auf mehreren internationalen Kongressen der letzten Jahre hat man gesehen, wie die internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit auf einen Vorwand für die Weiterführung politischer Konflikte des "internationalen Klassenkampfes" reduziert wurde.

Ähnliches ist schon früher in der Geschichte unserer Wissenschaft geschehen. Wir haben oben bereits den Ausschluss der deutschen Mathematiker vom internationalen Kongress in der Université de Strasbourg (nicht länger Strassburg) im Jahr 1920 erwähnt. Die Festreden wurden von Emile Picard gehalten: "Wie könnte man in dieser Universität die bewundernswerte Haltung so vieler Dozenten unserer Lehre im eben beendeten Krieg vergessen. Ihr patriotischer Glaube hat zum gemeinsamen Sieg beigetragen"; die Frage offenhaltend, ob "ernste Reue" in späteren Generationen den Wiedereintritt der deutschen Mathematiker in das "Konzert der zivilisierten Nationen" erlauben würde, fügte er hinzu, dass nach seiner Meinung "gewisse Verbrechen [die der anderen] zu vergeben, ist sich mitschuldig machen". (Proc... 1920: xxvif, xxxii). 60 Jahre später sehen wir, wie diese Doppelmoral mit dazu beigetragen hat, den Boden für den viel schlimmeren Wahnsinn der "Deutschen Mathematik" und der "Deutschen Physik" zu bereiten - wie die Hungerblockade und die Schuldenverträge aus derselben Zeit den "Versailler Komplex" geschaffen hatten, der es dem Faschismus erleichterte, sich eine Massenbasis zu erzeugen.

Einige Mathematiker brauchten nicht 60 Jahre, um sich gegen den Austausch von internationaler Zusammenarbeit in ein Schlachtfeld des fortgesetzten Weltkrieges zu wenden. Schon nach dem deutsch-französischen Krieg von 1870/71 hat der schwedische Mathematiker Gösta Mittag-Leffler die Zeitschrift Acta Mathematica u.a. zur Versöhnung zwischen deutschen und französischen Mathematikern ins Leben gerufen. Wie ausführlich von Joseph Dauben (1980) beschrieben, hat er nochmals während des Ersten Weltkriegs und in den Jahren unmittelbar danach seine Zeitschrift und sein grosses wissenschaftliches Prestige ins Spiel gebracht, um "in so kurzer Frist wie nur möglich das Zusammenarbeiten der Männer der Wissenschaft, unabhängig von politischen oder nationalen Gesichtspunkten, wieder her[zu]stellen", wie er 1919 an Max Planck schrieb (l.c. 281; weitere Zitate aus Mittag-Lefflers Briefen finden sich im folgenden Kasten).

Auch Hardy, dessen persönlichen Abscheu über die Anwendung der Wissenschaft zu Massenmord und Ausbeutung wir schon oben bemerkt haben, setzte sich und die Wissenschaft aktiv für die Versöhnung ein - gegen "die vielen stumpfsinnigen Sachen, die während des letzten Jahres von prominenten Wissenschaftlern in England und Frankreich gedruckt worden sind". (Brief an Mittag-Leffler vom 7. Januar 1919, zit. nach Dauben 1980: 264).

Wie man hier und in den Kästen weiter unten sieht, erstrebten Mittag-Leffler und Hardy eine allgemeine, breite Zusammenarbeit. Versuche wie die heutigen, im Namen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit aus Einzelpersonen zu Recht oder zu Unrecht "Fälle" zu machen, unter dem Vorwand dieser Fälle die eigentliche, breite internationale Zusammenarbeit abzubrechen und so das Entspannungsklima weiter zu unterminieren, sind nicht im Geist und der Tradition von Mittag-Leffler und Hardy.

leitet uns über zu der ersten der positiven Möglichkeiten: Die Bewahrung und der Ausbau einer internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit, die auf gegenseitigen Nutzen und gegenseitiges Verständnis bei Respektierung unterschiedlicher gesellschaftlicher Bedingungen gerichtet ist, kann zur Festigung oder Wiederherstellung des Entspannungsprozesses beitragen. Wie es Oswald Veblen, der damalige Präsident der amerikanischen Mathematikervereinigung zur Eröffnung des internationalen Mathematikerkongresses 1950 formulierte: "Unseren nicht-mathematischen Freunden können wir sagen, dass ein Treffen wie dieses, das zwischen politischen, Rassen- und sozialen Unterschieden aller Art eine Brücke schlägt und sich an einem universellen menschlichen Interesse orientiert, für Verständigung und Frieden wirken wird". (Proc... 1950:125)

Als positive Möglichkeit gibt es auch die Umkehrung der der Rüstung dienenden mathematischen Forschung: Die Gegenexpertise.

Ein Beispiel der Gegenexpertise sehen wir in der Kritik der Berechnungen des nuklearen Erstschlages. Wenn die Ratgeber des Pentagons den Erstschlag unter den Grenzbedienungen von höchstens 3o Millionen amerikanischen Ziviltoten berechnen, dann braucht man unabhängige, hochqualifizierte Experten, teils um diese Berechnungsgrundlagen in die Öffentlichkeit zu tragen (niemand kann erwarten, dass das Pentagon selbst mit 3o Millionen toten Amerikanern hausieren geht); teils um das wahre Ausmass des geplanten Völkermordes aufzudecken (d.h. der Nachweis, dass die "Enthauptung" der Sowjetunion kaum ohne den Tod von 15o Sowjetbürgern und vielleicht noch mehr Opfern in West- und Osteuropa möglich sein wird); teils endlich um den abstrakten Wahnsinn der ganzen Berechnungen auch der amerikanischen Verluste zu entlarven (Abstraktion von den möglichen Auswirkungen der ersten Wasserstoffbombenexplosionen auf die eigene Kommunikation und Elektronik; mögliche Unterschätzung der Überlebensfähigkeit der Raketen der anderen Seite; Vernachlässigung der konkreten Begleiterscheinungen von 3o Millionen amerikanischen schnell Getöteten wie Massenpanik, Hunger, Epidemien und radioaktive Schäden bei Mensch

und Ökologie). Alle diese Durchrechnungen kann der Mathematiker nicht alleine machen. Aber keine wissenschaftliche Disziplin macht sie für sich allein, und der Mathematiker ist für viele dieser Unsicherheitsberechnungen unentbehrlich - so z.B. für die Berechnung der Unsicherheit der Zielgenauigkeit interkontinentaler Raketen, wie es in einem Artikel im Bulletin of the Atomic Scientists in 1981 vorgeführt wurde (Anderson 1981).

Der Erstschlag war nur ein Beispiel für den Bedarf an Gegenexpertise, wiewohl das zur Zeit vielleicht aktuellste. Auch in anderen Fragen können die Wissenschaftler und insbesondere auch die Mathematiker ihre Kompetenz verfügbar machen. Sie mögen, im erwähnten sowie in anderen Beispielen, notwendige Neuforschungen durchführen; sie mögen schon bekannte Forschungsergebnisse popularisieren und dabei das abstrakte Wissen in konkrete, für die Friedensbewegung unmittelbar verwendbare Informationen übersetzen - nicht nur Forschungsergebnisse aus dem eigenen Fach, sondern auch aus solchen Gebieten, wo ihre professionelle Schulung ihnen erlaubt, schneller als Laien in wesentliche Beziehungen einzudringen; und sie mögen noch andere Aspekte ihrer Kompetenz ausnützen, sei es Bibliothekskunde, sei es Vertrautheit mit der Vermittlung zwischen Abstraktem und Konkretem, sei es ihre Übung im systematischen Einsammeln von Informationen oder andere Voraussetzungen des Berufsintellektuellen.

Verwandt mit der Gegenexpertise ist die Frage nach einer friedlichen Perspektive der mathematischen Forschung. Wie oben diskutiert sind grosse Teile der Mathematik, was die Praxisorientierung betrifft, ganz unspezifisch. Es gibt aber auch Gebiete, die für die Rüstung besonders relevant sind, und - wichtiger - es gibt institutionelle Gewohnheiten, die den Informationsaustausch zwischen Rüstung und mathematischer Forschung favorisieren. Anforderungen an die Mathematik werden jedoch nicht nur von der Rüstung gestellt. Die Rohstoffversorgung, die grossen klimatologischen und ökologischen Fragen, die Tier- und Pflanzenproduktion, die Medizin und die gesamte Grundwissenschaft, von der Physik bis zur

Linguistik, werden vermutlich auf Jahrhunderte hinaus Probleme für die mathematische Forschung schaffen (vgl. dazu Booss & Rasmussen 1979). Wie der Mathematiker seine Forschung auf die eine oder andere Weise nach der Rüstung ausrichten kann, kann er sich auch an diese Problemen der Menschheit orientieren.

Schliesslich sind Mathematiker als Forscher auch Teilnehmer an dem sozialen Prozess der Forschung. Das gibt jeder/jedem die Verantwortung und die Möglichkeit, sich selbst, den Kollegen, und den anderen klarzumachen, was bei diesem Prozess in der eigenen Abteilung geschieht:

- Für welche Anwendungen kann die Forschung, die dort betrieben wird, genutzt werden?

- In welcher Art ist diese Forschung anwendbar? Direkt/spezifisch oder indirekt/unspezifisch? Arbeitet man z.B. mit "Harmonischer Analyse", "Schnellen Fouriertransformationen",

Forschungs - PR: "Verschämt und offenherzig"

In jüngster Zeit argumentieren die offiziellen Forschungs-Public Relations nicht gerne mit militärischen Anwendungen. Das genaue Lesen solcher Schriften lässt jedoch das soziale Gewicht militärischer Anwendungen spüren. So in einem Report der amerikanischen National Science Foundation:

"...Das Problem der visuellen Computerwahrnehmung ist ein Minenfeld von Unterproblemen. Am einfachen Ende der Skala gibt es schon jetzt Systeme, die das von einem Roboterauge Gesehene mit gespeicherten Bildern vergleichen; die werden heute für die Lenkung einer Rakete auf ein Ziel benutzt. Etwas schwieriger, aber noch lösbar ist das Problem der Objektdeutung auf Photos, die laufend von Wetter- oder Beobachtungssatelliten eingesammelt werden. Zuverlässige Techniken wurden für die Automatisierung von Teilen dieser Photo-Interpretations-Aufgaben entwickelt. Ähnliche Systeme lassen sich auch verwenden, um Wege, Brücke oder Eisenbahnen auf Luftphotographien zu lokalisieren." (Science and Technology ... 1979:248; unsere Hervorhebung).

Im gleichen Report werden die im 2. Weltkrieg entwickelten Grossrechner (vgl. oben) als "ursprünglich die esoterischen Werkzeuge eines kleinen wissenschaftlichen Zirkels" charakterisiert (S. 249)!

breit anwendbaren Verfahren der "Mustererkennung" - oder mit den spezifischen Problemen der automatischen Terminalsteuerung von Raketen über gegnerischen Raketensilos?

- Wie wird die Anwendbarkeit der Forschungsergebnisse vermittelt, d.h. wohin und in welcher Form werden die eigenen Ergebnisse kanalisiert; woher stammen weiter eventuelle äussere Inspirationen für Problemformulierungen? Schickt man unkommentierte Sonderdrucke seiner Publikationen oder erklärt man der Luftwaffe die Bedeutung eines neuen Algorithmus für die Verminung von Seestrassen?

- Welche persönlichen und institutionellen Verbindungen, Loyalitäten und Abhängigkeiten (u.a. durch "Spitzenfinanzierung") gibt es?

Solche Fragen werden gewöhnlich mit einem Mantel akademischer Schamhaftigkeit bedeckt. Um die Welt vor der Rüstung und unsere Wissenschaft vor der Korruption zu schützen, ist es aber wichtig, das Schweigen zu brechen - sei es auch auf Kosten kollegialer Rücksicht.

Die Möglichkeiten der Mathematiker als Forscher werden wir nicht weiter diskutieren. Sie haben aber auch eine Existenz als Hochschullehrer. Müssen wir mit Woollett sagen, dass, wer nicht mitschuldig werden will, entweder nicht oder schlecht lehren muss?

Wenn einer nicht lehrt, ist es in der heutigen beruflichen Situation klar, dass sich schnell ein anderer findet, der es tut. Nicht-Lehren bewahrt nicht den Frieden. Schlechtes Lehren ist auch nicht besser. Wer schlecht lehrt, untergräbt nur die Achtung vor seiner Person und dadurch auch für seine politische Stellungnahme unter Kollegen wie unter Studenten.

Nach diesen Argumenten muss also der für den Frieden engagierte Hochschullehrer so gut wie möglich lehren. Gut lehren ist aber nur ein notwendiger Hintergrund und bewirkt an sich noch nichts für den Frieden. Was kann man also machen?

Erstens kann man auch hier vermeiden. Zwar kann man nicht vermeiden, rüstungsrelevante Mathematik zu lehren. Mathematikunterricht, wie er existiert, vermittelt immer vielseitige

und variable Begriffe, Methoden und Techniken, die weder an militärische Anwendungen gekoppelt noch vor ihnen geschützt sind. Man kann aber vermeiden, die Mathematik unreflektiert so zu präsentieren, als wäre sie notwendigerweise mit der Rüstung verbunden. Man braucht nicht, wie es oft geschieht, die Bayessche Statistik unkommentiert durch den Vorgang des Einschiessens von Geschützen zu illustrieren. Dasselbe gilt für die Anwendung infinitesimaler Methoden für die Berechnung von Perturbationen einer Raketenbahn usw. Ebensowenig braucht man die nützlichen Geräte des Operations Research und der Computertechnologie unkritisch als segensreiche Kinder des Krieges darzustellen, obwohl man gewiss nichts besser macht, wenn man die Verflechtung dieser Geräte mit dem Massenmord verschweigt.

Auf einer anderen Ebene kann und soll man vermeiden, als Impressario die Studenten via ihrer Examensarbeiten in die Arme der Rüstungsindustrie zu führen. Die Abhängigkeit der Studenten legt hier dem betreuenden Hochschullehrer eine besondere Zurückhaltung auf.

Zweitens kann man auch etwas Positives im Verhältnis zu den eigenen Studenten tun. Als Hochschullehrer kann man zwar nicht für die Studenten die moralischen Dilemmata entscheiden, mit denen sie später konfrontiert werden. Man kann sie aber besser oder schlechter in Stand setzen, solche Dilemmata zu entdecken und zu entscheiden.

Es ist bekannt, dass viele der am Manhattanprojekt beteiligten Physiker sich gegen die Anwendung der Atombombe im Krieg einsetzten, und dass noch mehr Physiker nach Hiroshima ihre Stimme gegen den militärischen Gebrauch der Kernenergie erhoben. Das Bulletin of the Atomic Scientist und die "Weltföderation der Wissenschaftler" verdanken beide diesem Umstand ihre Entstehung. Weniger bemerkt ist die Tatsache, dass die Ingenieure bei Dupont, Union Carbide und General Electric, die das Projekt vollendeten, keine Zeichen solcher Sinnesrührungen hinterliessen. Gewiss haben die Proteste der Physiker nicht die Bevölkerung von Hiroschima und Nagasaki gerettet. Sie haben aber dazu beigetragen, dass grosse Teile der Weltbevölkerung für solche Fragen sensibilisiert wurden, und damit vielleicht

auch zur Vermeidung neuer Hiroshimas.

Wir kennen nicht die Gründe, warum die Ingenieure jedenfalls als Gruppe geschwiegen haben: Angst vor innerbetrieblichen Repressionen oder Entlassung; fehlender Überblick; mangelnde Lust, sich den Überblick zu verschaffen; Isolation am Arbeitsplatz, die organisierte Kommunikation und Hervortreten nicht zuliess? Wir kennen auch nicht die Arbeitsverhältnisse, denen unsere Studenten später einmal unterworfen sein werden, ob sie der Situation "der Physiker" oder der "der Ingenieure" ähnlich sein wird. Wir können sie nicht gegen Unterdrückung am Arbeitsplatz schützen oder eine vielleicht daraus folgende gewollte Blindheit für die Folgen ihrer eigenen Arbeit verhüten; wir können aber dafür sorgen, dass Blindheit nicht ihre einzige Möglichkeit ist. Wir können den parzellierten Einsatz wissenschaftlicher Kader in der Industrie nicht verhindern; wir können sie aber die Wissenschaft im Zusammenhang und dabei auch die Zusammenhänge in der Wissenschaft und zwischen Wissenschaft und Anwendungen sehen lassen und ihnen dadurch die psychologische Möglichkeit offen halten, sich nicht von der Parzellierung absorbieren zu lassen. Wir müssen sie endlich den Doppelcharakter wissenschaftlich-technischen Arbeitens entdecken lassen: nicht nur Wissen und Verwendung von Wissenschaft in abstrakten technischen Zusammenhängen, sondern Wissen, das von bestimmten Menschen in bestimmten Verhältnissen gewusst wird, und Technik, die unter bestimmten gesellschaftlichen Verhältnissen eingesetzt wird.

Friedensbewahrend wird der Mathematikunterricht also dadurch, dass er humanistisch ist, dass er den künftigen Mathematikanwender nicht zu einem passiven Zwischenglied zwischen Auftraggeber und Arbeitsresultat macht, sondern zu einem aktiven Menschen, der seine eigene Tätigkeit in einem grösseren Ganzen versteht. Dieses "grössere Ganze" muss aber, um nicht eine leere Phrase zu bleiben, konkretisiert werden, d.h. die Verbindungen zwischen mathematischen Details und ganzen mathematischen Theorien - in ihren innermathematischen Zusammenhängen und in ihren Beziehungen zu den Anwendungen - müssen den angehenden Mathematikern im Studium vermittelt werden.

Schliesslich ist man als Mathematiker auch Bürger. Man hat damit selbstverständlich die gleiche Verantwortung wie jeder Bürger. In einer Situation wie der heutigen genügt man aber nur seiner Verantwortung, wenn man sein Bestes tut. Als Bürger ist man damit dazu verpflichtet, auch seine besonderen Möglichkeiten auszuschöpfen; d.h. als Mathematiker ist man erst dann mit seiner Bürgerverantwortung fertig, wenn man seine Verantwortung als Forscher und als Lehrer eingelöst und Bürger, Lehrer und Forscher miteinander in Verbindung gebracht hat.

Das klingt vielleicht nicht so schwer, und mancher Mathematiker wird wohl darin einstimmen, dass er besondere Voraussetzungen hat, um ein guter Bürger zu sein. Das sollte er auch haben. Analytisches und synthetisches Denken, Distinktion zwischen und Verbindung von Abstraktem und Konkretem, Phantasie und Beharrlichkeit, sie alle gehören zum Beruf, sind aber auch im politischen Leben von Vorteil. Auch mögen manche Mathematiker durch ihre Arbeit eine Vielzahl von

M I T T A G - L E F F L E R

Mittag-Leffler an Ludwig Bieberbach, 23. April 1919:

"... Soeben erhielt ich das Heft 3/4 des 3. Bandes von 'Mathematischer Zeitschrift', wo ich Ihre schöne Abhandlung 'Über eine Vertiefung des Picardschen Satzes bei ganzen Funktionen endlicher Ordnung' finde. Bitte schicken Sie mir gütigst einen Separatdruck. Ich möchte Ihnen auch einen Vorschlag machen, welcher ich glaube sowohl in Ihrem Interesse als im Interesse Deutschlands liegt. Schreiben Sie mir einen Brief, welchen Sie zum Beispiel ungefähr so anfangen: 'Ich habe neulich eine Untersuchung ausgeführt, die ich unter dem Titel 'Über eine Vertiefung des Picardschen Satzes ...' in Mathematischer Zeitschrift publiziert habe, und Sie vielleicht interessieren wird'. Hiernach teilen Sie mir ausführlich die schöne Untersuchung mit, die Sie über meine $E_\alpha(x)$ Funktion vorgenommen haben. Es wäre auch gut, wenn Sie mir gleichzeitig die Untersuchung mitteilten, die Sie über $\alpha > 2$ angestellt haben (cf. pag. 185 in Ihrer Abhandlung). Es wäre sehr zweckmässig, wenn Ihr Brief in französisch abgefasst wäre oder, noch besser, in englisch.

(fortgesetzt)

Ich habe mir die Aufgabe gestellt, die jetzt abgebrochenen internationalen wissenschaftlichen Beziehungen, so viel an mir ist, allmählich herzustellen. Mein Vorschlag an Sie bildet ein Gelenk in diesen Bemühungen. Ich bin der Überzeugung, die Mathematiker müssen die Leitung für ein solches Streben übernehmen. Meine Zeitschrift ist für diese Aufgabe in einer günstigen Lage. Die Bände, die ich in den Kriegsjahren publiziert habe, enthalten Artikel von den beiden kriegführenden Gruppen".

Dieser rührende Brief des 73-jährigen Mittag-Leffler an den jungen Bieberbach hat bekanntlich nicht verhindern können, dass dieser später zur Hauptfigur der rassistischen "Deutschen Mathematik" wurde.

Mittag-Leffler an Max Planck, 7. Oktober 1919:

"... Die Hauptsache ist zuerst die wirkliche Stimmung in den höchsten wissenschaftlichen Kreisen kennen zu lernen, um dann später so zu handeln, dass man in so kurzer Frist wie nur möglich das Zusammenarbeiten der Männer der Wissenschaft, unabhängig von politischen oder nationalen Gesichtspunkten, wieder herstellen mag.

Ich gehöre einer Wissenschaft, die sich besser als jede andere für die Aufgabe eignet an die Spitze von solchen Bestrebungen zu treten. Ich bin auch in der glücklichen, wenn auch nicht sehr verdienten Lage, überall als Mitglied in den Sitzungen der ersten gelehrten Gesellschaften in jedem Lande teilnehmen zu können, und dadurch auch in den übrigens seltenen Fällen, wo ich nicht persönliche freundschaftliche Verbindungen seit Jahren habe, doch überall mit den leitenden Persönlichkeiten in Verbindung treten zu können. Offenbar sehe ich es deshalb als eine Pflicht an, diese Umstände zu benutzen um dem Ziel näher kommen zu können, welches jedem Manne, für welchen die Förderung der Wissenschaft die höchste Aufgabe seines Lebens ist, ganz besonders am Herzen liegt".

Mittag-Leffler an Carl Runge, 28. Dezember 1918:

"... Die Mathematiker müssen, scheint es mir, die ersten sein in der Welt der Wissenschaft, bei welchen eine [...] Verständigung zu Stande kommen mag. Sie wird unmöglich sein oder wenigstens sehr lange auf sich warten lassen, wenn nicht die neutralen Länder die Vermittlung übernehmen. Die Acta Mathematica scheint mir mehr geeignet als irgend eine andere mathematische Zeitschrift zu sein, um dies zu erreichen".

Mittag-Leffler an Max Planck, 30. März 1919:

"... Die Männer der Wissenschaft müssen sich von aller Politik abhalten und nur auf die rein wissenschaftlichen Gesichtspunkte denken. Wenn die Wissenschaft nicht hoch über das jetzige politische Elend aufrecht erhalten werden kann, geht alles zu Grunde. Mein ganzes Streben geht dahin, so viel wie nur möglich für dieses Ziel zu wirken".

Im Kontext von 1919 zeigt der Ausdruck "jetzige[s] politisches Elend", dass Mittag-Lefflers Bemühen, die Mathematik auf Abstand von der Politik zu halten, nicht als Philosophie des Elfenbeinturms, sondern als notwendige Konsequenz politisch-moralischer Verantwortung gemeint war.

Alle Zitate nach Dauben (1980).

Anwendungsgebieten kennengelernt und damit wichtige Einsichten erworben haben.

Andererseits führt die besonders hervorgehobene Stellung des logischen Arguments innerhalb der Mathematik leicht zu einer Auffassung, nach der alles, was nicht zur Mathematik gehört, d.h. auch alle moralisch-politischen Überzeugungen, als nicht-logisch und nicht-argumentierbar angesehen werden. Dazu mag kommen, dass der Mathematiker seine eigenen Überzeugungen und Vorurteile in dieser Dichotomie von Willkürlichem und Beweisbarem als Bewiesenes ansieht, indem er das zu dem Mathematiker Gehörende mit dem zur Mathematik Gehörenden verwechselt. Um seine realen Sondervoraussetzungen als Mathematiker fruchtbar zu machen, muss man also den eigenen Mathematikerhochmut überwinden. Man darf den Krefelder Appell nicht wegen seiner Geradlinigkeit als unter der Würde des Wissenschaftlers liegend abfertigen. Mehr noch: Man muss auch die Rationalität der Mathematik als eine durch den besonderen Arbeitsgegenstand bedingte spezifische Ausformung allgemeinerer Rationalität erkennen, und man muss anerkennen, dass auch in politischen und moralischen Gebieten ein rationales Urteil möglich ist, dass aber dieses ebenfalls einen systematischen Arbeitseinsatz und Seriosität in der Argumentation fordert.

Wenn Mathematiker sich als Wissenschaftler für den Frieden einsetzen wollen, müssen sie sich als Teilnehmer eines grösseren gemeinsamen Unternehmens verstehen. Weder besser als die anderen noch minderwertig, sondern gleichberechtigt und mitverantwortlich.

Literaturverzeichnis

Anderson 1981 — J.E. Anderson, "First Strike: Myth or Reality". Bulletin of the Atomic Scientists 37:9 (Nov. 1981), 6-11.

Aujac 1975 — Géminos, Introduction aux phénomènes. Texte établi et traduit par Germaine Aujac. Paris: Société d'édition "Les Belles Lettres", 1975.

Barth 1982 — G. Barth, "Die Programmiersprache Ada". Jahrbuch Überblicke Mathematik 1982, 141-157.

Berger 1977 — M.S. Berger, Nonlinearity and Functional Analysis. Lectures on Nonlinear Problems in Mathematical Analysis. New York: Academic Press, 1977.

Boas 1970 — Marie Boas, The Scientific Renaissance 1450-1630. London: Collins, 1970. 1. Aufl. 1962.

Booss/Rasmussen 1979 — B. Booss & R.O. Rasmussen, "Challenging Problems in Science-Technology for a Better Use of the Earth's Resources". Paper contributed to the Symposium "Problems of the Conversion from War to Peace Production" at the International Institute for Peace in Vienna (30.3.-1.4.1979). Roskilde Universitetscenter, Institute for Geography, Socio-Economic Analysis and Computer Science, Working Paper 6, 1979.

Brown 1971 — M. Brown (ed.), The Social Responsibility of the Scientist. New York: The Free Press / London: Collier-Macmillan, 1971.

Burhop 1980 — E.H.S. Burhop, "Die Kernenergie und ihre Perspektive". Wissenschaftliche Welt 24:1 (1980), 2-3.

Cantor 1924 — M. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Vierter Band - von 1759 bis 1799. Leipzig: Teubner, 1908. Nachdruck 1924.

Carnot, Réflexions — Sadi Carnot, Réflexions sur la puissance motrice du feu. Édition Critique avec Introduction et Commentaire, augmentée de documents d'archives et de divers manuscrits de Carnot par Robert Fox. (Collection des Travaux de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences no. 26). Paris: J. Vrin, 1978.

Charbonnier 1927 — M.P.Charbonnier, "Essais sur l'histoire de la balistique". Mémorial de l'Artillerie Française 6 (1927), 955-1251. (Auch als Buch Paris 1928).

Conway 1980 — J.H. Conway, "Monsters and Moonshine". The Mathematical Intelligencer 2:4 (1980), 165-171.

Dantzig 1963 — G.B. Dantzig, Linear Programming and Extensions. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1963.

Dauben 1980 — J.W. Dauben, "Mathematicians and World War I: The International Diplomacy of G. H. Hardy and Gösta Mittag-Leffler as Reflected in Their Personal Correspondence". Historia Mathematica 7 (1980), 261-288.

Crowther 1968 — J.G. Crowther, Science in Modern Society. New York: Schocken Books, 1968.

Defoe 1975 — D. Defoe, Robinson Crusoe. København: Lademann, 1975.

Drake/Drabkin 1969 — S. Drake & I.E. Drabkin (translation, annotation), Mechanics in Sixteenth-Century Italy. Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo, & Galileo. Madison, Milwaukee, & London: The University of Wisconsin Press, 1969.

DScB — Dictionary of Scientific Biography. Ch.C. Gillispie, Editor in Chief. Vol. I-XVI. New York: Charles Scribner's Sons, 1970-1980.

Forman 1971 — P. Forman, "Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918-1927: Adaption by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment". Historical Studies in the Physical Sciences 3 (1971), 1-115.

French 1972 — P. French, John Dee: The World of an Elisabethan Magus. London: Routledge & Kegan Paul, 1972.

Galilei, Discorsi — in Galileo Galilei, Dialogues Concerning Two New Sciences, Translated by Henry Crew and Alfonso Salvio. New York: Macmillan, 1914. Neudruck New York: Dover, 1951.

Gerjuoy 1982 — E. Gerjuoy, "Embargo on Ideas: The Reagan Isolationism". Bulletin of the Atomic Scientists 38:9 (Nov. 1982), 31-37.

Gille 1980 — B. Gille, Les mécaniciens grecs. La naissance de la technologie. Paris: Seuil, 1980.

Goldstine 1972 — H.H. Goldstine, The Computer from Pascal to von Neumann. Princeton: Princeton University Press, 1972.

Greenberg 1969 — D.S. Greenberg, The Politics of American Science. Harmondsworth, Middlesex: Penguin, 1969. 1. Aufl. unter dem Titel The Politics of Pure Science (New American Library, 1967).

Gross 1978 — H.-E. Gross, "Das sich wandelnde Verhältnis von Mathematik und Produktion", in Plath 1978: 226-269.

Hardy 1940 — G.H. Hardy, A Mathematician's Apology. Cambridge: Cambridge University Press, 1940.

Heron, Metrikon und Dioptra — Beide in Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia, Vol. III. Recensuit Hermannus Schoene. Leipzig: Teubner, 1903.

Horowitz 1983 — E. Horowitz, Fundamentals of Programming Languages. Berlin-Heidelberg und New York: Springer-Verlag, 1983.

Jarvad 1981 — I.M. Jarvad, "Friedliche Koexistenz - Utopie oder Wirklichkeit?" Manuskriptkopie, Roskilde Universitetscenter, 1981.

Kaldor 1981 — Mary Kaldor, Rüstungsbarock. Das Arsenal der Zerstörung und das Ende der militärischen Techno-Logik. (Rotbuch 238). Berlin (W): Rotbuch Verlag, 1981.

Klein 1926 — F. Klein, Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert. I-II. (Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften, XXIV-XXV). Berlin: Julius Springer, 1926-1927.

Kristensen 1982 — P.H. Kristensen, "The Process of Technological Development in Mixed Economies", in P.H. Kristensen & R. Stankiewicz (eds.), Technology Policy and Industrial Development in Scandinavia. Proceedings from a workshop held in Copenhagen, Denmark (May 20-21, 1981). Lund: Research Policy Institute / Roskilde: Institute of Economics and Planning, RUC, 1982, 45-87.

Kudrow 1981 — V. Kudrow, "Der wissenschaftlich-technische Fortschritt und die Schwächung der internationalen Stellung der USA". Deutsche Aussenpolitik 26:6 (1981), 84-102.

Lang 1971 — "A Mathematician on the DoD, Government, and Universities", in Brown 1971: 51-79.

Mason 1962 — S.T. Mason, A History of the Sciences. Revised edition. New York: Collier, 1962. 12th printing 1977. Überarbeitete Ausgabe von Main Currents of Scientific Thought (1956).

Merton 1970 — R.K. Merton, Science, Technology and Society in Seventeenth Century England. New York: Harper and Row, 1970. Nachdruck mit neuem Vorwort und ergänzender Bibliographie von Merton 1938.

Metropolis 1980 — N. Metropolis, J. Howlett & G.-C. Rota (eds.), A History of Computing in the Twentieth Century. New York: Academic Press, 1980.

Morse 1943 — M. Morse, "Mathematics and the Maximum Scientific Effort in Total War". Scientific Monthly 56 (1943), 50-55.

Neugebauer 1933 — "Babylonische 'Belagerungsrechnung'", Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik. Abteilung B: Studien 2 (1933), 305-310.

Owen 1976 — D.B. Owen (ed.), On the History of Statistics and Probability. Proceedings of a Symposium on the American Mathematical Heritage (May 27-29, 1974). New York & Basel: Marcel Dekker, 1976.

Perlo 1974 — V. Perlo, The Unstable Economy: Booms and Recessions in the U.S. since 1945. 2nd edition. New York: International Publishers, 1974. 1. Aufl. 1973.

Plath 1978 — P. Plath & H.J. Sandkühler, Theorie und Labor. Dialektik als Programm der Naturwissenschaft. Köln: Pahl-Rugenstein Verlag, 1978.

Platon, Der Staat — in Platon, Oevres complètes. Traduction nouvelle et notes par Léon Robin, vol. I. Paris: Gallimard, 1950.

Proc... 1912 — Proceedings of the Fifth International Congress of Mathematicians (Cambridge, 22-28 August 1912). Vol. I. Cambridge: Cambridge University Press, 1913. Reprint Nendeln, Liechtenstein: Kraus Reprint, 1967.

Proc... 1920 — Comptes Rendus du Congrès International des Mathématiciens (Strasbourg, 22-30 Septembre 1920). Toulouse, 1921. Reprint Nendeln, Liechtenstein: Kraus Reprint, 1967.

Proc... 1924 — Proceedings of the International Mathematical Congress Held in Toronto (August 11-16, 1924). Toronto: The University of Toronto Press, 1928. Reprint Nendeln, Liechtenstein: Kraus Reprint, 1967.

Proc... 1936 — Comptes Rendus du Congrès International des Mathématiciens (Oslo 1936). Tôme 1. Oslo: A.W. Brøggers Boktrykkeri, 1937. Reprint Nendeln, Liechtenstein: Kraus Reprint, 1967.

Proc... 1950 — Proceedings of the International Congress of Mathematicians (Cambridge, Massachusetts, U.S.A., August 30 - September 6, 1950). American Mathematical Society, 1952. Reprint Nendeln, Liechtenstein: Kraus Reprint, 1967.

Proc... 1954 — Proceedings of the International Congress of Mathematicians 1954 (Amsterdam, September 2 - September 9). Vol. I. Groningen: Noordhoff / Amsterdam: North Holland, 1957. Reprint Nendeln, Liechtenstein: Kraus Reprint, 1967.

Proc... 1958 — Proceedings of the International Congress of Mathematicians (14-21 August 1958). Cambridge: Cambridge University Press, 1960.

Proc... 1962 — Proceedings of the International Congress of Mathematicians (15-22 August 1962). Djursholm, Schweden: Institut Mittag-Leffler, o.J.

Proc... 1966 — Trudy Meždunarodnogo Kongressa Matematikov (Moskva - 1966). Moskva: Izdatel'stvo "Mir", 1968. Reprint Nendeln, Liechtenstein: Kraus Reprint, 1979.

Proc... 1970 — Actes du Congrès International des Mathématiciens 1970. Tôme 1. Paris: Gauthier-Villars, 1971.

Proc... 1974 — Proceedings of the International Congress of Mathematicians (Vancouver 1974). Vol. I. Canadian Mathematical Congress, 1975.

Proc... 1978 — Proceedings of the International Congress of Mathematicians (Helsinki 1978). Vol. I. Helsinki: Academia Scientiarium Fennica, 1980.

Rees 1980 — Mina Rees, "The Mathematical Sciences and World War II". American Mathematical Monthly 87 (1980), 607-621.

Rosen 1967 — S. Rosen (ed.), Programming Systems and Languages. New York: McGraw Hill, 1967.

Rosser 1982 — J.B. Rosser, "Mathematics and Mathematicians in World War II". Notices of the American Mathematical Society 29:6 (Oct. 1982), 509-515.

Sammett 1969 — J.E. Sammett, Programming Languages: History and Fundamentals. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1969.

Schlöglmann 1982 — W. Schlöglmann, "Zur Geschichte der Anwendung von Mathematik". Vervielfältigt, Institut f. Mathematik, Joh. Kepler Universität Linz, o.J. [1982].

Schneider 1970	I. Schneider, "Die mathematischen Praktiker im See-, Vermessungs- und Wehrwesen vom 15. bis zum 19. Jahrhundert". Technikgeschichte 37 (1970), 210-242.
Science and Technology ... 1979	Science and Technology. A Five-Year Outlook. Report prepared at the Request of the National Science Foundation. San Francisco: W.H. Freeman. 1979.
The AMRC Papers	The AMRC Papers. By Science for the People. Madison, Wisconsin: Science for the People, 1973.
Werner 1982	H. Werner, [Grusswort des Vorsitzenden der Deutschen Mathematiker-Vereinigung zur Eröffnung der DMV-Tagung 1982]. Mitteilungen der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 1982 Nr.4, 66-69.
Whittle 1971	B.P. Whittle, Optimization under Constraints - Theory and Applications of Nonlinear Programming. London & New York: Wiley-Interscience, 1971.
Wiener 1971	N. Wiener, Ich und die Kybernetik. Der Lebensweg eines Genies. München: Wilhelm Goldmann Verlag, o.J. [1971].
Wolf 1952	A. Wolf, A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century. Second edition, revised by D. McKie. London: Allen & Unwin, 1952. 1. Aufl. 1938.
Woollett 1980	E.L. Woollett, "Physics and Modern Warfare: The Awkward Silence". American Journal of Physics 43 (1980), 104-111.
Zuckerman 1982	S. Zuckerman, Nuclear Illusion and Reality. London: Collins, 1982.

Die Hinweise (Peter Gorny, d.Bd.) und (Joachim Wernicke, d.Bd) im Text beziehen sich auf die geplante Buchausgabe. Vorläufige Fassungen dieser Beiträge wurden zum Symposium "Militärische Einflüsse auf die Wissenschaft und militärische Anwendung ihrer Ergebnisse" (Oldenburg, 4. Mai 1982) vervielfältigt.

Bernhelm Booss

Institut for Studiet af Matematik og Fysik samt deres Funktioner...

Jens Høyrup

Institut for Uddannelsesforskning, Medieforskning og Videnskabsteori

Roskilde Universitetscenter
DK-4000 Roskilde

1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.

Projektrapport af Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.

Vejleder: Anders Madsen.

2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.

Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Kreinøe og Peter H. Lassen.

Vejleder: Bernhelm Booss.

3/78 "OPGAVESAMLING", breddekursus i fysik.

Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer, Jens Højgaard Jensen.

4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.

Mogens Niss.

Nr. 4 er p.t. udgået.

5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".

Helge Kragh.

6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".

Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.

7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".

B.V. Gnedenko.

Nr. 7 er udgået.

8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bound-graph formalismen.

Peder Voetmann Christiansen.

9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's:"Nova Stereometria Doliorum Vinarioum".

Projektrapport af Lasse Rasmussen.

Vejleder: Anders Madsen.

10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".

Projektrapport af Jan Christensen og Jeanne Mortensen.

Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.

11/79 "STATISTISKE MATERIALER"

red. Jørgen Larsen

12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".

Mogens Brun Heefelt

13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".

Projektrapport af Gert Kreinøe.

Vejleder: Albert Chr. Paulsen

14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of Reference etc. A Bibliography".

Else Høyrup.

Nr. 14 er p.t. udgået.

15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".

Specialeopgave af Leif S. Striegler.

Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.

16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".

Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.

Vejleder: Jørgen Larsen.

17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".

Albert Christian Paulsen.

18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint.

Bernhelm Booss & Mogens Niss (eds.).

19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".

Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.

Vejleder: Mogens Niss.

20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".

Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.

Vejleder: Jørgen Larsen.

21/79 "KONTROL I GYMNASIET - FORMÅL OG KONSEKVENSER".

Projektrapport af Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.

22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
1-port lineært response og støj i fysikken.

Peder Voetmann Christiansen.

23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of realitivity".

24/80 a+b "MATEMATIKOPFATTELSER HOS 2.G'ERE".
1. En analyse. 2. Interviewmateriale.

Projektrapport af Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.

Vejleder: Mogens Niss.

Nr. 24 a+b er p.t. udgået.

25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.

26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".
En projektrapport og to artikler.

Jens Højgaard Jensen m.fl.

Nr. 26 er p.t. udgået.

27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC's PHYSICS".

Helge Kragh.

28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".

Projektrapport, speciale i fysik, af Gert Kreinøe.

Vejleder: Niels Boye Olsen.

29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentialligningsmodeller".

Projektrapport af Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.

Vejleder: Mogens Brun Heefelt

30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".

Oluf Danielsen.

Nr. 30 er udgået.

Udkommer medio 1982 på Fysik-, Matematik- og Kemilærernes forlag.

31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE".

Projektrapport af Troels Lange og Jørgen Karrebæk.

Vejleder: Stig Andur Pedersen.

Nr. 31 er p.t. udgået

32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER OG MOSSBAUEREFFEKTMÅLINGER".

Projektrapport, speciale i fysik, af Crilles Bacher og Preben Jensen.

Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK-NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".

Arne Jakobsen.

34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".

ENERGY SERIES NO.1.

Bent Sørensen.

Nr. 34 er udgået.

Publ. i "Renewable Sources of Energy and the Environment", Tycooli International Press, Dublin, 1981.

35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".

Helge Kragh.

36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN ?".

Fire artikler.

Mogens Niss.

37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".

ENERGY SERIES NO.2.

Bent Sørensen.

38/81 "TIL EN HISTORIETEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".

Projektrapport af Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.

Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.

39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".

Jens Højgaard Jensen.

40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".

Projektrapport af Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.

Vejleder: Per Nørgaard.

41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".

ENERGY SERIES NO.3.

Bent Sørensen.

42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".

Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.

43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".

2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".

ENERGY SERIES NO.4.

Bent Sørensen.

44/81 "HISTORISK UNDERSØGELSE AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".

Projektrapport af Niels Thor Nielsen.

Vejleder: Bent C. Jørgensen.

45/82

46/82 I+II "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE - ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".

Projektrapport af Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.

Vejleder: Bent C. Jørgensen.

47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".

ENERGY SERIES NO.5.

Bent Sørensen.

48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".

Projektrapport af Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn, Isac Showiki.

Vejleder: Mogens Niss.

49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".

Projektrapport af Preben Nørregaard.

Vejledere: Jørgen Larsen & Rasmus Ole Rasmussen.

50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY". ENERGY SERIES NO.6.

Rapport af Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.

Vejleder: Bent Sørensen.

51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?"

Projektrapport af Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.

52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS"

Bernhelm Booss & Krzysztof Wojciechowski.

53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".

Arne Jakobsen & Stig Andur Pedersen.

54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.

Stig Andur Pedersen & Johannes Witt-Hansen.

55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.

En bibliografi.

Else Høyrup.

Vedr. tekst nr. 55/82:
Se også tekst 62/83.

56/82 "ÉN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.

Projektrapport af Troels Lange.

Vejleder: Anders Madsen.

57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET" -
Skjulte variable i kvantemekanikken?

Projektrapport af Tom Juul Andersen.

Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.

Nr. 57 er udgået.

58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.

Projektrapport af Per Hammershøj Jensen & Lene Vagn Rasmussen.

Vejleder: Jørgen Larsen.

59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".

ENERGY SERIES NO. 7.

Bent Sørensen.

60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE" - et eksempel.

Projektrapport af Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.

Vejleder: Anders Madsen.

61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION", som et eksempel på en naturvidenskab - historisk set.

Projektrapport af Annette Post Nielsen.

Vejledere: Jens Høyrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogelius.

62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.

En bibliografi. 2. rev. udgave

Else Høyrup

63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".

ENERGY SERIES No. 8

David Crossley & Bent Sørensen