

TEKST NR 164

1988

**Vurdering af matematisk teknologi
Technology Assessment
Technikfolgenabschätzung**

Bernhelm Booß-Bavnbeek
Glen Pate
med
Martin Bohle-Carbonell
og
Jens Højgaard Jensen

TEKSTER fra

IMFUFA

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

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postboks 260, DK-4000 Roskilde, Danmark
Bernhelm Booß-Bavnbek, Glen Pate med Martin Bohle-Carbonell og Jens Højgaard
Jensen: Vurdering af matematisk teknologi - Technology Assessment - Technikfol-
genabschätzung
IMFUFAtekst nr. 164/1988, 87 sider, ISSN 0106-6242

Indhold

I. Introduction: Expanding risk in technological society through progress in mathematical modelling.....1

af Bernhelm Booß-Bavnbek og Glen Pate

Bidrag til Sixth International Congress on Mathematical Education (ICME6, Budapest, 27. 7. - 3. 8. 1988). Kommer i Christine Keitel (udg.), *Mathematics, Education, and Society*. Science and Technology Education - Document Series, UNESCO, Paris.

II. On the risks of technology applications at the borders of our knowledge.....6

af Bernhelm Booß-Bavnbek, Martin Bohle-Carbonell og Glen Pate

Kommer i *Scientific World* 3-88. Oprindeligt tysk udgave udkommet i *Marxistische Studien - Jahrbuch des IMSF* 13, Frankfurt/M., 1987, "Machbarkeit nicht-beherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur", 81-104.

III. Innermathematical vs. extramathematical obstructions to model credibility.....25

af Martin Bohle-Carbonell, Bernhelm Booß-Bavnbek og Jens Højgaard Jensen

Bidrag til 4th Internat. Conf. on Mathematical Modelling in Science and Technology, Zürich 1983. Gengivelse fra X. Avula (udg.), *Mathematical Modelling in Science and Technology*. Pergamon Press, New York 1984, s. 62-65, med tilladelse af forlaget.

IV. Notizen zur Analyse von IT-Wirkungen.....29

af Bernhelm Booß-Bavnbek og Glen Pate

Gengivelse fra *Düsseldorfer Debatte* 8-9/85, 58-70.

V. Ethische und politische Probleme der zunehmenden Anwendbarkeit der Mathematik.....42

af Bernhelm Booß-Bavnbek

Bidrag til Arbeitsgruppe "Mathematik" der BdWi-Arbeitstagung "Wissenschaft - Geschichte und Verantwortung", Münster, 22.-23. 1. 1988. Kommer i Helmut Steiner (udg.), *Contemporary Discussions on Bernal's 'Social Function of Science'*. Akademie-Verlag, Berlin.

VI. Makroøkonomiske prognosemodeller - set med matematisk-naturvidenskabelige øjne.....58

af Bernhelm Booß-Bavnbek

Bidrag til RUC-Modeldag 3, Roskilde, 24. 3. 1988.

VII. Matematiske modeller - vejledning eller vildledning? II.....78

af Jens Højgaard Jensen

Foredragsmanuskript.

Forfatterne: BBB, matematiker, IMFUFA; GP, cdb-konsulent, Heidberg 42, D-2000 Hamburg 60; MBC, oceanograf, Inst. f. Meereskunde, Troplowitzstr. 7, D-2000 Hamburg 54; JHJ, fysiker, IMFUFA.

I. Introduction:

Expanding Risk in Technological Society Through Progress in Mathematical Modelling

Abstract. Recent advances in information technology and mathematical modelling reflect fundamental properties and goals of growth economy and they reinforce these properties at the same time: Narrow minded pressure for expansion of production and productivity, segmentation of all manual and intellectual work, interlacement of all activities, marginal controllability of technology, lack of individual influence and therefore of responsibility, and resulting cancerous growth of risk.

These tendencies are supported by huge masses of underemployed capital looking for application; freely flowing across national boundaries, highly concentrated and with a broad technological base at its disposal; and these tendencies support that capital concentration and that technological base. The authors know of or can imagine significant useful and/or amusing applications of mathematical modelling including IT based examples. The object of our concern and our present topic is, however, the real and potentially destructive application of mathematics based new technology at the borders of our knowledge, its military and civilian impact and the absence of an associated profound democratic mathematics education for the general public.

1. Needs and Consequences of Growth Economy.

It is coming to be conventional wisdom that the currently celebrated and criticized high technology is essentially mathematical technology. Conclusions for democratic mathematics education should not, however, be drawn already from this very general insight; instead we need to distinguish various types of mathematical modelling of fundamentally different character:

(A1) Finding a geostationary orbit for a telecommunication satellite is a mathematical exercise in elementary celestial mechanics which could have been done by hand by Newton himself with the required accuracy. Such well founded applied mathematics generates prestige which is inappropriately generalized to support quite different applications.

(A2) Determining optimal rules for fish feeding and harvesting in a pond, for fiscal policy to control unemployment, budgetary deficits and monetary problems, or for the optimal use of various chemicals in agriculture and forestry may be a similarly elementary exercise from a mathematical point of view. These calculations, however, can not currently be based on a solid theoretical foundation. The clarity and precision of the mathematical derivations here are in sharp contrast to the uncertainty of the underlying relations assumed. In fact, similarity of the mathematical formalism involved tends to mask the differences in the scientific extra-mathematical status, in the credibility of the conclusions and in appropriate ways of checking assumptions and results. And the ease of programmed calculation with the added prestige of the information technology used for the calculation supports the proliferation of this kind of mathematical reasoning - however dubious

Contribution to the Sixth International Congress on Mathematical Education (ICME 6) Fifth Day Special on Mathematics, Education, and Society, Budapest, 31 July 1988. To appear in Chr. Keitel (ed.), *Mathematics, Education, and Society*. Science and Technology Education - Document Series, UNESCO, Paris.

it may be. This unwarranted prestige is enhanced moreover by the unfortunate tendency to transfer the prestige which mathematics itself has accumulated in thousands of years to such applications.

(B1) A quite different and certainly not better situation arises when the mathematical means used are outside the kernel of mathematics which is theoretically well founded and which is moreover generally well understood by its users. Intricate inverse problems, e.g., are raised in the analysis of geoelectrical measurements needed to separate regions of different specific resistance in the underground to get an impression of size and shape of the various geological layers. Still we do not understand all relevant aspects of the transport of electrical charges in porous media nor the whole sophisticated mathematics of 3-dimensional inverse problems. Nevertheless, by combining geological knowledge and efficient machine calculation one can obtain quite reasonable "guesstimates" e.g. of the distribution of fresh water resources in the underground. Mathematical modelling as heuristic means, however limited in its truth content, can save many expensive drillings and will be adequately tested when wells are drilled. Recurrent failures will moreover support continued awareness of the weakness of the mathematical method.

(B2) The situation is again quite different if foreseeable consequences of failure would not be acceptable. The same parties of the previous example, perhaps municipal authorities and consulting agencies, may now perform the same type of geoelectrical measurements and apply the same program package for determining the geological structure and possible liquid permeability of the underground in the search for safe depositories for toxic waste. The only difference is that the validity test is postponed to later years or decades when the drinking water perhaps for a large population may be contaminated. The identity of methods and procedures masks the total diversity of situation and encourages the indiscriminate use of certain non validated mathematical methods in totally unacceptable contexts as well as in acceptable, productive contexts. The imperatives of the growth economy induce haste precluding knowledge of perhaps long delayed empirical validation or invalidation as a basis for decision.

(C) A third type of mathematics applications - and this is the worst case - is the support of devices or processes in cases where reliability is completely unattainable due to the coincidence of missing theoretical foundation in the application domain as in example (A2) and missing mathematical insight as in example (B2). Such is the case e.g. in the attempt of nuclear engineers to model the growth of cracks in concrete or in metal alloys under high temperature, pressure and radiation; in the psychological modelling of the behaviour of operators in the control centre of nuclear energy stations under crisis pressure; in the design of steering automata for directionally unstable high-speed container ships. For most of these situations it is characteristic that the calculations may be acceptably descriptive under "normal" circumstances but worthless under special circumstances as witnessed in Harrisburg, in Tchernobyl, in ship losses due to control failures or in the recent loss of a fully loaded new model Airbus during its maiden flight. In some cases the technology failed; in other cases system failure was due to human failure induced by misguided confidence in the technology.

We conclude our part 1: Growth economy demands the expansion of production, demands continuously increasing productivity. As long as these goals are assigned highest priority by the dominating population sections in higher developed countries one has to expect that any progress in mathematical modelling will be accompanied by expanding risk in technological society arising from ruthless creativity, both military and civilian. A highly sensitive indicator for abuse of mathematical modelling is the degree to which responsible parties maintain consciousness of the real limits of the knowledge on which their decisions can be based rather than succumbing to the temptation to use in particular IT based mathematical models to mask ignorance, as an opiate to ease the pain of felt or real need to act in an excessively interlaced environment of inscrutable complexity!

2. How does mathematics education relate to destructive technological developments?

The methodological guidelines with respect to the software production process and the nature of the resulting products which are equally accepted in military and dominant civilian circles are profoundly military in their origin and character. The conventional systems characteristically reflect the nature of the organizations which employ them: They support rule based human activity embedded in hierarchical structure i.e., bureaucracy which characteristically deny the human agents adequate knowledge of the system goals, adequate knowledge therefore of the effects of their own activity and leaves therefore no basis for individual responsibility for the effect of that activity. The nature of these systems and the position of the human actor within them leaves frequently inadequate scope for human correction of system failures or even adequate assessment of the risks involved.

The technocratic view of the situation is known as the "software crisis". Frequently a more adequate description would be a failure of modelling on the one hand, and inappropriate definition of the role of human actors within the system on the other hand.

The task of creating an humanisticly oriented civilian IT is only now being adressed by a small but growing, predominantly European, sector of the IT community. The initial efforts can perhaps be characterized by the slogans "Small is Beautiful", "Keep it Simple", "Support, Not Replace Cooperative Work" and "Give Careful Attention to Modelling Reality in Categories Well Understood by Users".

In the current social reality the emancipation of IT from its comprehensive military pollution can hardly be the work of the civilian side which has hitherto been completely dominated by the interest of international corporations which have in general very military like structures and are in any case closely interlaced with military interests.

As a pure mathematician specialized in mathematical physics and in theoretical aspects of other modelling situations and as a consultant in practical IT system development and use we call upon the educational institutions to help in establishing alternative ideals for the relationship between citizens and suitable IT systems based on adequate models, to contribute all their possibilities and experience in the more than ever decisive task of developing self-confident people who strive for

working environments which permit them to know the consequences of their activity and thereby create the possibility for them to bear responsibility and encourage them to do so.

We need to support the subordination of the technology enthusiasm of the young generation to a disciplined humanism counteracting the tendency to pernicious technocratic systems which may be the natural result of young peoples' tendency to test the boundaries of their mastery of technology. We must in particular support the comprehension and the ability to distinguish the various and fundamentally different types of applications of IT and of mathematical modelling, to develop sensitivity to the abuse of mathematical models to mask reality or to facilitate avoidable increases of technology induced risk.

Educational institutions may not be able to correct fundamental malorientations in society. But they can help to keep the eyes closed of the young or can help to develop antennas, ears, senses to accurately distinguish between true complexity and true simplicity even in face of contradictory superficial appearance.

Thus, in concordance with most thinking about modern mathematics and computing (Atiyah, Kahane, Abelson) the focus in mathematics education must be directed to the rich possibilities of traditional and modern mathematics to handle complexity:

(1) The pupils and students should learn to distinguish between the different status, foundations, controllability of mathematical calculations. Not all calculations are reliable nor are all calculations arbitrary free constructions. Every educational level should achieve awareness that many models have no domain of validity and that every non-empty domain of model validity has its boundaries which should be the object of persistent attention.

(2) They should be aware of the great potential of mathematics to reduce apparently chaotic surface phenomena to quite simple generating mechanisms i.e., to reveal the true simplicity behind some complex appearance; they should learn not to accept the falsification of real simplicity by vested interest motivated allegations of complexity.

(3) Students at the appropriate level should be aware of the great strength of mathematics to reveal the complexity of apparently simple relations. The students need to gain familiarity with nonlinearity, with time lags in buffered systems, with the diversity of forms near singularities, near "flat points", with the occurrence of rare but in the long run repeating and accumulating "strange" incidents in number theory, probability and numerical analysis.

This puts the currently and foreseeably required mathematical education in a delicate position right between two well established orientations in mathematics education, towards "pure mathematics" on the one hand and "applied mathematics" on the other. The pure mathematics oriented view emphasizes the counter-intuitive side of mathematical concepts, the borders of applicability of definitions and statements, the surprising vigour and simplicity of some arguments, and the limitations and weakness of others. The proponents of pure mathematics have rarely undertaken serious efforts to define, explain and justify their educational goals. They have often marketed their product simply as useful selection criteria

for advancement to privileged positions in society; or they may just put forward the general view that pure mathematics is at the root of much in modern society; or they suggest that some non-specific qualifications such as logical competence results from pure mathematics; or they just sell it as "brain building". The absence of testable goals is an insurance against failures.

The other orientation, the applications oriented position, tries to overcome the obvious weaknesses of the often unaccepted pure mathematics oriented position - problems with student motivation and criticism of "users" of mathematical training - by incorporating carefully chosen examples of mathematics applications in the curriculum, perhaps by presenting examples or by guiding the student's project work. In overcoming pure mathematics oriented concepts the applications oriented position has a great appeal for many of the best, most creative and most energetic teachers. However, the results are often poor and in fact inferior compared with the "pure mathematics oriented" approach and evaluated with a view to the new trends in mathematics applications. Because of the pedagogically well intentioned selection of the examples, those chosen are biased and generally very misleading: They are too simple, too smooth giving the student a wrong impression of "mathematical concepts matching reality". The students do not see the true problems in modelling, in simplification and generalization, in the formulation, analytical treatment and numerical solution of the equations, in the interpretation and control of the results - or they see them only in systematically reduced form.

The choice of context is moreover often misleading: Population biology or macro-economic modelling are preferred choices and other fields which are easily approached by the mathematics teacher due to the lack of mathematical tradition in contrast e.g. to engineering, geodesics and meteorology. These later more established subjects are more representative for real modelling of complex reality and therefore more difficult to teach.

A true humanistic alternative has to provide the students with much more insight into the true complexity of modelling in all its aspects. This will be a difficult task in practice: The curricula and the rules of examination demand testable knowledge and have difficulty with the required types of metaknowledge. Teacher education usually does not provide the necessary experience in modelling. The pupils and their parents feel uncomfortable and lost with lessons of talking about mathematics.

However, more efforts in that direction should be made. And in concrete situations where school administration and teacher qualification only permit the choice between the "pure mathematics oriented" and the "applications oriented" position one should hesitate to follow too readily the pragmatics of the "applications oriented" or to blame too much the "pure mathematics oriented" as elitarian. As in general technology assessment, the conservative approach may be the more humanistic and more soundly futuristic approach also in mathematics education.

II. On the risks of technology applications at the borders of our knowledge

Contents. 1. Introduction - 2. The reliability and unreliability of numerical calculations - 3. The miscellaneous "qualities" of mathematical and scientific knowledge - 4. Feasible but not controllable - 4.1 The mathematics of diffusion: from ad hoc specific knowledge to a theoretical embedding - 4.2 Praxis without theory -- 4.3 Barriers to human cognition - 4.4 Solving problems without "grasping the situation" - 4.5 Methods being cemented - 4.6 Romantic affection for technology, artificial intelligence, and reality - 5. Are there absolute limits to cognition? - 6. The social ethics of scientific and technological transformations - 6.1 Doubt and risk - 6.2 Quo vadis? - References.

1. Introduction

Reading the following paper on mathematical natural scientific methods and findings may be quite troublesome for some readers. It may require the search for definitions of technical terms in dictionaries and in textbooks, which may in turn give rise to further questions. Some readers will wonder whether it is all worth the trouble and whether the authors could not be expected to provide epistemological and political generalizations and conclusions quicker to read, easier to understand and universally applicable. Yet, citizens, activists and sociologists cannot be spared the effort of acquiring basic knowledge in the fields of the natural sciences and technology today.

Easy generalizations may be tainted with a shortcoming inherent in the process of cognition: the greater the distance from the subject the more easily the philosopher, however subjectively critical, is tempted to conclude from the infinitude of our mathematical-scientific cognitive potential that any technology could be controllable, provided only that there are favourable social conditions, democracy, socialism, peace and a certain degree of social prosperity. The closer one gets to the subject, however, the fewer chances are there to disperse the doubts of scientists, engineers and technologists (however much they might be in love with their favourite toys) about the mere technological and scientific controllability of technologies.

This has not always been so. At the beginning of this century the following concept was still widespread among mathematicians and scientists: 'if only we knew a little more, we could cope with the problem at hand'. Today no specialist would seriously assert this; too much concrete experience has been gained with the explosion of mathematical, scientific and technological knowledge:

In the social sphere the progress made in the perception of nature, the acceleration of discovery and the extension of the arsenal of theories, methods and

This paper by BBB, MBC and GP is based on a contribution to the international conference "Upheavals in contemporary natural sciences" (Wuppertal, 25 - 26 April 1987) which was intended to mediate between scientific workers and labour movement activists. To appear in *Scientific World - Quarterly of The World Federation of Scientific Workers*, London 1988/3.

instruments have vastly widened the scope of technological feasibility and of artifacts produced. The combination of highly specialized technical knowledge with narrowmindedness and callous lack of consideration has led to an avalanche of new problems, to the catastrophic result that today we are groping along the borders of our knowledge in many social spheres.

The more we learn in science and technology the more our ignorance becomes apparent. Each new achievement of science and technology has been accompanied by the discouraging experience of the complexity of man-made technology. The complex properties of common alloys, the behaviour of modest programmes in business computing, the performance of the Space Shuttle system and of SDI cannot be reliably forecast. These systems - trifling though compared with the complexity of global issues - are proving to be technically uncontrollable by their own creators. That is why there is no room left any more for the notion that our traditional mode of shaping the interrelations between humans, technology and nature is manageable, as it turns out that we are incapable even of comprehending the multiplicity of system components and thus incapable of controlling the systems.

On the basis of the experience that we gained with mathematical methods applied in natural science and technology, with reliability and unreliability of mathematical computations and their causes, with feasibility in the absence of comprehension and control, with the sensitivity of mathematics and physics for the risks inherent in these subjects at the borders of our present knowledge, we plead for a new orientation of our thinking, argumentation and activity.

2. The reliability and unreliability of mathematical computations

Whereas the importance of mathematical and scientific reasoning is gaining momentum everywhere, public thinking about the credibility of mathematical models has bogged down in stereotypes. The question is, how can we attain a more realistic relationship to mathematical computations?

Thesis 1: *Mathematical computations can and must be relied upon.* This thesis holds for the crane operator at a construction site. According to the law of leverage $F_a \times l_a = F_b \times l_b$ the maximum load to be lifted can be calculated, so as to prevent the crane from tipping over and endangering the lives of construction workers. This thesis is also valid for an investment syndicate planning to launch a communication satellite to a geostationary orbit. Newton's law of gravitation permits the calculation of the altitude of the orbit with the degree of precision required by the syndicate's members for the safety of their investment. Those who love their lives or their money must accept Thesis 1.

The work safety inspector at the construction site nevertheless knows the dangers due to gusts of wind and to trucks moving about the site; the investment adviser knows how frequently booster rockets explode, rendering the application of mathematical computations invalid. More precisely this means:

Thesis 2: *Mathematical computations cannot and must not be relied upon.* This thesis holds for the proprietor of a fish pond. Basic equations may be established on the mortality rate of fish and their weight gain. The optimal delay until the right moment for harvest can be mathematically deduced; the deduction is quite similar to the calculation of parameters for the flight of a satellite. In practice, however, a considerably shorter or longer waiting period may turn out to be more profitable for the owner of the fish pond; not due to miscalculations, but because our model did not correctly reflect essential relations. In that case the data base and the structure of the model are modified, new parameters are introduced (such as breed, age categories, season, regional features). This adjusted, refined, yet not necessarily more adequate or realistic model is then taken as a basis to further calculate when best to release the spawn into the pond, when to harvest the fish and to calculate the productivity of the business - until new discrepancies attract attention. The fish for example may be subject to an infection while the competitor's fish may suddenly begin to gain weight much faster than expected, due to a slight change in the feeding regime.

The legendary collapse of the Tacoma (USA) suspension bridge on 7 November 1940, only four months after its inauguration, also supported Thesis 2. Structural calculations and construction had been done faultlessly. The causes of the accident were later discovered by experts in the field of the mechanics of fluids from the motor and aircraft industries. Wind pressure on the steel structure, which had been designed particularly robustly for safety, was found to have led to rhythmic vibrations of the whole structure of the bridge. These vibrations had built up to a "gallop" due to an unfortunate resonance. Greater safety could have been reached not by more precise calculations or better construction work, but only by transcending limits too narrowly conceived by the designers.

Another example of a failure prone system is the worldwide network of stock exchange computers. Here there are two aspects to be considered. The breakdown of the London stock exchange computer system on the very day it was put into operation in October 1986 was a quite normal event for the computer branch, one that might occur anywhere, a normal event in the course of development of large civilian or military information systems. Such systems are usually not completed according to schedule, and their functions are usually not adequately ascertained and described at design time, but only after installation and initial use. [1]

In fact, the demands on the computer system of the London stock exchange, namely a precisely contracted access range for each user to prevent overloading, had been correctly specified, but had not been installed according to schedule. To avoid compensation claims, the full access range was allocated to all users at the beginning, which caused the breakdown, since neither an overload management modul nor suitable emergency procedures existed.

The unpredictability of the functioning of completely installed and "faultlessly" working stock exchange computer systems, however, is still more dramatic. Detailed investigations into the functioning of such computers (and later dramatic experience with the market collapse in October 1987) reveal a further aspect of our Thesis in this connection: The increasingly efficient and quick functioning of stock

exchange computers (10 enquiries per second) interferes with the control mechanisms of the stock exchange as programmed trading is activated by the slightest fluctuations in price or exchange rates. These fluctuations are electronically forced, not damped.

3. The miscellaneous "qualities" of mathematical and scientific knowledge

The political problem with mathematical models is neither due to their reliability nor to their unreliability. It arises from the circumstance that their credibility needs to be concretely evaluated in each single case. A reference to substantiated experience with the reliable or deceptive character of mathematical models and calculations in other contexts is of no value. The fact that many mathematical formulae superficially look very much alike even though their scientific-theoretical status, their significance, the mode of their verification, and their range of validity may be very different renders judgement difficult.

The binomial theorem $(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$ expresses a property of numerical systems no longer valid in computer arithmetic. Pythagoras' theorem $a^2 + b^2 = c^2$ follows from the system of axioms of Euclidean geometry, but is no longer valid in curved spaces (as e.g. the spherical or the earth's surface). The formula $F = ma$ merely gives a definition of "force". The formula of gravitation, $F = Gm_1m_2/r^2$, however, expresses a law of nature. The mere suspicion of the minutest deviation from the formula is exciting. [2] Einstein's $E = mc^2$ is used as the definition of energy nowadays, although originally conceived as a law of nature. Ohm's law, $U = RI$, however, is just the linearization of much more complex relations, though it is very reliable within the ranges of temperature, voltage and intensity of current in everyday application. The formula of risk, $R = PF$, with P standing for the probability of an event to occur and F for the consequence, means at best that the risk increases with the probability of an event and the extent of the consequences.

If we follow the differentiation between modelling, arithmetical formulation and algorithm customary in applied mathematics [3] we can give distinctive features and quality criteria for each level. There are ad hoc models, as in the fish pond example, which are credible as long as they represent empirically verifiable facts. In that case they may even be outstanding and irreplaceable, just like a valid railway time table or any other reliable chart. An application beyond their range of validity without any preliminary empirical verification can supply some information, similar to an outdated or foreign railway time table, but will, as a rule, be worthless and, if the previously acquired authenticity is mechanically transferred to the new situation, it will be misleading at best or even dangerous. Theoretically substantiated models, such as Newton's celestial mechanics, are not necessarily more precise than ad hoc models; the coding of experience in the form of a theory, however, allows a more flexible use of the model since the theoretical assessment of the precision and of possible deviations of the model can be based on the model itself.

In mathematical statements we distinguish between infinitesimal approximation on the one hand, which comprehend a large, yet finite system of atoms, molecules, droplets (components) of finite size as an infinite system of infinitely small "points", with all entailing computational advantages and limitations of classical analysis and, on the other hand finite methods of approximation of systems with e.g. 10^{18} interacting units through a system of perhaps only 10^3 interacting larger units or lumps. Similarly there is an analogous dependence of assessments, of forecast or comparisons of quality on classifications, which are essential, among other things, for statistical tests.

The discretization of infinitesimal models occupies a special position. For historic reason it still remains in the focus of interest of applied mathematics. It is in fact a science in itself to ascertain in what conditions results are useful - and when they are just reflecting qualities of the procedures chosen, without having much to do with the real point of departure. [4] We frequently confront the necessity to investigate, whether essentially non-linear relations can be adequately approximated by linear relations and to delimit the influence on the results: in the pendulum, for example, the difference between harmonic and damped oscillations is insignificant, if e.g. the velocities of a single swing of the pendulum or the forces in the positions of equilibrium are to be investigated. Not so in the synchronization of two pendula, when a linearization is qualitatively misleading. [5] In fluid mechanics the essential whirls would be eliminated by linearization. [6]

The computer implementation of models may involve hardware and programming errors, which may be typing or logical errors, or due to defective compilers or due to the failure to provide for the deviation of computer arithmetic from real arithmetic with resulting grotesque amplification of error. [7]

4. Feasible but not controllable

The history of technology and mathematical physics supplies little support for the idyllic image of the harmonic progress of human knowledge and its practical use in intimate reciprocity. The gap between theory and practice is the far more typical situation, and it has two aspects: frequently the development of theory is far ahead of its practical application, i.e. basic scientific results are often transferred to practice long after their discovery. We recall how long it took to displace the outdated Ptolomaeic model of the universe as basis for astronomical navigation tables. Or just remember the many thousand man-years, the creation of vast R/D centres, of special new types of factories and of entire industries that lay between the fundamental Hahn-Strassmann experiment for the nuclear fission chain reaction and the conclusion of the Manhattan project (atomic bomb production). This case illustrates the difficulty of translating theoretical knowledge into practice. This is a normal case, which does not lead to theoretical misconcepts.

The other side of the coin is the relative autonomy of practice, which develops in the absence of theoretical elucidation. There is a tendency to pass off assumptions and ideas linked with specific situations as theories, thereby giving rise to illusions.

Thus mathematical analyses are conducted day by day in fluid mechanics with numerical approximations to the solution of Navier- Stokes equations, even in cases where the existence of solutions is hitherto unprovable.

Technical feasibility and mathematical computability of an individual problem are confused with controllability. Yet there is no control as long as the scientific foundations, the comprehension of boundary behaviour, behaviour under varying conditions, a broader empirical foundation or the theoretical embedding of the ad hoc specific knowledge are missing. It is not always lack of knowledge alone, but indeed often the turbulent advance in the accumulation of specific ad hoc knowledge that endangers our safety, our lives and our health. Such is the epistemological and political problem of many new technologies, of reactor technology, genetic engineering and computer systems.

The political significance of these technologies calls for an epistemological discussion, but also obstructs it through prejudice and statements of faith. To begin with, we therefore will elucidate the problem of "feasibility" rushing ahead of "controllability", the problem of "specific knowledge" coming before "theory" proceeding from a politically less brisant example, namely the development of our knowledge about diffusion processes.

4.1 The mathematics of diffusion: from ad hoc specific knowledge to a theoretical embedding. Diffusion is the transportation of mass in gases and liquids through the relative movement of microscopic particles. The molecules of a perfume diffuse through the air in a closed room, even in the absence of any draught. Sulphur dioxide diffuses through the air and penetrates books in the shelves of a library, corroding the paper of the books. The mixing of gases, our first example, is well understood. It is governed by Fick's law according to which the mass of the perfume molecules diffusing through a cross section of 1 m^2 per second is proportional to the concentration gradient. Thus the perfume molecules diffuse, on an average, to areas with a lower concentration of perfume molecules, and generally, all the more rapidly the greater the concentration gradient is.

Fick based his law on two foundations when he formulated it in 1885; the analogy to heat diffusion - which is physically something entirely different, namely the transportation of energy, not mass - and on the fact that it was easy to verify his assumption experimentally. That was a sufficient basis to elaborate lengthy tables of diffusion coefficients for certain mixtures at certain temperatures and, on this basis, to calculate and forecast with great accuracy the course of diffusions in terms of time and space. Yet, all calculations applied exclusively to the precisely specified situation. A transfer of the results to related, but experimentally as yet uninvestigated situations was (strictly speaking) not possible, since the theoretical understanding, e.g. of the dependence of the diffusion coefficient on the temperature and molecular weight and the certainty of proportionality, the linearity of the basic relationship between mass transport and concentration gradient were still missing.

This theoretical understanding was subsequently supplied in 1905 by Einstein, who explained diffusion processes on the basis of the statistics of the thermic random walks of the molecules. But even this does not support reliable calculation

of the diffusion of SO_2 through the air pores of paper, since the accompanying chemical reactions increase the characteristic diffusion time (a measure for the period of time between the contamination of the books and their decay) from the range of seconds to historic dimensions of decades or even centuries. Moreover, the theoretical understanding acquired is no guarantee against grotesquely wrong solutions in computer simulations, due to a wrong relationship between time and space increments in the discretization. Yet there is a framework within which reliability, transferability and limits of the model can be formulated. All together a story of success.

4.2 Praxis without theory. The application of mathematical models and computer simulation practice yield the following experience:

(1) The diffusion example is not a singular case. Scientific and technological progress has brought forth more and more situations in which we are acting without having sufficient theoretical knowledge, in which we are exclusively relying on singular findings, in the hope of avoiding practical failure, in the hope that theory will subsequently legitimize our work. Such an approach may be acceptable in some cases; in others the risk will possibly assume intolerable dimensions.

Example: Computer aided quantum chemical methods have largely stood their test in technological chemistry. They enabled synoptical charts to be drawn of the number of combinations of given atoms to molecules. Such methods are also applied in solid-state physics in the search for new substances with specific material properties, although in this case more complex relations, such as crystal structures and the mobility of electrons, need to be modelled, too, and we are still lacking descriptions of the essential determining factors.

Thus it is not surprising that in the latest pioneering discoveries of the gallium arsenide semi-conductor and the new superconductive materials (which are both of military importance) it was not the computer models, but experimenting reminiscent of alchemy that led to success. Such is the situation in the field of materials research, equipped with well defined questions and almost unlimited resources. How can one believe, in these circumstances, that the no less complex medical "material properties", the biological risks of new substances, e.g. in genetic engineering, could be calculated and thereby checked in advance?

(2) Goodwill is of no value if associated with the pursuit of technical solutions at and beyond the boundaries of our knowledge which raise the level of mathematical-scientific complexity and therefore the level of risk.

Example: Garbage incinerators were conceived as an alternative to refuse dumps which are endangering ground water. Later we discovered that garbage incineration produces HCl and dioxine. Thus environment protection and the preservation of remote wet biotopes acquired unintended priority over the protection of people living in congested urban areas. Even worse, the feasibility of technological fix-alternatives prevented genuine social alternatives from being implemented. Instead of eliminating redundant production, recycling material, sorting garbage and radically intervening into production, packing and distribution of fabricated foods - undoubtedly controllable by scientific methods, but still an approach with

many social implications - we decided in favour of the socially less complicated, but hitherto uncontrollable solution of burning our garbage heaps, thus increasing the cancer hazard for the urban population. Now our attention is directed toward the design of filters which are expected to prop up our previous misconstruction.

(3) Complexity and uncertainty grow rapidly when processes are interlaced; the more so when we integrate components which are hard to control as single elements (nodes) into a much more complex network.

Example: The synergetic effect, the qualitatively new and often unpredictable resultant properties of two in themselves benign, but insufficiently investigated substances, also relates to this kind of interlacement. Farmers, e.g., commonly use fertilizers and pesticides which, mixed with other pesticides, can greatly enhance the penetrative capacity of these substances in human fat tissue.

(4) The uncontrolled interlacement of a large number of nodal points individually quite easy to control is not less risky; as specially if the safety of handling the partial process is simply projected to the whole, since the interlacement allows deviations and accidents to reproduce far beyond the immediate incident, thereby drastically changing the dimensions of possible damage.

Example: Lead belongs to the best known poisons. But when in 1923 organic, medically particularly risky lead compounds were used as antiknock compounds in petrol for the first time there were no social forces in the USA to draw attention to the obvious hazards. Only in the spheres of production and distribution did the trade unions manage to enforce safety measures to be taken to protect their workers. Regular medical screenings of the workers were introduced. In the Soviet Union, however, the use of leaded fuel was prohibited in all cities. [8] This had been unnecessary according to the results of medical examinations of workers in refineries, since most of them had been exposed to much higher concentrations of the poison without having developed symptoms. The decision was counterproductive also in economic terms as the use of lead-free petrol clearly reduced the durability of the engines.

The decision was right, however, if judged comprehensively, because we are facing a highly intricate problem here with a host of elements interacting: production and transport of toxic substances, combustion processes inside the engine, waste emission, diffusion through the air, precipitation, accumulation in the ground; spatial lay-out of roads, housing conditions, location of kindergartens, schools and play grounds; incorporation of toxic substances through the lung and stomach as well as their distribution through the blood stream; physiological mechanisms, functioning of enzymes etc. Most of these questions could have been more thoroughly examined at that time. But there had been no general analysis and no clear-cut division of the complex of issues into individual problems. Though the medical partial problems in themselves are highly interlaced and complex, even at that time, a great deal of statistical material was available, but no adequate biochemical explanation of the mechanisms of lead poisoning. At the beginning of the 70s overwhelming statistical evidence was produced of serious neurological disturbances in small children who were found to have an increased concentration

of lead compounds in their blood and their brains. [9]

(5) Breaking up complex problems into a network of processes with the narrowest interface could by all means be an asset, provided the individual nodes forming the complex are fully comprehensible.

Example: Computer models of the global effects of a limited nuclear war led to the conclusion that climatic changes due to dust and smoke emissions are likely to occur, a point which had previously been disregarded by both the military and by the anti-war movement. Both had focussed their greatest attention on the enormous energies released during nuclear explosions. So computer modelling was heuristically applied to generate questions and hypotheses. The answer to these (the forecast of a nuclear winter) was deduced from the concrete - stimulated by the question - precisely defined and independently conducted astrophysical, volcanological and aerodynamic investigations.

(6) Buffered systems tend to react with delay, only at a time when serious and often irreversible damage has already been done.

Example: The effect of polluted air on forests remained obscured for a long time, since the biological system of a forest can buffer off a certain quantity of toxic substances, it reacts with delay. The greenhouse effect, which occurs due to the enhanced concentration of CO_2 in the atmosphere (buffered though the interaction of CO_2 with the oceans' waters)P seems to follow similar rules. [10]

If out of the three warmest years since 1861 none lies further back than seven years [11], this may possibly be explained "merely" as the delayed effect of previous overexploitation of nature, which raises the question as to whether we or only successive generations will live to experience the consequences of the pollution caused in our days.

Conclusion: There is no reason for complacency in the face of the thoughtlessly continued production of millions of chemicals and the daily synthesis of new ones after having established that neither the components of these chemicals nor the production processes are fully controllable and after having found how difficult it is to predict the properties of new materials as well as to learn of the biological effects of certain basic substances and their compounds, not to speak of the combined effects of all of them together.

Our examples substantiate various objective cognitive problems:

- the absence of theoretically substantiated models and comprehensively empirically validated methods for the various fields of activity;
- the interlacement of processes and effects;
- concealed effects in buffered systems;
- the gigantic complexity of possible interaction.

4.3 Barriers to human cognition. Apart from these objective barriers to insight into the complete range of essential effects of complex processes - there are a number of limits to cognition rooted in scientific practice, in society as well as in individual thought patterns. And we have no social psychology of scientific and technical calculations that systematically investigates those limits to human cognition. Therefore we can give only a few indications here.

The individual factor: Slow change is often hard to recognize for an individual. The expectation of the Middle Ages that everything would remain as it was has long since vanished in the experience of great radical changes. Yet we are still lacking sensitivity towards the possible significance of small, inconspicuous alterations. In addition to that there is the habitual practice of resorting to "customary" strategies, e.g. "linear" reaction. We expect a double effect from double effort. The experience that things develop according to other laws is rare. Our spontaneous reactions, based on ignorance, are wrong. To give just one example: the braking distance of a motorcar increases more rapidly than linearly depending on the speed, but the rule of thumb to calculate the safety interval says, it is "half the indication on the speedometer".

The president of the World Federation of Scientific Workers, J.-M. Legay, described the inadequacy of individual common sense:

- (i) The world presents itself as an ensemble of complex relations; reality is inexhaustible.
- (ii) Therefore our problems can neither be solved with the help of a magic formula nor through a dogmatic decision.
- (iii) The great "shortcoming" of science, its complex structure which links comprehension with numerous prerequisites - is both a necessity and an achievement.
- (iv) But there is also the fact that the majority of the people in large parts of the world are not conscious of this complexity; they are uneducated, among other things, because of the abstract form of the small amount of knowledge that is transferred to them.
- (v) Their craving for simple answers, their aversion against complicated investigations must be overcome. [12]

Scientific practice: The absence of reliable scientific foundations in many fields of activity, the disparity between feasibility and controllability, draw our attention to the way in which the acquisition of scientific knowledge is organized. On the one hand the threat to humanity by nuclear weapons and environment pollution is attributed to science, but on the other hand also salvation is expected to come from a reorganized science. On the one hand narrow minded professionalism is denounced, on the other the smart zealotry and adaptability of directors of institutes are criticized. On the one hand scientific work is smiled at as the retreat to the ivory tower, on the other hand science is reviled as the centre of evil powers.

All these distortions ill befit the daily routine of scientific activity, of life at scientific institutes and at industrial research centres.

It is not the narrowly specialized expert who sets the tone today, but the research team or the outstanding individual scientist, capable of surpassing the limits of narrow well-trodden paths. On the other hand it is hardly the case that the think-tanks of the Rand Corporation have much voice in decisions on financing SDI.

And yet, concentration on individual aspects of a subject, i.e. work discipline and raising a narrow mental focus are nevertheless part of scientific activity as are fund raising and accounting, propaganda and accommodation to external deter-

minants. External determinants may be primary sources of barriers blocking the process of cognition in scientific activity. They are main sources of distortions, on account of the selection, assignment or rejection of themes, means and methods. Compared to these, barriers to cognition on account of narrow specialization are negligibly small. The problem with narrow specialization lies not in the conscious derivation of individual results with well defined validity, domains and boundary conditions (the valid use of specialization provides indeed the prerequisites for a social approach based on organized combination of different experience bases and including public participation), but in spontaneous, uncontrolled violation of the limits of competence in association with the unfounded transfer of confidence well founded within those limits. Generalized knowledge about fields adjacent to the specialist's own, however, is commonly not up to date, leading therefore to wrong conclusions based on historically outdated premises.

For this reason, though it may seem paradoxical, the statements of experts are usually worth more when they confine themselves to proposing detail solutions within the scope of their respective fields - even if they leave interlacements with adjacent fields out of their considerations - than when they transfer their narrowly specialized competence in an illegitimate way to their own naive and primitive concepts of the interrelationships of their own with other fields. An efficient automobile engineer may deserve great confidence in his competence in finding improvements on existing combustion engines, even in the search for an alternative technology to the traditional Otto combustion engine. His competence as a "transportation expert", however, will have to be regarded with the greatest suspicion, if e.g. he fails to call into question our chaotic traffic conditions, the waste of raw materials and the pollution of our environment which are all caused by modern individual traffic as well as the irrational mode of work place and housing distribution.

The public: The new character of science as a factor that effects human living, as a productive force and as a means of destruction, has raised the concept of publicity of science onto a higher stage of importance. Decisions on new weapons are no longer exclusively reserved to war ministries, decisions on chemical productions to be introduced are no longer the sole concern of managing directors. Once science had gained in importance the social basis for decision making had to be widened by allowing experts to participate. The diversity of opinions of these specialists turned out to be an efficient means to further objectify decisions - or at least to objectify the discussion of decisions to be taken - to democratize the process of decision making. [13]

This process is still very ambiguous, as in reality we find that decision making is relegated to experts and mediators and that interests alien to the matter in question are concealed behind the opinions of these experts and mediators instead of involving all people concerned, including experts, in the process.

With the relegation of decision making to "experts" and "mediators" the right of the individual to take part in deciding what risks should be taken despite substantiated doubts gets lost. As a substitute reaction there is either the "Let's do what can be done" or "Better leave everything as it is" attitude. Only allround

educated people, whose self-respect and sense of responsibility have not been destroyed by excessively long exposure to an incomprehensible environment, which they perceive as being beyond their control, can put the flood of information issued by experts and mediators to good use and keep or regain the initiative.

Capital: The simplest barrier to cognition exists in the minds of those who live from profit. They will hardly readily accept that production cannot be continued unrestrained as hitherto, and they are rarely prepared to renounce the associated profits. "The unprecedented explosion of science and technology in the 20th century grafted an artificial organ onto the biosphere, i.e., the world economy, which is slowly, but surely poisoning it. ... Many people have reappraised their values and have come to realize that the ecological crisis is a consequence of many factors, but above all, the profligate use of natural resources." [14]

Quite rightly no reference is made in this statement to any specific part of the world economy, since the specific contributions of the systems (differently valued anyway) are insignificant in this context. Capitalism or socialism? The relevance of this question may show one day in the ability of either the one or the other system to draw the right conclusions and to actually redirect production. (Yet this is still an open question, the status of the expansion of the production process as a prerequisite for the growth of capital being a precondition for the existence only of capitalism not withstanding. Only in socialism are these processes conventionally subject to political decision.

4.4 Solving problems without "grasping the situation". One often hears that we have to distinguish between theory and method or model and tool. Definitions are given which say, that methods and tools supply solutions to problems whereas theories and models provide descriptions and explanations. But can these drawers really be separated so neatly? It is possible, for instance, that the application of the "Pledge-Algorithm" of search theory will help to find a way out of any two-dimensional labyrinth that has an exit. Yet this procedure can only lead to the exit. It does not supply a scheme of the labyrinth, it is therefore worthless for the purpose of describing and explaining. No experience is accumulated for a second attempt to escape from the labyrinth. However, since the procedure always leads to a solution of the problem under the given conditions, it contains something general. It comprizes one aspect of the term "labyrinth" and thus becomes a theory. [15]

It is difficult to draw a clear dividing line between method and theory in broad areas of mathematical physics. The nature of light is not completely known, but we know the criteria by which to decide when it is best to model light as a beam, as a wave or as consisting of particles. In this case we have learned to handle our ignorance correctly.

Finally there are technical devices such as the turbine, which could only be invented, because technologists and engineers rigorously disregarded the existing ignorance and the academic and patent offices' demand for a theoretical understanding of their invention.

Problem solution without a comprehension of the situation, therefore, is an absolutely normal thing, be it that the method is a veiled theory, or that it reflects

only a certain facet of reality, or that it may be subsequently investigated in practical application without taking too much risk.

4.5 Methods being cemented. The legitimate and successful application of methods to solve problems without sufficiently knowing all aspects of the situation, however, may have very negative consequences, too.

On the one hand, in the absence of theory supported criteria the border between adequate and inadequate methods is obscured. Irresponsibility is encouraged; merely on the basis of an illusionary claim to general validity erroneous methods are accepted as theories; gross distortions are passed off as necessary one-sided emphasis; and the health and lives of millions of people are risked in testing inadequately understood techniques.

On the other hand, apart from encouraging irresponsibility, also rigidity is encouraged and methods are cemented which have proved to be useful in certain situations, but which are not understood. And precisely because the underlying relationships are not well understood, remote consequences of applying a method are hard to assess.

Such inertia explains for example why the programming languages Fortran and its vulgarization BASIC have continued in massive use for so long despite their creation at a time when an adequate theory of programming to support quality assessment did not yet exist. BASIC indeed, first became very popular at a time when its fundamental deficiency had already been recognized and many scientifically substantiated alternatives had been ready for use.

A similar story can be told about mathematical statistics that still, in most cases, estimates moments by the mean value, although the underlying method of least squares is only "correct" with normally distributed values; otherwise it involves risks and has proven to be "non-robust".

Another example is how the method of finite elements, originally coming from the field of statics (where it is theoretically substantiated), is increasingly being applied to the field of the mechanics of fluids, although entirely different forces are at work among the continuously distributed fluid or gas particles from those forces that are effective among the discrete structural elements of an architectonic structure.

How could this happen? There are always many acting characters involved in processes comprising masses of people. Many of these had no access to theory and could not know better. Some do not seem to have been particularly interested in the consequences of their activities. Thus, history does not only provide evidence of the serious consequences of a practice that scorns theory, but also shows how easily feasibility is confused with controllability.

4.6 Romantic affection for technology, artificial intelligence, and reality. We can learn a great deal about "recognizability" and "controllability" from technical literature on "Artificial Intelligence" published during the past twenty years. Not much has remained of the fresh spirit of those innovators of the late 60s. Instead we find an undoubtedly useful exchange of technical strategems and, right beside, familiar shop worn utopian visions.

None of the prophecies about the miracles of the 80s has come true [16]: As yet there are no mobile robots which can freely move about an industrial environment, no automatically steered cars on our roads. Still visual processing, e.g. machines capable of reading script or machines processing human language are not in practical use. They can only be programmed to process certain highly restricted types of script or language. A formalization of everyday knowledge has not been achieved. Practical experience with expert systems is modest. Only computer games, e.g. chess computers, have achieved some success. A breakthrough has only been achieved in the few cases where the activity to be simulated had already been well understood theoretically. Otherwise even the greatest material and intellectual investments have been of little use.

A gap similar to that in AI-research, between glossy outer wrappings promising the world and a rather poor content, is also developing in the more traditional branches of mathematical-natural-scientific research with the advance of what could be termed perfectionism of presentation, which has the subject of research, the method, the acquisition of data and the mode of their evaluation determined by the most impressive electronic gadgets.

Another parallel between AI-research and modern instrumental mathematics lies in the vast investments into new computer architectures. This confirms that the means of mathematical simulation hitherto used in science and technology have failed. And it proves how extreme the expectations of the users are. Once again considerable investments flow e.g. into cellular automata, although basic questions have not been clarified. [17]

5. Are there absolute limits to cognition?

When moving towards the margins of science there will always be many problems, puzzling problems at the current stage of knowledge. This does not only apply to application of technology, but also to basic research. The great anxiety aroused by latest results from basic research, the puzzles and contradictions arising, would serve as an example of the largely missing sensitivity towards interdisciplinary questions at the borders of scientific knowledge and should in no way obstruct the view of the barriers of perception and controllability, with many more direct consequences, which come to light in the daily routine of mathematics, natural sciences and technology. This, in the first place, calls for a sober approach to technical problems of cognition inherent in the subject concerned. We counterpose the following theses to the trend to draw too far reaching epistemological conclusions from results obtained in single fields of research and problems arising in this context:

(1) The logician Kurt Gödel demonstrated in the 30s that "two strange things" (H. Weyl) happen in every formal system which is not too narrowly conceived: arithmetical theorems of a relatively elementary nature can be stated, which are correct, yet they cannot be deduced within the formalism; and: if there were a formal proof that a given formal system was free of contradictions, a contradiction

could be constructed from this. Thereby Gödel has made important statements, for one thing, about the limits of automatic methods of furnishing proof by finite combinatory search processes, and for another, he proved the inexhaustibility of our cognition of nature, which is well familiar to scientists and materialist philosophers, also with regard to an artificial structure of thought as e.g. the system of natural number. [18]

(2) The mathematical theory of deterministic chaos of dynamical systems is of more recent origin: comparatively elementary ordinary differential equations were discovered in which the minutest deviations from the initial conditions can radically change the development of system states in the far future. [19]

(3) What does the modern "String Theory" of the 10-dimensional universe say? It does not assert illusionary character of our four-dimensional concept of space-time, it just assumes further dimensions for the subatomic sphere, which appear to be helpful for creating a unified theory of gravitation, electromagnetism and weak and strong interactions, which possibly could be observed only in experiments with hypothetical accelerators with energies of astrophysical orders of magnitude. [20]

(4) What does the Aspect experiment in the Bohr-Einstein controversy reveal about the "realism" of quantum mechanics? It does not say that history and universe have been created by observations of physicists engaged in quantum mechanics, neither does it mean a dissolution of space and time. It states the as yet inexplicable polarization of two "similar" photons: after influencing one of the photons the behaviour of the other, which has been moving away at the speed of light in the opposite direction, is changed. The nature of the transmission of information by the measuring instrument and between the two photons remains obscure. [21]

6. The social ethics of scientific and technological transformations

"Doubt" and "risk" have become fundamental ethical concepts of modern mathematical and scientific computations. "Doubt" - because the nature of the acquisition of scientific knowledge implies that possible answers are only provisional answers. "Risk" - because the threat of the ultimate destruction of the human species, or at least large numbers of people, required that we intervene in the processes around us. Therefore: "doubt", because we have to use imperfect instruments and models and "risk", because we need to deduce guidelines for action from models which possibly will have to be corrected later.

6.1 Doubt and risk. From the point of view of scientists and mathematicians "doubt" about a proposed solution and the inherent risk can be assessed subject to two criteria: the degree to which the model used is embedded in its empirical and theoretical environment and the lack of definition with which the equations used in the model are formulated. Model results for extreme situations are less well embedded and encumbered with greater unclarity, i.e. statements of models for normal and models for extreme situations are not equal in value. Since, as a rule,

the negative effects of failures in extreme situations have a greater impact than failures in normal situations - to mention only the inadequate behaviour of the operators of the Chernobyl nuclear power plant - the quality of forecast acquired from the model is reduced not only in the measure of deviation from the normal situation, but at an even faster rate.

Here we touch upon the sphere of psychology. The extent of the environmental catastrophe and the contradictory attitude of the overwhelming majority of people towards it as culprits and victims calls to mind the inferno which German soldiers ultimately brought upon themselves in World War Two. Historians in this connection define the fascist manipulation as a coherent system of terror, ideology and corruption. [22] According to this concept terror alone is inadequate for explaining why the German soldiers remained loyal to National Socialism for so long in the war, closing their eyes to military defeat, which had been obvious beyond doubt at the latest by the time when the German troops lost the battle of Stalingrad. Nevertheless the war continued for two more years after that; with enhanced relentlessness. Further millions of German soldiers allowed themselves to be slaughtered or maimed for life. Why did so few defect to save their lives? Presumably they tried not to think about their end or the end of the war. Presumably they still had faith in the promised technological salvation - the "Wunderwaffe" (Miracle Weapon) or they believed in the political miracle of a breakdown of the anti-Hitler coalition, a change in the regime in their own country, a separate peace treaty with the West etc.

Aren't we similarly trying to repress unpleasant thoughts? Aren't we, too, waiting for a political or technological miracle to come about at a time when the future of coming generations and maybe even our own survival are at stake? [23]

6.2 Quo vadis? We set out to report on the inner state of mathematical, scientific and technological research. We cannot supply scientific, technological or social optimism beyond that domain. More precisely speaking:

(1) The impacts of the production machine on the living conditions of humanity have become so massive that the careless pragmatism of allowing everything to run along its own inherent dynamics has become outdated. Will we succeed, in the race against time, in changing our habitual interaction with nature including everything from nuclear armaments to consumer habits into an acceptable behaviour (within our standards of valuation, i.e. a materially secure and culturally rich life renouncing at the same time many accustomed consumer goods)? To consider this as an open question may already be regarded as optimistic. Those who assume a positive answer - be it in the belief in the struggle for a better future - are no heroes, they are ignorant.

Let us hope, therefore, that it is not too late to drastically restrain our readiness to accept risks in the military sphere, in industry, animal and plant production and in handling new substances and processes.

(2) Advances in knowledge, competence, criticism and doubt must not produce resignation, but should lead to conscious action, including intervention into and halting processes where necessary.

(3) Not the advances in science as such, nor in effect the discovery of ever new

limits of our knowledge which accompanies these advances, but the irresponsible disregard of the limits have brought intolerable risks into our life. This in turn brings about new demands on the quality of polytechnical as well as political, economic and ethical education. It is not always due so much to unsafe reactor technology, missing design for economic filters for conventional power plants and garbage incinerators nor even to the capitalist drive for profit and private ownership in the means of production that people are exposed to serious health hazards and dangers. The cause lies often in the lack of interest and sense of responsibility with regard to the immediate and remote effects of our activity.

(4) The problem we are facing here is neither entirely scientific nor exclusively ethical by nature. It would be equally fruitless to moralize against the pleasure taken in profit making, which pushes interest in and responsibility for the consequences of what we are doing aside, as it were to moralize against resignation, which - in the view of existing difficulties in bringing about changes - leads to giving up trying to critically assess all foundations and consequences of one's own activity. Whereas our outdated social system, by all means, furthers irresponsibility and lack of interest recent discussions in the Soviet Union reveal that things remain complex enough even if the opposite has been propagated for decades. Without further delay we should therefore begin, also with us, to introduce social transformations which could counteract irresponsibility and lack of interest in their multifarious conditions and forms.

(5) If we may conclude anything general from our scientific argumentation, this will certainly be with regard to the problem of complexity. We have seen that modelling of a single aspect may be comparatively successful and that most dangers arise from uncontrollable combined effects or from the dominance in systems of elements which may in isolation be well behaved. Similarly social conditions should be created in which the uncontrolled interlacement of all spheres of social life is limited. [24] More scope should be given for social and individual action, individual responsibility and individual interest through an appropriate organization of the society.

References

- (1) See the broad literature on technical, mathematical, physical and information processing criticism of SDI.
- (2) J. Maddox, Newtonian gravitation corrected, *Nature* 319 (1986), 173; Polar ice test of the scale dependance of G , *Nature* 326 (19. 3. 1987), 250f.
- (3) R. S. Anderssen, F. R. de Hoog, The nature of numerical processes, *Math. Scientist* 1983, 115-141.
- (4) Cf. J. Rappaz, Approximation of the spectrum of a non-compact operator given by the magnetohydrodynamic stability of a plasma, *Numer. Math.* 28 (1977), 15-24; B. J. Jamart, J. Ozer, Numerical boundary layers and spurious residual flows, *Journal of Geophysical Research* 91 (1986), 10621-10631.

- (5) P. Bak, The devil's staircase, *Physics Today*, December 1986, 39-45.
- (6) Cf. M. B. Abbott, J. Larsen, J. Tao, Modelling circulations in depth-integrated flows. Part I: The accumulation of the evidence, *Journal of Hydr. Research* 23 (1985), 309-326.
- (7) W. Coy, Die Außenwelt der Innenwelt - Über einige Schwierigkeiten mit der maschinellen Intelligenz, *Umbruch* 5,1 (März/April 1986), 32-40.
- (8) H. A. Waldron, Lead, in: H. A. Waldron (ed.), *Metals in Environment*, Academic Press, London 1980.
- (9) Compare D. Baltrop, Children and environmental lead, in: P. Hepple(ed.), *Lead in the Environment*, Applied Science Publishers Ltd, Barking, Essex, on behalf of The Institute of Petroleum, London 1973, 52-60, with P. Grandjean, Widening perspectives of lead toxicity, *Environmental Research* 17 (1978), 303-321.
- (10) J. Hansen et al., Climate response time: dependance on climate sensitivity and ocean mixing, *Science* 229 (1985), 857-859.
- (11) P. D. Jones et al., Global temperature variations between 1961 and 1984, *Nature* 322 (1986), 430-434.
- (12) J.-M. Legay, *Qui a peur de la science*, Editions Sociales, Paris 1981.
- (13) Cf. J.-M. Legay, l.c., and the recent case studies of S. Salygin, Wie die Umleitung der sibirischen Flüsse gestoppt wurde - Ein Lehrstück über "glasnost", *Bürgerinitiative und die Schwierigkeiten der "perestrojka"*, Bl. f. deutsch. u. internat. Politik 32 (5-1987), 666-685, and A. Wolkow, Nach dem Unglück - Die sowjetische Öffentlichkeit und die Katastrophe von Tschernobyl, *Probleme des Friedens und des Sozialismus* 30 (4-1987), 540-545.
- (14) G. Pissarewski, Wipe Out the "Pockmarks", *New Times - A Soviet Weekly of World Affairs* 12.87 (March 30, 1987), Special Issue "Ward Off the Ecological Catastrophe!".
- (15) H. Abelson, A. diSessa, *Turtle Geomtry - The Computer as a Medium for Exploring Mathematics*, The MIT Press Series in Artificial Intelligence, MIT Press, Cambridge, Mass. 1981; M. Otte, Wege durch das Labyrinth - Notiz über eine cartesische Methode, *Debatte* 4/86, 39-48.
- (16) Cf. W. Coy, l.c.; W. Coy, *Industrieroboter - Zur Archäologie der zweiten Schöpfung*, Rotbuch Verlag, Berlin (West) 1985; H. L. Dreyfus, S. E. Dreyfus, *Mind over Machine - The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*, Free Press, New York 1986; T. Winograd, F. Flores, *Understanding Computers and Cognition - A New Foundation for Design*, Ablex Publishing Corp., Norwood, N.J. 1986.
- (17) S. Wolfram, *Cellular automaton supercomputing*, Preprint, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1987.
- (18) Cf. H. Weyl, *Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft*, R. Oldenbourg, München 1966, 279-281; W. Heitsch, *Mathematik und Weltanschauung*, Akademie-Verlag, Berlin 1976, 208-213; G. Kreisel, Die formalistisch-positivistische Doktrin der mathematischen Präzision im Lichte der Erfahrung, in: M. Otte (ed.), *Mathematiker über die Mathematik*, Springer-

- Verlag, Berlin (West) 1974, 65-120.
- (19) Cf. M. C. Mackey, L. Glass, Oscillation and chaos in physiological control systems, *Science* 197 (15.7.1977), 287-289; D. Ruelle, The Lorenz attractor and the problem of turbulence, in: A. Dold, B. Eckmann (ed.), *Turbulence and Navier-Stokes Equation (Orsay 1975)*, Springer-Verlag, Berlin 1976; ders., *Turbulent dynamic systems, Proceedings of the International Congress of Mathematicians, August 1983, Warszawa*, Polish Scientific Publishers, Warszawa und North-Holland, Amsterdam 1984; E. N. Lorenz, Irregularity: a fundamental property of the atmosphere, *Tellus* 36A (1984), 98-110.
- (20) S. Anthony, Superstrings: a theory of everything? *New Scientist* 29. 8. 1985, 34f.
- (21) Cf. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, Can quantummechanical description of physical reality be considered complete? *Phys. Rev.* 47 (1935), 777-780; the complete series of the Orsay Experiments (Experimental tests of realistic local theories via Bell's theorem) is described in: A. Aspect, P. Grangier, *Proc. Int. Symp. Foundations of Quantum Mechanics, Tokyo 1983*, 215-224; P. V. Christiansen, *Retur til virkeligheden, Gamma - Tidsskrift for fysik* 52 (marts 1983); same author: *The Semiotics of Quantum-Non-Locality, IMFUFAtext nr. 93/1985*.
- (22) So K. Pätzold, *Die faschistische Manipulation des deutschen Volkes. Zu einem Forschungsproblem. In: W. Kowalski (Hrsg.), Soziale Grundlagen und Herrschaftsmechanismen des deutschen Faschismus. Der antifaschistische Kampf, Teil 1, Wiss. Beiträge 1980/42 (C16) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle 1980, 48ff*
- (23) Cf. the concept of "tunnel vision" of Dreyfus and Dreyfus, l.c.
- (24) K. Marx, *Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie, Verlag für fremdsprachige Literatur, Moskau 1939, 79-80.*

INNERMATHEMATICAL VS. EXTRAMATHEMATICAL OBSTRUCTIONS TO MODEL CREDIBILITY

M. Bohle-Carbonell
Laboratoire d'Hydraulique, Ecole Polytechnique, CH-1015 Lausanne, Suisse

B. Booss and J. H. Jensen
Institut for Matematik og Fysik, Roskilde Universitetscenter,
DK-4000 Roskilde, Denmark

Abstract. Distrust in the reliability of mathematical modelling and criteria for quality assessment of models are discussed. Against the tendency to confine the evaluation process to direct empirical control exclusively, it is shown that the criteria of credibility evaluation depend both on the extra-mathematical scientific status of the model, i.e. how structured the theoretical universe is to which the model belongs, and on the analytical transparency of the mathematical treatment: Theoretically based and analytically treated models are not necessarily "better" than ad-hoc models treated by procedures of dubious convergence; however, they can be checked theoretically, whereas the other models depend solely on empirical control. This forces the mathematical-modelling community to reconsider its relations to the public.

Keywords. Reliability; model evaluation; quality control; verification; theoretical control; stability of numerical methods; methodology.

GROWING USE AND DECREASING CREDIBILITY OF MATHEMATICAL MODELLING

The enthusiasm which welcomed the important advances of mathematical modelling has in recent years turned into a growing criticism and distrust of the reliability of modelling and simulation. The new scepticism was nourished by a series of considerable malfunctions of mathematics based management and technology reaching from payroll miscalculations, nuclear plant accidents, supertanker crashes to false alarm of the strategic warning systems, spectacular failures in pollution control and wrong prognoses in ecology, economy, and demography.

From a technical point of view it is not always fair to blame mathematical modelling for these fiascos. However, in view of the increasing social consequences of mathematical modelling and simulation the criticism may be necessary. Hence, the mathematical-modelling community has to meet the criticism and start to elaborate the scientific status of mathematical models and their various levels of credibility and uncertainty.

USUAL EXPLANATIONS OF THE MODELLING CRISIS

The question of credibility was a central to-

pic at several conferences on "Methodology in Systems Modelling and Simulation" (Zeigler, 1979), "Progress in Modelling and Simulation" (Cellier, 1982), and "Model Realism" (Wedde, 1983). The variety of the ideas presented may be roughly summarized in three repeatedly given explanations of the lack of reliability of many mathematical models: Errors in the model structure due to a too radical simplification of complex large-scale systems; difficulties in identifying model parameters ("calibration") and errors in measurements; impossibility of experimental verification due to complexity and variability of large technical and natural systems.

Though valuable, these explanations do not suffice to fully understand the nature of the present model crisis. How would for instance the archetype of reliable mathematical modelling, the Newtonian celestial mechanics, pass the credibility examination? Firstly, could there be a more "radical simplification" than the reduction of the earth to a mass point with no extension? Secondly, would it have been easy to determine the parameters in the law of gravitation by calibration only? Within the limit of error in astronomical measurements at that time, a gravitational force proportional to $r^{-1.999}$ or $r^{-2.001}$ was as probable as r^{-2} . Thirdly, 300 years

one works as long as possible with purely analytical means (sometimes all the way through to the final solution) and makes use of the computer as late as possible and only in truly discrete situations where digital computerization is appropriate. FD/FE represent a "numerical" chain where one immediately tries to adapt the digital computerization to the dynamical and thereby essentially non-digital (non-discrete) original problem. In a way the applicability of digital computerization is at the present stage of mathematical knowledge increasing from "BI/BE" to "FD/FE" but so is also the incredibility and unreliability.

Note: The prospect of even faster computers and the advances in the field of higher programming languages brought about the concept of "Combined/Discrete System Simulation" which by means of "adaptive algorithms" aims at bringing the computerization even closer to the original dynamic problem than FD and FE, see (Helsgaun, 1980). It is still too early to judge the efficiency and reliability of these new methods.

THE EXTRAMATHEMATICAL SCIENTIFIC STATUS OF A MODEL

Against the usual confinement of the quality assessment of models to empirical control we developed a tentative systematization of mathematical model treatment based on the distinction between the "analytical" and the "numerical" chain of tools and methods. Models treated by a kind of "analytical" chain allow a theoretical reliability check, whereas the credibility of models treated by a kind of "numerical" chain depends on the empirical test of the results.

However, till now the analysis of the obstructions to model credibility is still restricted to "technical", innermathematical considerations which, if isolated, are as insufficient as focusing on empirical control only. This is easily seen when comparing two typical mathematical models, one from modern mathematical ecology and one from the classical Newtonian celestial mechanics. For easier presentation we will discuss the models as prototypes only and thereby neglect many of their concrete features.

Let us consider the mathematical determination of

- (A) the time of maximal weight output in a trout pond and
- (B) the placing of a TV satellite at geostationary height.

Formally the procedures of solving the two problems look very similar:

Following the specification of the problem, the determining equations are written down, i.e. the mortality equation

$$(A1) \quad \frac{dN}{dt} = -MN$$

and the metabolic equation

$$(A2) \quad \frac{dW}{dt} = HW^{2/3} - kW$$

for the number N and weight W of fish, and Newton's gravitational law

$$(B1) \quad F = G M m / r^2$$

and Newton's second law

$$(B2) \quad F = m a$$

for the masses M and m of the earth and the satellite.

Mathematical manipulations lead to a literal expression for the demanded unknown

$$t_0 = 3/k \ln((M+k)/M)$$

respectively

$$r = \sqrt[3]{\frac{G M (\text{one day and one night})^2}{4 \pi^2}}$$

The final answer

$$t_0 = 4.6 \text{ years} \quad \text{and} \quad r = 42,200 \text{ km}$$

is then obtained by inserting numerical values.

In spite of the formal similarity, the scientific status of both calculations are quite different. What would happen if the calculations of case (A) did not pass an experimental test? The owner of the pond would be the one who worried most. The mathematically inclined marine ecologists would be sorry and try to readjust the model until it fitted the new experimental data, too. But if the calculations in case (B) proved wrong by just one experimental test it is difficult to imagine what would happen. In principle, the physicists of the world should congregate to reach an understanding of the phenomenon and to make a reinterpretation of the mechanics.

The decisive difference is that the extramathematical scientific status of both calculations are not the same. Case (B) belongs to a theoretical universe built on the accumulated experience of innumerable generations. Therefore the examination of case (B) can be confined to a theoretical check. An experimental verification is not needed even though possible nowadays. Case (A) stands and falls with the practical examination though never standing firmly and never falling definitely because it is built on ad-hoc assumptions.

To summarize, the evaluations of the undertaken idealizations differ. Whereas you depend in case (A) on the empirical tests, in case (B) Newton could already make the necessary calculations to prove that it is admissible to idealize the earth as an inertial system, thus neglecting the "tidal" effects, i.e. focusing only on the relations between the earth and the satellite and disregarding the gravitational forces from the moon and the sun; the legitimacy of this idealization can be derived from theoretical analysis of the centrifugal forces within the Newtonian theoretical universe.

MATHEMATICAL MODELS - A PROBLEM FOR SOCIETY

A number of mathematicians tend to consider the problems investigated above as non-existent: "All models are different from reality, are approximations. There is only one way of modelling: go and try!" And they continue:

"There is only one theory in the world, that's mathematics. Everything else is 'experience'." These people have solved their reliability problem once and for ever.

The conclusion we draw is that the empirical control is mainly an auxiliary advice on which we depend only when the model is not theoretically structured.

Theoretically well based and analytically well treated models do not automatically have a higher reliability than models built on ad-hoc assumptions and numerically treated with algorithms of dubious convergence. As long as they honestly provide the relevant information on each item or action - without too many misprints - we appreciate directories, schedules, catalogues, maps, drawings and plans, how poorly idealized and non-theoretical they may be. And we admire highly theoretical models like the two-dimensional unified field model in quantum dynamics which in our 4-dimensional world is pure nonsense and only of methodological value.

Our message is not "Trust only theoretical models and distrust non-theoretical models!" But we can not accept the coronation of the time-tables as models par excellence and the coronation of the empirical control as the credibility control par excellence neither. All we ask is that one should examine the theoretical status of the innermathematical treatment and the extramathematical foundation of the model in order to find the appropriate criteria of the reliability control: Theoretical models and analytical procedures are usually rather abstract and somehow remote from reality. Their reliability can be discussed theoretically and they allow a theoretical judgement of the extra-mathematical idealizations and of the inner-mathematical approximations undertaken. Ad-hoc models and analytically non-transparent numerical procedures contain fewer abstractions and are usually closer to reality. They do not allow a theoretical control and need an empirical examination which must be as close to reality and as comprehensive as possible.

At the borderline between the known and the unknown we would not object to sending out even poorly equipped expeditions, But on their return we would object to the pretension of general validity of their incidental observations. A reliable statement is more

¹ A higher estimation of theoretical models may be blamed elitarian especially by populists appreciating the "immediate understandable" ad-hoc models. However, since the credibility of empirical models depends on data check, these models tend to be more private and subject to bureaucratic manipulation by data base owners than theoretical models which by their very nature are common property, since they are subject to theoretical control, at any place by any (qualified) person.

likely to come once the unknown land is settled.

In this sense, it is the duty of the mathematical-modelling community to make clear to the public whether the land they describe was visited only by a few expeditions or it is cultivated. They must not leave people with the choice of either blind confidence or total rejection of mathematical calculations. By vehemently defending the truth of mathematical models when they are reliable, and by vehemently offending the presentation of non-transparent models as reliable, scientists, mathematicians as well as non-mathematicians can contribute to providing the people with the means to judge what is coming from experts. But the concept of precision and reliability must be comprehensive. Unreliability means that the result is wrong, that the claimed precision is not obtained and that the result, though correct, is misleading when neglecting that a substitution of the premises by more realistic ones may lead to basically different results.

The boom in modelling and the model crisis reflect the fact that the sale of computer facilities and of scientific careers through mathematical modelling are progressing much faster than the development of mathematical as well as extramathematical theory. To avoid a backlash for our profession, the mathematical-modelling community is well advised in not overselling mathematical models.

REFERENCES

- Bischoff, H. (1982). Die Feldintegralmethode zur Beschreibung der Grundwasserbewegung. In Grundwasserbewirtschaftung - Grundwassermodelle, Schriftenreihe WAR 16, TH Darmstadt, Darmstadt. pp. 57-86.
- Cellier, F. (1982). Progress in Modelling and Simulation. Academic Press, New York.
- Helsgaun, K. (1980). DISCO - a SIMULA-based language for combined continuous and discrete simulation. Simulation, 35, 1-12.
- Kinzelbach, W. (1982). Modellierung des Transports von Schadstoffen im Grundwasser. In Grundwasserbewirtschaftung - ..., Schriftenreihe WAR 16, Darmstadt. pp. 109-131.
- Rappaz, J. (1977). Approximation of the spectrum of a non-compact operator given by the magnetohydrodynamic stability of a plasma. Numer. Math., 28, 15-24.
- Wedde, H. (Ed.) (1983). Adequate Modeling of Systems. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo.
- Wendland, W. L. (1981). Asymptotic convergence of boundary element methods. In I. Babushka (Ed.), Lectures on the Numerical Solution of Partial Differential Equations, Lecture Notes no. 20, Univ. of Maryland, College Park Md., pp. 435-528.
- Zeigler, B. (Ed.) (1979), Methodology in Systems Modelling and Simulation, North-Holland, Amsterdam.

ago the Newtonian celestial mechanics permitted the numerical determination of the height of a geostationary earth satellite: But it took 300 years to verify the calculation empirically.

TWO DIFFERENT CHAINS OF METHODS
IN THE INNERMATHEMATICAL
TREATMENT OF MODELS

The polemic of the Newtonian example indicates the insufficiency of focusing only on the empirical control when examining the credibility of a model. In this and the following Section we shall develop a different perspective.

First, let us examine the problem from an innermathematical point of view. The immense computerization in recent years has led to a kind of barbarism: the displacement of analytical methods and other tools and achievements of the rich mathematical culture by frontal computer simulation methods. At the same time the enormous amount of computer calculations has disclosed surprising weaknesses of classical numerical procedures and unexpected phenomena in the behaviour of mathematical systems.

Take for instance the mathematical treatment of the boundary value problems of mathematical physics. The classical mathematical approach is the reduction of the boundary value problem to an integral equation on the boundary, i.e. the replacement e.g. of a planar differential system by an integral equation on the boundary curve or of a differential system in 3-space by an integral equation on a surface. These Boundary Integral (BI) methods, connected with the names of Green and Stokes, of Hilbert and Courant, were in the process of computerization replaced first by the Finite Difference (FD) methods and more recently by the Finite Element (FE) methods. Because of the evident rigidity of the crude discretization most users of FD were aware of its inherent limitations and incredibility due to the risks of non-convergence or wrong convergence. FE provides a method of more flexible discretization which allows an adaptation to the given problem and data structure. In this way FE creates the illusion of unquestionable functioning and reliability.

The strength of FD lies in the simple straightforward programming, which by means of a regular grid for the spatial discretization replaces the original differential equations by a finite system of linear algebraic approximate equations with not fully distributed coefficient matrix. This often causes considerable difficulties in computer processing. When these programmes collapse, one is lucky - compared with the nightmare of an algorithm running smoothly and converging by successive refinement of the grid to a numerically stable "solution" which is highly inaccurate or entirely wrong. This nightmare is reality for instance in ecology where one meets a "numerical dispersion" of detrimental which are kept concentrated only when they are successively allocated exactly at grid points throughout

the simulation, whereas their allocation in between grid points by the very logic of the algorithm leads to a fractional allocation at neighbouring grid points and thereby to a successive dispersion (Kinzelbach, 1982). The fundamental weakness of FD lies in the fact that the matrix of the difference scheme does not reflect essential properties of the original system of differential equations (as "global in space-time", "general in the parameters", "continuous in the formulation", "unique in the solution" etc.).

By permitting polygonal grids with variable element size the strength of FE lies in the adaptive capability to non-isotropic field conditions, to an irregular boundary shape, and to known singularities. The higher programming effort of FE has overcome some of the weaknesses of FD but not the fundamental one inherent in discretization. A famous example shows that a sequence $\{A_h\}$ of linear

operators in finite dimensional space approximating a certain non-compact self-adjoint operator A (by FE) "pollutes" the spectrum of A , i.e. for each parameter h there exists an eigenvalue λ_h of A_h which, as h tends to zero, converges to a λ which is not in the spectrum of A , see (Rappaz, 1977).

The weakness of BI is that it demands acquaintance with the fundamental theorems of vector calculus and potential theory, i.e. essentially acquaintance with the Stokes theorem

$$\int_{\Omega} d\omega = \int_{\partial\Omega} \omega$$

where Ω is an n -dimensional differentiable manifold with boundary $\partial\Omega$, ω an $(n-1)$ -form on $\partial\Omega$ and d its Cartan derivative, in its various special cases and generalizations. It further demands the explicit knowledge of a fundamental (distributional) solution of the differential equations providing the kernel for the derived boundary integrals, and considerable computational expenses for the determination of the "influence matrix" of the discretized version of the boundary integral equation in the related Boundary Element (BE) methods. The advantages of BI lie in the fact that the influence matrix is fully distributed and that its algebraic structure reflects essential properties of the integral equation which for its part preserves essential properties of the original differential equations. Thus BI/BE is distinguished by its high reliability (without requiring, as recently proven by Wendland (1981), really more computational expenses than FD and FE) and by its step-by-step transparency which also attributes to BI the privilege of being the only method suitable for the treatment of inverse problems, i.e. problems where the parameters of the original equations must be determined from the solution, as suggested for groundwater modelling in (Bischoff, 1982).

Thus BI/BE and FD/FE represent two fundamentally different chains of tools and methods. BI/BE represents an "analytical" chain, where

Die Notizen von Bernhelm Booß und Glen Pate sind in Wirklichkeit mehr als Notizen. Es ist der Versuch, eine Systematik der Computerdiskussion zu entwerfen, man könnte auch sagen, die Gliederung eines Buches, das zur Zeit noch niemand zu schreiben vermag. Texte dieser Art zu publizieren, ist ungewöhnlich und geschieht in der Regel erst im Nachhinein, nach Abschluß des Werkes, als Teil der Werkgeschichte. Wir haben das Prinzip umgekehrt, auch wenn es die Lektüre nicht erleichtert. Die Autoren erhoffen sich davon Mitarbeit an ihrem Projekt, die DEBATTE auch.

Bernhelm Booß/Glen Pate

Notizen zur Analyse von IT-Wirkungen

Die wachsende Fülle von Untersuchungen zu Einzelaspekten der Wirkungen der Informationstechnologie (IT) kann noch nicht den Bürgern in ihrer Gesamtheit, geschweige denn denjenigen mit Aufklärungs- und Erziehungsaufgaben als Orientierung dienen, sofern nicht ein zutreffender Blick auf die gesamte Breite der möglichen Wirkungsfelder vermittelt wird.

Wir wollen hier Felder abstecken, die bei einer fundierten Beurteilung Berücksichtigung finden müssen. Unsere Sichtweise ist geprägt durch in die 60er Jahre zurückreichende Erfahrungen im Umgang mit Computern auch in Hoch- und allgemeinbildenden Schulen, durch langjährige Wahrnehmung ehrenamtlicher gewerkschaftlicher Interessenvertretung und durch unsere aktuelle Beschäftigung mit praktischer Systementwicklung und ihrer theoretischen Fundierung.

Uns fällt auf, daß der Stand der Diskussion in uns interessierenden Kreisen, bezeichnenderweise findet sie oft gar nicht statt, einen großen und noch wachsenden Abstand zur tatsächlichen Entwicklung erkennen läßt, was sich nicht selten in gleichermaßen unbegründeter Technikfeindlichkeit und Technikeuphorie äußert. Es erfüllt uns nicht mit Befriedigung, daß wir glauben, mitunter mehr Fundiertheit bei Äußerungen der Bundesministerin für Bildung und Wissenschaft oder in Werbematerialien z.B. des Ericssonkonzerns anzutreffen als bei nicht wenigen uns nahestehenden und zur Meinungsführung berufenen Diskussionsteilnehmern wie z.B. Lehrern, Hochschullehrern, Parteiaktivisten.

Problem:

Entwicklung und Anwendung von IT werden schneller vorangetrieben als die gesellschaftliche Kenntnis der Auswirkungen. Die objektive Unwissenheit ist dadurch bedingt, daß die technischen Verhältnisse und deren Auswirkungen nicht stabil und nicht ausgereift genug sind, um die Erkenntnis der wesentlichen Sachverhalte und ihrer Wechselwirkungen zu erleichtern.

Dazu kommt die subjektive, vermeidbare Unwissenheit aufgrund von tatsächlichem Informationsmangel in Verbindung mit überheblicher, vermeintlicher Wohlinformiertheit, aufgrund mangelhafter Fähigkeit, Widersprüche zu ertragen und Resignation gegenüber der Komplexität, und aufgrund von Müdigkeit oder Faulheit. Deshalb

- Ablehnung, sich überhaupt mit IT zu beschäftigen. Skepsis gegenüber IT-Wirkungen durch Unterschätzung der Bedeutung.
- Bedingungslose Ablehnung von IT, Verzicht auf Vorteile und eigene Gestaltungsmöglichkeit und Warten auf IT-Einführung durch Dekret.
- Konzeptschwäche der Befürworter. Oft nichts da von neuen Erkenntnissen über Möglichkeiten und Schwierigkeiten.

Struktur:

1 Der Computer als Medium

- 11 Sprache als wesenbestimmendes Element von Mensch und Computer
- 12 Kodierung von Erfahrung
 - 121 Alltagsbewußtsein
 - 122 Künstliche Intelligenz
- 13 Modellierung
 - 131 Einbetonierung
 - 132 Perverse Modellierung
 - 133 Algorithmik
- 14 Schnittstellen: Mensch als Systembediener/ -Benutzer/ -Gestalter
- 15 Komplexität, Zuverlässigkeit, technische und soziale Beherrschbarkeit
 - 151 Probleme der Systemspezifikation

2 IT und Umwelt — Bereicherung und Verarmung

- 21 Abschaffung der Privatsphäre. Wohnen in Konzernkontor und Amtsstube
 - 211 Überwachung im Betrieb
 - 212 Vernetzung der Wohnzimmer
- 22 Militärische Nutzung. Abschaffung der Umwelt überhaupt
- 23 Energie-, Rohstoff-, Arbeits- und Kapitaleinsparung durch IT
 - 231 Reiche kapitalistische Länder
 - 232 Dritte-Welt-Auswirkungen
 - 233 Sozialismus
- 24 Information als Waffe — und als Aufklärung
 - 241 Gift, Gegengift, Impfung, Immunität
 - 242 Wissenschaftliches Denken und IT
 - 243 Information — Konsumgut der Zukunft

3 Arbeit und IT

- 31 Büroautomation
- 32 Industrieroboter
- 33 Personalvertretungen und IT
- 34 Prägung der Entwicklung der Technik, der Arbeitsinstrumente durch Herrschaftsverhältnisse
- 35 Gestaltbarkeit der Ökonomie

4 Kinder und Computer

- 41 Sozialisation. Computer und Schule
 - 411 Soziologie der IT-Wirkungen
 - 412 Allgemeine Informatik
 - 4121 Computergestützte Modelle — Leistungen und Grenzen
 - 413 Wirtschaftsinformatik
 - 414 Lernprogramme
- 42 Heimcomputer, Spiele; Kinderhirne im Griff des Kapitals

5 Ethik: IT und Menschenwürde. Was darf der Mensch, was soll der Computer dürfen?

- 51 Ist der Mensch dem Machtzuwachs durch IT gewachsen? Welche Risikobereitschaft ist ethisch vertretbar?
- 52 Computer denken wie Menschen — Menschen denken wie Computer? Kann der Mensch seine Fähigkeit, sich den Computersystemen anzupassen, hinreichend zügeln?
- 53 Warum eigentlich nicht totale Verweigerung, Sabotage, Maschinensturm?

1 Der Computer als Medium

Ein Computersystem, sei es ein persönlicher Computer oder ein weltumspannendes Netz von Supercomputern, tritt in der Form von Hardware und Software als ein Medium zwischen

Sender (Systemgestalter und Auftraggeber) und Empfänger (Bediener und Benutzer). Es ist die »vorläufig letzte Stufe der Entwicklung der technischen Mittel der Kommunikation« (in Anlehnung an Nake 1984):

- Sprache, Menschwerdung und Kommunikation: Medium Luft, Einheit von Ort, Zeit und Beteiligten;
- Schrift, Buch: Aufhebung der Einheit der Zeit;
- Telefon: Vollständige Aufhebung der Einheit des Ortes und annähernde Beliebigkeit der Beteiligten;
- Film, Fernsehen: Breiterer Kanal (intensivere Wirkung), weniger Wahlmöglichkeit (Passivität);
- Computer: Hohe Variabilität der Nachricht bei vollständiger Zersplitterung der Beteiligten in Gruppen von Systemgestaltern / Auftraggebern / Bedienern / Benutzern / Betroffenen; psychologische Verstärkung durch interaktive Gestaltung, d.h. Übergang vom Informationskonsum zur ungleich stärker das Bewußtsein prägenden Tätigkeit.

Die Besonderheit des Mediums Computer liegt darin, daß er ein die Außenwelt modellierendes Wesen ist, ein Träger von Modellen der Außenwelt. Dabei besteht die Nachricht nicht so sehr in den übermittelten Datensätzen und verwendeten Programmen, sondern in erster Linie in der Zielsetzung des Systemgestalters, in Laune und Herrschaft oder in Hilfe und Anleitung durch akkumuliertes Wissen.

Damit läßt sich das Verhältnis Mensch: Computer nicht als Schnittstelle Mensch: Maschine adäquat erfassen. Es handelt sich vielmehr um ein Mensch: Mensch-, genauer um ein Mensch: System-Verhältnis, um die Fragen: Welche Art von Modellen kann ein Computersystem tragen und welche Modelle wird ein bestimmtes Computersystem zu tragen veranlaßt, d.h. wessen Modelle?

Zwecke werden grundsätzlich von den gleichen Instanzen bestimmt, die auch sonst auf Grund gegebener Machtverhältnisse die Gestaltungsgewalt z.B. im Unternehmen innehaben. Auch in Bezug auf IT werden diese Verhältnisse mindestens so klar wie sonst im Unternehmen hervortreten — vielleicht sogar mit einigen durch die technische Eigenart bedingten besonderen Erschwernissen:

- In Reinheit totale Herrschaft über den Bediener; Verkürzung, Verstümmelung und Zerrüttung von Tätigkeit, Sprache und Denken des Bedieners / Benutzers plus Erfassung aller Handlungen (siehe die Module 21 und 31).
- Für Systemgestalter ist es viel leichter, Systeme zu bauen, die Herrschaft ausüben, d.h. den Menschen zum Bediener degradieren, als solche, die sich den Benutzern als deren handhabbares Werkzeug darstellen. Gute Programme im letzten Sinn sind schwierig zu erstellen und so selten, daß einzelne Programme einen Weltmarkt erobern konnten.
- Wenn es schon auf Grund der Komplexität der Gestaltung von Computersystemen den Direktionen schwerfällt, das Instrumentarium IT zu beherrschen, werden dann nicht Werk-tätige noch weniger Einflußmöglichkeiten haben als sonst? Die Verteilung des Mehrwertes mag eine reine Machtfrage sein, zumindest solange es im Lohnkampf um bloße Zahlen geht, die größer oder kleiner gemacht werden können. Durch Hineinnahme der Komponente »Arbeitsplatzfragen — wie gearbeitet wird« in die Entlohnungssysteme erwächst der Tarifpolitik immer mehr Komplexität: Die Vorherbestimmung der Wirkungsweise einzelner Maßnahmen und die Abwägung von Vorteilen und Interessen ist bei der Aushandlung von allgemeinen Arbeitsbedingungen schon schwierig genug. Noch schwieriger von der Sache her ist es aber, auf die Gestaltung eines Computersystems Einfluß zu nehmen. Es ist eben kein Zufall, daß das »controlling« von EDV-Projekten zur Zeit noch — unabhängig vom Standort — als unbefriedigend gelöste Aufgabe angesehen werden muß.
- Gibt es aber nicht dennoch in der Wirklichkeit vielfältige, ganz und gar nicht zu verschmähende Möglichkeiten, auf die Gestaltung unterschiedlichster Einzelheiten zu Gunsten der Benutzer Einfluß zu nehmen, zumal wenn sie geschlossen vorgehen — und sei es auch nur, um das Tempo der Einführung einer neuen IT-Maßnahme mit absehbar ungünstigen Auswirkungen zu bremsen?
- Die positiven Einflußmöglichkeiten haben ihre reale Grundlage darin, daß die Systeme gerade von der neueren Technik her, die sich vielfach von den beschränkten Möglichkeiten der älteren Technik abhebt, viel menschenfreundlicher gestaltet werden könnten — als

Werkzeuge für Benutzer, um ihre Arbeit zu erledigen, anstatt davon beherrscht zu werden — wenn nur die Spezifizierung nicht isolierten Auftraggebern und Systemgestaltern überlassen wird, sondern der Gestaltung hinlänglich viel Aufmerksamkeit und Mitwirken der Benutzer und Bediener gewidmet und nicht verweigert wird.

- Tatsächlich ist die Unterstützung der Benutzermitwirkung bei der Systemerstellung zu einer Grundforderung moderner Systemgestaltung geworden, und zwar schon aus Unternehmersicht, weil viele Systeme als Folge von Schwächen der Schnittstellen Auftraggeber — Systemgestalter — Benutzer ihren Zweck verfehlen.

Die Systemfrage »Wessen Modelle und was für Modelle?« ist deshalb auf verschiedenen Ebenen zu untersuchen:

- Im Einzelbetrieb geht es um eine intensivere Auseinandersetzung um Modelle, die im Prinzip die des Unternehmers sind. Dabei ist zwischen Konflikten wegen Interessendivergenzen und Konflikten wegen Unkenntnis und Unfähigkeit zu unterscheiden.
- Jeder Lösungsansatz muß von einer Verbesserung der Kommunikation ausgehen und auf eine höhere Beherrschbarkeit des Mediums Computer setzen. Ohne Einflußnahme, die nicht eingeräumt oder nicht ausgenutzt wird, kommen Computersysteme auch zum Einsatz und zum Wirken — aber regelmäßig ganz anders als beabsichtigt.
- Beim »Controlling« von EDV-Projekten ist das beste erreichbare Ergebnis, Gestaltungsprojekte von Computersystemen nicht zu initiieren, wenn sie nicht durchführbar sind; das zweitbeste Ergebnis ist es, solche Projekte frühzeitig resultatlos abzubrechen. Diese vernünftig kontrollierten Projekte entfalten jedoch keine Wirkung. Es sind vielmehr die Systeme, die irgendwie funktionieren, wenn auch, wie gesagt, erheblich anders als beabsichtigt, die unkontrollierten Projekte, die oft erst nach jahrelanger Plackerei abgebrochen werden, die die Wirklichkeit ausmachen.
- Diese beschränkte Funktionsfähigkeit von äußerst unvollkommenen Computersystemen stellt ein Kernproblem dar. Mängel werden als solche nicht sofort erkannt, noch werden erkannte Mängel eines irgendwie funktionierenden Systems in der Regel abgestellt; das Funktionieren macht es schwer, zwischen tatsächlichen und eingebildeten Erfolgen zu unterscheiden; wegen der Schwierigkeit der planmäßigen Pflege eines doch funktionierenden Systems setzt man auf einen Wechsel zwischen Nichtstun und scharfem Eingreifen. Diese Situation ist von der Schule her jedem bekannt: Selten wird nichts im Unterricht gelernt; häufig hingegen etwas ganz anderes als das im Unterricht Beabsichtigte. Auch der unglückselige Wechsel zwischen Nichtstun und scharfem Durchgreifen weist auf eine tiefe Analogie zwischen Problemen der Computersystempflege und Problemen der Schaffung von Lerngelegenheiten, auf die wir noch näher zu sprechen kommen. (Kinder und Computer schreien danach, geprägt zu werden).
- In der globalen Systemauseinandersetzung scheint auf Seiten des Sozialismus das defensive Kopieren vorzuherrschen; interessant wäre der Nachweis der Annäherung an eigenständige Modelle.

11 Sprache

- * Beschäftigung mit Entwicklung einer Disziplin « = = » Untersuchung der Entwicklung der Fachsprachen.
- * F. Engels, Menschwerdung des Affen: Rolle der Arbeit und Prägung des Menschen durch Arbeitsinstrumente/Werkzeuge.
- * Antonio Gramsci, Notizen zur Sprache und Kultur.
- * Walter Benjamin: »Das Sagen ist nämlich nicht nur Ausdruck, sondern Realisierung des Denkens.«
- * Whorf: Man kann nur das denken, was in der Sprache vorgesehen ist. Sprachstrukturen prägen zumindest das Leicht-denkbare.
- * Schnittstelle Mathematik/Sprache. Chomsky-Piaget: Wo Überschneidungen, wo Gegensätze? Chomsky: Das Wesen der menschlichen Sprache zu erkennen, erfordert Mathematik. Welche ererbte Befähigung muß man dem Menschen zuschreiben, um seine hohe Lernfähigkeit zu erklären? Piaget: Die Entwicklung des Erkenntnisvermögens als Aufeinanderfolge von Gleichgewichten und Ungleichgewichten zwischen Assimilation und Akkomodation

von beim erkennenden Subjekt vorhandenen (Handlungs-)Schemata und anzueignenden Gegenstandsbeschaffenheiten. Assimilation: Aneignung der Gegenstandsbeschaffenheiten gemäß der schon entwickelten Schemata; Akkomodation: Orientierung der Aneignung der Gegenstände an der Beschaffenheit der Gegenstände selbst, d.h. Fortentwicklung, Ersatz oder Ergänzung der Schemata. Verhältnis zu den Frames der »Artificial Intelligenzia«?

- * Vorsicht mit Beurteilung von Spracherwerb: Bei natürlichen Sprachen uneingeschränkt positiv; bei Programmierungssprachen nicht so klar!
- * Welche Kriterien? Vielleicht so: Für Kinder nur solche Sprachen wählen, die auch auf nicht-mathematische Umgebung, auf menschliche Bedürfnisse orientiert sind. Jedenfalls sich nichts diktieren lassen; nicht
 - billige Herstellungskosten;
 - Erben der an bloßer Algorithmik orientierten Frühzeit;
 - überladene Sprachen: »Programmieren ist wegen der großen Zahl widerstreitender Zielsetzungen bei allen unseren Programmierprojekten komplex. Wenn unser Basiswerkzeug, die Sprache, in der wir unser Programm entwerfen und kodieren, ebenfalls kompliziert ist, wird die Sprache selbst zu einem Teil des Problems statt zu einem Teil seiner Lösung« (C.A.R. Hoares Warnung vor ADA, der neuen Haussprache des US Department of Defense).

12 Kodierung von Erfahrung

- * Literarisch: Erzählung;
- * Wissenschaftlich: Theorie, Gesetz;
- * Elektronisch: Programme, Daten, Computermodelle, Computersimulation (Computereperimente).
- * Hauptfrage der Modellierung: Kodierung der Erfahrung durch viele Beziehungen und wenig Daten oder durch wenig Beziehungen und viele Daten?

121 Alltagsbewußtsein

- * Gelebte und gebrauchte Verfahrensvorschriften
- * Aber kein Grund im Alltag, darüber nachzudenken

122 Künstliche Intelligenz

- * Vorläufer Datenbankverwaltung und große numerische Programmpakete
- * Wissensspeicher, Expertensysteme

13 Modellierung

- * Kernfrage der Gestaltbarkeit von Computersystemen durch den Menschen: Modellierung der Außenwelt. Früher verkürzter Begriff mit Algorithmus im Zentrum.
- * Was ist ein Computer: Instrument zur Simulation. Kann auf Abruf Erfahrungsraum bereitstellen. Könnte eine pädagogische Erfindung sein; ermöglicht die Gestaltung von Erfahrungen — auch individuell verschieden oder gerade angepaßt. Mehr dazu im Kindermodul 4 (Kultur gesellschaftlich plus Kind individuell).
- * Piaget: Hauptproblem »Abbildung«, »Darstellung« — wie der Mensch seinen Lebensraum begreift, aus seiner Umgebung Begriffe formt.
- * Beachtlicher Gültigkeitsbereich der Lernpsychologie; über Schulsituation hinaus; entsprechend auch bei Systemspezifikation: Auch ein didaktisches Problem. Abbildung der Umwelt nicht in den Kopf des Kindes, sondern auf die Maschine.
- * Grundsätzlicher Zusammenhang, Didaktik-Anwendungen, aber Unterschied im Subjekt-Objekt-Verhältnis.
- * Wieder Sprachproblem: Modelle aus Begriffen, die in hohem Maße sprachgebunden sind.
- * Fortsetzung der Schöpfung: Mensch schafft sich sein Ebenbild in
 - Handhabungsautomaten;
 - Familien von Datenbanken.

131 Einbetonierung

- * Der konservative Aspekt: Stützung von bestehenden Strukturen und Einbetonierung. /Weizenbaum, Papert/.

- * Aber auch neue Qualität des Wandelbaren.
- * Machbarkeit und Black-Box-Abstraktion typisch für die Sicht von Auftraggebern und Benutzern von IT. Entscheidend ist vielmehr die Überprüfbarkeit der schwarzen Kästen.
 - Wie kann man die Menschen dazu bewegen, nicht-aufmachbare Systeme abzulehnen, auch wenn sie viel gekostet hatten?
 - Allgemeiner: Viele hinfällige Strukturen sind nur noch durch IT aufrechtzuerhalten.
 - Beispiel: Überzentralisierung z.B. in Großkonzernen wäre ohne IT-Stützung vielleicht schon vor langem zusammengebrochen.
 - Grundlegend konservativer Zug in Ingenieur Tätigkeit, im Machen von Handhabbarkeit: Originalität muß vermieden werden; eingeführte Techniken und Lösungen müssen verteidigt und bewahrt werden.
- * Zum Beispiel BASIC:
 - Schon 1968/Naur-Randell, NATO-Konferenz/ war diese Sprachenart als verfehltes Konzept erkannt. So nicht weitermachen!
 - Seitdem enorm entwickelt und etabliert. Kokain des leicht Machbaren.
- * Zusammenhang von Revolutionierung und Versteinerung. Paperts Beispiel: QWERT-Schreibmaschinentastatur vernünftig für mechanische Typenhebel — unvernünftig für elektronische Textverarbeitung.

132 Perverse Modellierung

- * Maschine als Modell für Menschen
 - verkommene Sprache;
 - verkommenes Selbstbild.
- * Sh. Turkle, *The Second Self* (deutsch: *Die Wunschmaschine — Vom Entstehen der Computerkultur*): Wie beeinflußt der Computer die Art,
 - wie wir die Welt sehen;
 - wie wir uns selbst sehen.
- * Engels: Mensch nicht trennbar vom Bewußtsein seiner selbst.
- * Dramatik unüberschaubarer Veränderungen in Sprache und Tätigkeit.
- * Geht weiter als die elementare Frage, wie die Computer unmittelbar die Welt verändern.

133 Algorithmik

- * Will man den Menschen befähigen, den Computer zu beherrschen, statt sein Objekt zu sein, so ist zunächst das algorithmische Denken zu lehren.
- * NB: Elementare Bedeutung der Geometrie als Wissenschaft vom Lebensraum, dessen Ausschnitte und Beziehungen modelliert werden.
- * Folge der Ansätze
 - Euklid: Logik
 - Descartes: Arithmetik
 - LOGO: Algorithmus.
- * Algorithmisches Denken ist zwar die Voraussetzung, um Systeme abzuwandeln und für sich arbeiten zu lassen. Zur kritischen Beurteilung und schöpferischen, menschenfreundlichen Gestaltung von Systemen reicht es aber nicht und muß durch das Denken in Modellen ergänzt werden.

14 Schnittstellen: Mensch als Systembediener, -benutzer, -gestalter

- * Nicht Computer an sich, sondern Computer in Auftrag und Nutzung.

15 Komplexität, Zuverlässigkeit, technische und soziale Beherrschbarkeit

- * Möglichkeiten / Grenzen
- * Potential für Chaos wie nie zuvor; Softwarekrise: Verzögerungen und Zusammenbrüche in Auftragsabwicklung, Lohnbuchhaltung; vielfache Überschreitung von Kostenrahmen; Peinigung und Vergeudung menschlicher Arbeitskraft im großen Maßstab bei der Systempflege; fehlerhafte Prozeßsteuerung, Fehlalarme von Waffensystemen; »Computericles« in Partikelphysik und anderen Bereichen der Naturwissenschaften (computererzeugte Fehlauffassungen der experimentellen Wirklichkeit). Deshalb heute z.B. noch täglich dreifaches Nachrechnen aller Buchungen im Bankwesen per Hand — wenn es ums Geld geht!

- * Grundlage für neuen Irrationalismus: undurchschaubaren, nicht-vorhersehbaren, überge-
wältigen Mächten ausgesetzt. Plus Stärkung von Materialismus durch »Wahrheitskriteri-
um« bei Modellierung.
- * Mächtigkeit der Modelle darstellen: Was kann der Computer?
- * Absichten der Auftraggeber: Was soll der Computer?

151 Probleme der Systemspezifikation

- * Überlegungen des »Software Engineering« haben einen beachtlichen Gültigkeitsbereich
über Softwarekrise hinaus. Die Situation ist so sichtbar verfahren, daß sich immer mehr
Praktiker umfassende Analysen wünschen, die sich zu lehrbaren Handlungsanweisungen
komprimieren lassen. Die Inadäquatheit dieser ernsthaften Versuche der Vereinfachung
liegt auch für den Praktiker auf der Hand; sich an mächtige Ideen, mit einer großen Mächtig-
keit innerhalb eines begrenzten Gültigkeitsbereichs, zu halten, ist aber besser, als ohne lehr-
bare Methodik auskommen zu müssen und auf Genialität angewiesen zu sein.
- * Alternativen zum »Spaghetti«, zur spontanen, theorieleeren Gestaltung undurchschaubarer
Systeme, durch methodisch bewußte Anwendung von erlernbaren Denkweisen einer gewis-
sen Mächtigkeit; z.B. (i) festlegen, welches interne Modell in dem System verkörpert werden
soll; (ii) bestimmen, was das System leisten und welche Entwicklungsfähigkeit es haben soll.
Insbesondere
 - Pflichtenheft (Requirements Specification)
 - Daten- und Programmentwurf (Design Specification)
- * Michael Jackson 1: Leichtigkeit der Gestaltung = spätere Schwierigkeiten der Pflege =
Verzicht auf sachlich adäquate Zerlegung in Module und Festlegung der Beziehungen.
- * Michael Jackson 2: Wer soll die Systemspezifikation durchführen?
 - Techniker sind zu sehr Bästler und streben zu sehr nach Originalität und Optimalität.
 - Betriebswirte sind oftmals übereifrig und berücksichtigen nicht die Notwendigkeit der
Akzeptanz. Vgl. auch / Ericsson, Bürokommunikation, S. 48: »Akzeptanzproblem die
größte Hürde«/, aber auch die Anzeigenkampagne des U.S. Department of Labor über
Zusammenarbeit am Arbeitsplatz, z.B. in / Byte 10,7 Seite 420/.
- * Rapid Prototyping, um Zuverlässigkeit dadurch zu erhöhen, daß im weiten Kreis Mitgestal-
tung ermöglicht wird.
- * Sonderproblem der administrativen Datenverarbeitung: Revisionsfähigkeit finanzieller
Transaktionen erfordert Starrheit der Instrumente und verbietet damit gerade ihre variable
Gestaltbarkeit.
- * Analogie zur Piagetschen Pädagogik: Modellierung der Wirklichkeit und theoretisch-
empirischer Schemata
 - beim Lernen im Kopf des Kindes;
 - bei der Systemgestaltung im Computer.

2 IT und Umwelt — Bereicherung und Verarmung

21 Abschaffung der Privatsphäre. Wohnen in Konzernkontor und Amtsstube

211 Überwachung im Betrieb

- * Am Arbeitsplatz: Erfassung aller Benutzer- / Bedienerhandlungen
- * Personalinformationssysteme.

212 Vernetzung der Wohnzimmer

- * Produzent
- * Kunde
- * Verwaltungsobjekt.

22 Militärische Nutzung. Abschaffung der Umwelt überhaupt

- * /Booß-Coy 1985/ Präzision, Miniaturisierung, Genauigkeit, Massenproduktion; Unzuver-
lässigkeit.
- * Gibt es gar nichts Positives? Rüstungskontrolle, -begrenzung, Abrüstung, alternative Si-
cherheitspolitik durch IT?

23 Energie-, Rohstoff-, Arbeits- und Kapitaleinsparung durch IT.

- * Systemvergleich in globaler Betrachtung.

231 Reiche kapitalistische Länder

- * Im Kapitalismus destabilisierend, subversiv, weil alle Faktoren gespart werden: Arbeitskraft, Kapital, Rohstoffe, Energie, alles.
- * Beispiel: Ein Unternehmer finanziert heute Innovationen aus Abschreibungen seiner alten Anlagen. Mehr braucht er nicht. Gefährdung der Einsatzmöglichkeiten des Kapitals. War schon in der Vergangenheit schwierig, Anlagemöglichkeiten für seine Gewinne zu finden. Jetzt verschärft: Gesucht Anlagemöglichkeiten für seine Einsparungen. Können auch nicht in Energieerzeugung übergeführt werden, weil da ebenso geringer Bedarf.
- * Anschauungsmaterial: Ersetzung eines alten Fernsehapparates durch einen neuen; einer mechanischen/elektrischen Schreibmaschine durch Textverarbeitung, teurer Fahrten durch billigere — und vor allem durch alternative billige Nachrichtenübermittlung.
- * Historische Mission des Kapitals hinfällig. Antrieb zur Produktivitätssteigerung heute stärker von Informationsmitteln als vom Kapital. Darin gerade Hauptschwierigkeit für Finanzkapital.

232 Dritte-Welt-Auswirkungen

- * Könnte positiv sein, weil sparsam. Kann Dritte Welt an ganzen Generationen schwer umweltbelastender Industrieentwicklung vorbeilaufen, ganze Epochen, enormen Rohstoffverbrauch überspringen?
- * Vertiefung der internationalen Ungleichheit und verstärkte Abhängigkeit der Dritten Welt?
- * Fallstudien Indien, Hongkong/Singapur, Nicaragua.

233 Sozialismus

- * Beispiel DDR: Auffallend viele Bereiche nicht betriebswirtschaftlichen Überlegungen unterworfen, teilweise beklagenswert, teilweise vorbildlich. Reduzierung der Arbeit auf »vornehmstes Bedürfnis des Menschen«. Aktualität des utopischen Denkens /Frank Deppe/.
- * Warnung: Kapitalwirtschaft aber verlangt immer nach mehr. Ein Unternehmensvorstand mit dem Auftrag, Produktion, Verbrauch, Investitionen und gar Gewinne jährlich um 10 Prozent zu senken, fände keine Hilfe in den gängigen Lehrbüchern. Anders für die reichen, europäischen sozialistischen Länder: Besteht wirklich eine historische Notwendigkeit, dem Gesetz »mehr« weiter zu folgen?
- * Anfrage an Radio Jerewan: »Stimmt es, daß der Kapitalismus unaufhaltsam dem Abgrund der Geschichte entgegenrast? ... Stimmt es, daß wir den Kapitalismus bis 19.. eingeholt haben?« — War nicht die Preisgabe der Walter-Ulbricht-Parole »Überholen ohne einzuholen« kleinmütig-voreilig?
- * Beispiel VR China: In jüngster Vergangenheit Aufträge an US-Konzerne (Wang und Bourroughs) zur Errichtung von mehreren Fabriken zum Lizenzbau modernster Kleincomputer. Verzicht auf (modernste) ausländische IT wäre möglich gewesen, aber einfach zu teuer.
- * Mehr zum Thema bei /Gorbatschow/. Dort auch zur welthistorischen Bedeutung, Ausstrahlung für Befreiungsbewegungen und Dämpfer für militärische Überlegenheitsstrategen; aber auch Trägheitsfrage; Sozialismus nach Befriedigung der Grundbedürfnisse zu stabil, um dynamisch zu sein?

24 Information als Waffe — und als Aufklärung

241 Gift, Gegengift, Impfung, Immunität

- * Die Verfügung über IT verstärkt die Möglichkeit, Informationen als Aufklärung oder als Verdummungswaffe einzusetzen.
- * Wieso wurden die Menschen durch Funk und Fernsehen nicht so verblödet, wie vorhergesagt? Wo bleibt aber auch die Massenaufklärung?

242 Wissenschaftliches Denken und IT

- * Sind Berufsintellektuelle, die kluge Artikel über IT-Wirkungen auf Sprache, Denken und Tätigkeit weniger beleseener Arbeiter und unwissender Kinder lesen oder schreiben, eben diesen IT-Wirkungen vielleicht nicht minder ausgesetzt?
- * Geben die Wissenschaften ihre eigene rationale Tradition preis, um Arbeitsweisen aus der Frühzeit der Computerei, deren Scheitern wie beim Prinzip »Basteln und Zurecht flicken« schon längst offenkundig-geworden ist, zur Grundlage ihrer eigenen Arbeit zu machen?
- * Beispiel Pragmatismus: Wie Positivismus Bewußtlosigkeit in intellektueller Verbrämung. Kein Reflektieren der eigenen Arbeitsweise.
- * Innermathematischer und außermathematischer wissenschaftlicher Charakter von mathematischen Modellen und Glaubwürdigkeitsproblem: Zuverlässigkeit, Nachprüfbarkeit, Wahrheit.

243 Information — Konsumgut der Zukunft

3 Arbeit und IT

31 Büroautomation

- * Hauptproblem: extreme Verwaltungsarbeitsteilung — entweder stützen (betonieren) oder überwinden (Mischarbeitsplätze). Letzteres positiv wegen Überwindung der Zerstückelung, der Monotonie; hat aber einen noch größeren Rationalisierungseffekt, Arbeitslosigkeit, Verängstigung.
- * Hier dringend Systemvergleich.
- * Produktivitätszuwachs erst aus Akzeptanz durch Belegschaft; Hardware- und Softwareergonomie.
- * Fallstudie Versicherungswirtschaft/Attwell-Rule-Studie/: Kein einheitliches Bild über die Änderungen der Arbeitsqualifikationen erhältlich.

32 Industrieroboter

- * Coy 1985: Ausmaß und Tragweite der »Zweiten Schöpfung«.
- * Unterschied zwischen Büroautomation und Handhabungsautomaten. Es scheint, daß für entwickelte kapitalistische Länder Automation der geistigen Arbeit, der Kommunikation und Information, die »Handhabung der Gehirne« z. Zt. Vorrang hat. Hier größere Einsparungen, wenn man mit einem PC hoffen darf, einen kaufmännischen Angestellten wegzurationalisieren, anstatt ein Vielfaches aufwenden zu müssen, um Arbeiter durch Roboter zu ersetzen.
- * Alternative für materielle Produktion in Verlagerung der Produktionsstätten in Billig-Lohn-Länder. Anders für sozialistische Länder. Vielleicht deshalb dort so eindeutig Hauptinteresse an Industrierobotern? Dogmatische Orientierung an unmittelbarer materieller Produktion für Bestimmung der Hauptrichtungen des wissenschaftlichen Fortschritts? Scheu vor harten Diskussionen und Maßnahmen? Oder bei uns unter der Decke des IT-Rummels Vorbereitung weitreichender Neuinvestitionen in Automation der materiellen Prozesse?

33 Personalvertretungen und IT

- * Was kann ein kompetenter Betriebsrat und was kann er nicht, auch wenn er nur aus lauter Informatikern besteht.
- * Beispiel Personaldaten
 - Datenerfassung typischerweise neutral: »Kunst entsteht erst im Auge des Betrachters« — Daten werden erst brisant, wenn Ziel vorliegt.
 - Einweihung des Betriebsrates in Zielbestimmung von Fall zu Fall nötig. Voraussetzung mindestens paritätische Mitbestimmung. Alles andere ist Geschwätz.
 - Elektronische Abrufkontrolle technisch möglich; detailliertes Systemprotokoll in vielen Betriebssystemen nicht vorgesehen; überhaupt ist in der Regel bei komplexeren Systemen nur das mit einem vertretbaren Aufwand und einer gewissen Erfolgsaussicht machbar, was die Gestalter der Betriebssysteme und ihre Auftraggeber in den US-Metropolen der Elektronikkonzerne vorgesehen haben. Dazu gehört nun einmal nicht der Schutz von Belegschaften gegen mißbräuchliche Anwendung ihrer Personaldaten. In der Praxis könnte

jede Unternehmensleitung den Betriebsrat mit Papierbergen erschlagen oder mit Informationsfluten von Abrufregistern überschwemmen, die Hälfte der Belegschaft müßte vielleicht mitlesen, um die Spur eines jeden Abrufs von Personaldaten zu verfolgen.

- * Kein Glaubensbekenntnis mit anderem bekämpfen! /WRL/. Kein naiver Technikoptimismus! Niemand kontrolliert das Ding — bestimmt kein Betriebsrat!

34 Prägung der Entwicklung der Technik, der Arbeitsinstrumente durch Herrschaftsverhältnisse

35 Gestaltbarkeit der Ökonomie

- * Es gibt keine Probleme in der BRD, die auf einen Mangel in der Produktivität der Arbeitskraft rückführbar wären.
- * Für eine starke größere Wirtschaft ist es durchaus möglich, sich der Konkurrenz des Weltmarktes zu entziehen. Die Abschirmung der EG-Landwirtschaft führte bisher bekanntlich nicht zum Mangel an den einschlägigen Lebensmitteln. (Die bekannten Probleme, die durch den dogmatischen Verzicht auf Planwirtschaft in diesem Bereich entstanden sind, bilden hier nicht unser Thema).
- * Die eigentliche Stärke Japans z. B. beruht gerade auf der durch die Abschirmung der eigenen Wirtschaft vom Weltmarkt gewährleistete Gestaltbarkeit, womit in Verbindung mit dem geringeren Aufwand für Rüstung eine günstige Grundlage für die staatsmonopolkapitalistische Planwirtschaft in den entscheidenden Sektoren geschaffen wurde. Japan steht damit im deutlichen Kontrast zur bedenkenlosen und schrankenlosen Außenhandelsabhängigkeit, die für die Bonner Politik seit Gründung der BRD charakteristisch ist.

4 Kinder und Computer

- * /Papert/ Kinder lernen, geeignete Computer zu beherrschen, anstatt sich von ungeeigneten beherrschen zu lassen, indem sie mächtige Methoden lernen, die auch außerschulische Anwendungen haben.
- * Haltungen: Skeptiker, Kritiker, Optimisten. Und reaktionär /progressiv und kompetent/in-kompetent.

41 Sozialisation. Computer in der Schule

- * Weizenbaum: Erst Thema, wenn sichergestellt ist, daß alle Schüler schreiben und lesen lernen und daß Lehrer sich mit neueren Entwicklungen von IT vertraut zu machen bereit sind.
- * Ist nicht Frau Wilms in ihrer Stellungnahme zu Computern und Schule eigentlich humanistischen Traditionen näher als technikfeindliche vermeintliche Humanisten? Auf jeden Fall ist sie näher an den Vorstellungen von Karl Marx zur allgemeinbildenden polytechnischen Schule.
- * Gesellschaftliche Aufgabe: Positiven Einfluß auf Kopf des Kindes sichern/stützen.
- * Begriff von Rolle des Computer vermitteln — für alle —; Lenkung von Computern erlernen — für viele —; Bau- und Funktionsweise von Computern verstehen — für manche —; drei ineinander greifende Ebenen der Allgemeinbildung und der Berufsvorbereitung. (Ebenso wie beim Auto?) Realisierung des Programms »für alle« erfordert für alle Teilrealisierung der Programme »für viele« und »für manche«.

411 Soziologie der IT-Wirkungen

- * Für Auto sind Wirkungen/Möglichkeiten/Gefahren spontan durch Alltagserfahrung zu erkennen; daß es Geld kostet, transportiert und sich und andere beschädigt.
- * Für IT sind viele Wirkungen nicht spontan erfaßbar.
- * Planmäßiges, koordiniertes Lernen mit Erfolgskontrolle zurecht legen.
- * Inhalte den jeweiligen Fächern zuordnen; nicht in Ecke »Informatik« abstellen.
- * Rekursiv. Hier von oben wieder starten!

412 Allgemeine Informatik

- * Nicht beim Algorithmikgesichtspunkt stehen bleiben: jetzt Schwerpunkt auf Modellierung (und Sprache).
- * Vorsicht vor zuviel Gewicht auf Bits und Bytes. Auch eine Kurzeinführung in Assembler

vermittelt für die meisten Zwecke hinreichende Einsicht in die materiellen Grundlagen der IT.

4121 Computergestützte Modelle — Leistungen und Grenzen

- * Relevanz trotz oder durch Abstraktion und Konstruktion.
- * Welcher Typ von Glaubwürdigkeit, wenn eine Kontrolle nur noch empirisch über Datenmengen, und nicht mehr theoretisch erfolgen kann.
- * Kontinuität und Diskontinuität im Verhältnis zum Paradigma der klassischen mathematischen Physik, z. B. der Newtonschen Himmelsmechanik.

413 Wirtschaftsinformatik

- * Konkrete Erfahrungen vermitteln. Sonst bleiben »Soziologie der IT-Wirkungen« und »Allgemeine Informatik« zu freischwebend.
- * Gegenpol zu Reaktionsspielen und BASIC-Fummelei.
- * Bürokommunikation: Telefon, (Telex), DatexP, DatexL, BTX.
- * Büroautomation: Weitverbreitete Werkzeugprogramme (Textverarbeitung, Datenbankverwaltung, Tabellen-Modellierungsprogramme), die den Einzug von persönlichen Computern in die Büros begleiteten und motivierten, können Lernprozesse in der Sekundarstufe I/II nicht weniger wirksam unterstützen als die Verwaltungsarbeit in den Kontoren.

414 Lernprogramme

- * »Think like a computer«: Verzicht auf die Nutzung von auf der Grundlage der Skinnerpsychologie gestalteten Lernprogrammen innerhalb ihres recht beschränkten Gültigkeitsbereiches ist nicht klüger als Skinners maßlose Überschätzung des Gültigkeitsbereiches.

42 Heimcomputer, Spiele; Kinderhirne im Griff des Kapitals

- * Berge von Unrat/wenig Perlen. Kaum gesellschaftliche Kontrolle. Aufgabe der Eltern, aller Erwachsenen, das Schlimmste zu verhüten.
- * Spiele?

5 Ethik: IT und Menschenwürde. Was darf der Mensch, was soll der Computer dürfen?

51 Ist der Mensch dem Machtzuwachs durch IT gewachsen? Welche Risikobereitschaft ist ethisch vertretbar?

52 Computer denken wie Menschen — Menschen denken wie Computer? Kann der Mensch seine Fähigkeit, sich den Computersystemen anzupassen, hinreichend zügeln?

53 Warum eigentlich nicht totale Verweigerung, Sabotage, Maschinensturm?

- * Die klassische Ablehnung der Maschinenstürmerei muß neu durchdacht werden/Kuczynski/:
 - Maschinensturm im Sinn der Beseitigung vorhandener Technik müßte als Strategie freilich schon daran scheitern, daß wohl kaum jemand sagen könnte, auf welchen früheren Stand der Technik zurückgegriffen werden sollte und wie der z. B. in Westeuropa wieder herzustellen sei. Wohl infrage kommt es dagegen, der weiteren Einführung neuer Technologie entgegenzutreten, solange die Wirkungen nicht übersehbar sind oder überwiegend negative Wirkungen befürchtet werden müssen.
 - Neu ist, daß durch IT nicht so sehr historisch-technologisch überlebte Berufsgruppen abgeschafft werden — wie vor 180 Jahren bei den Webern — sondern Schichten radikal dezimiert werden, bei denen es — wie bei der Arbeiterklasse und der Intelligenz — keinen Zweifel an der Notwendigkeit ihrer weiteren Existenz gibt und deren nicht-arbeitslose Mitglieder zum Teil fortwährend stärker im Beruf belastet werden.
 - Neu ist auch, daß eine durchgreifende, effektive Sabotage aller den Frieden, die Gesundheit, die berufliche Sicherheit oder die Persönlichkeitsentwicklung gefährdender Informationstechnologien moralisch, vom Standpunkt der Produktivkraftentwicklung und der Zukunft der Menschheit nicht verwerflich erscheinen muß, da der technische Fortschritt im sozialistischen Teil der Welt seinen — langsamen — Gang nimmt, zumindest

ohne daß Arbeitslosigkeit entsteht. Maschinensturm in der kapitalistischen Welt setzt also nicht den Fortschritt der Menschheit aufs Spiel.

- * Die Möglichkeiten zur Sabotage bei Einführung und Bedienung von Computersystemen sind unermesslich und werden heute schon vielfach praktiziert — z. B. oft und in der BRD besonders auffallend auf der mittleren und höheren Leitungsebene in Unternehmen und Verwaltungen mit der »größtenteils restriktiven Einstellung der Manager« (Ericsson, S. 48). Einen rechtlichen Rahmen für dilatorische Sabotage oder Verweigerung bietet übrigens bei einer Vielzahl von betrieblichen Neuerungen die neue Entscheidung des Bundesarbeitsgerichtes, die eine Zustimmung des Betriebsrates erforderlich macht, wenn durch die Neuerung oder im Zusammenhang mit ihr persönliche Daten der Arbeitstätigkeit des Personals erfaßt werden — was der Natur der Sache nach sowohl bei Sachbearbeitungen wie bei Systementwicklung/-pflege in der Regel erforderlich sein wird.
- * Kaum allgemeingültige Rezepte zu erreichen; wieder ein Beispiel für die oft schwer zu ertragende Widersprüchlichkeit der Wirklichkeit. (Es wäre so schön mit klaren Losungen.) Sicher muß man konkret unterscheiden zwischen Situationen
 - wo wir bremsen müssen, wie wir nur können: Das gilt insbesondere bei dem gesamten Bereich der Überwachung, beim Sammeln von Informationen über Personen. Vielleicht aber auch für alle die Bereiche, wo Arbeitsplätze aus reinem Unternehmerübermut weg-rationalisiert werden, ob im Kundenkontakt von Einzelhandel und Banken oder bei der vollständigen Automatisierung von Telefonzentralen.
 - wo die Einführung von IT auch für die gesellschaftliche Wirklichkeit der BRD positive Aspekte haben kann wie vielleicht bei der Einführung der modernen Drucktechnik, ohne die es kaum zum Aufschwung der kleinen Verlage und zur für die linke Publizistik entscheidenden Rentabilität von Kleinauflagen kritischer und programmatischer Schriften gekommen wäre.
 - wo Computersysteme wie die elektronische Lagersteuerung der Verschwendung materieller Güter entgegneten und von menschenunwürdigen, stumpfsinnigen Arbeiten befreien, was zunächst nur die Großkonzerne begünstigt, aber real auch heute schon dem 150jährigen Kampf für die Verkürzung des Arbeitstages Auftrieb und materiellen Gehalt verleiht. Dieser Gesichtspunkt mag im Sozialismus nicht so wichtig erscheinen, weil dort die Hauptlinie der gesellschaftlichen Entwicklung darauf gerichtet ist, die Arbeit zum vornehmsten menschlichen Bedürfnis zu machen. Die gemütliche Ausgestaltung des Arbeitstages ist aber im Kapitalismus nicht erreichbar, wo die meisten Menschen erst nach der Arbeit anfangen, Mensch zu werden — wenn sie dann überhaupt noch Energie haben. Deshalb muß der Arbeitstag verkürzt werden. Es wäre sehr problematisch, neue Technologien aufzuhalten, die diesem Ziel direkt oder indirekt dienen oder es unterstützen.
 - Verzögerung, Behinderung, Verweigerung, Sabotage lassen sich nicht von der Studierstube, durch eine Bürgerinitiative oder aus dem Gewerkschaftshaus verordnen oder verhindern. Die Menschen werden selbst herausfinden und herausfinden müssen, wo neuralgische Punkte sind, an denen Widerstand auch unter persönlichen Opfern und Risiken geleistet werden muß — und wo nicht.

Quellenhinweise/Unterrichtstexte

- 1 Hofstadter, Douglas R.: Gödel, Escher, Bach — Ein endlos geflochtenes Band, Klett-Cotta, Stuttgart, 1985 (orig.: Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid — A metaphorical View on Minds and Machines in the Spirit of Lewis Carroll, Basic Books 1979, Penguin 1980); Nake, Frieder: Schnittstelle Mensch-Maschine, Kursbuch 75, 1984, S. 109-118.
- 11 Benjamin, Walter: Allegorien kultureller Erfahrung. Ausgew. Schriften 1920-1940, Philipp Reclam jun., Leipzig, 1984; Gramsci, Antonio: Notizen zur Sprache und Kultur, Hrsg. und Einleitung Klaus Bochmann, Gustav Kiepenheuer, Leipzig, Weimar, 1984; Hoare, C. A. R.: Der neue Turmbau zu Babel. Rede zur Verleihung des Turing-Preises 1980, Kursbuch 75, 1984, S. 57-73 (Orig.: The Emperor's Old Clothes. Turing Prize Address, Comm. ACM 24,2 (1981); Whorf, Benjamin Lee: Language, Thought & Reality. Selected Writings. M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1956 (deutsch: Sprache, Denken, Wirklichkeit. rororo Reinbek 1963)
- 122 Schank, Roger und Hunter, Larry: Artificial intelligence: The quest to understand thinking, Byte 10,4 (April 1985), S. 143-155.
- 131 Naur, Peter/Randell, Brian: Software Engineering. NATO Conference Report, Garmisch, 7-11

- Oct 1968, NATO Brüssel 1969/Petrocelli 1975; Weizenbaum, Joseph: Kurs auf den Eisberg, Pendo Verlag, Zürich, 1984.
- 132 Turkle, Sherry: Die Wunschmaschine. Vom Entstehen der Computerkultur, Rowohlt Verlag, Reinbek 1984 (orig.: The Second Self. Study of Human Interactions with Computers, Simon & Schuster, New York, 1984).
- 133 Otte, Michael: Computer und menschliches Denken, Düsseldorf Debatte, 4/85, S. 34-40.
- 151 Ericsson BRD (Hrsg.): Bürokommunikation — Werbebroschüre — Ericsson, Stuttgart, 1985; Jackson, Michael A.: Principles of Program Design, Academic Press, London, 1975; U.S. Dept of Labor: America works best when Americans work together — Anzeige BYTE 10,7, 1985, S. 420.
- 2 Kubicek, Herbert u. Rolf, Arno: Mikropolis. Mit Computernetzen in die »Informationsgesellschaft«, VSA-Verlag, Hamburg, 1985.
- 21 Myrell, Günter (Hrsg.): Daten-Schatten. Wie die Computer dein Leben kontrollieren, rororo aktuell, Reinbek, 1984.
- 22 Booß, B. u. Coy, Wolfgang: Computer für den Krieg, in: Das andere Computerbuch, Hrsg. G. von Randow, Weltkreis-Verlag, 1985, S. 173-198. Lindner, R., et al.: Planen, Entscheiden, Herrschen. Vom Rechnen zur elektronischen Datenverarbeitung, Deutsches Museum, München, und rororo, Reinbek 1984.
- 233 Deppe, Frank: Ende oder Zukunft der Arbeiterbewegung, Pahl Rugenstein, Köln, 1984; Tschernenko, K./Gorbatschow, M.: Dem 27. Parteitag entgegen. Auf das Niveau der Anforderungen des e. Sozialismus, Verlag Marxistische Blätter, Frankfurt/M., 1985.
- 24 Steinbuch, Karl: Maßlos informiert. Die Enteignung unseres Denkens, Goldmann Taschenbuch, München, 1979.
- 3 Briefs, Ulrich: Informationstechnologien und Zukunft der Arbeit. Mikroelektronik und Computertechnik. Politisches Handbuch, Pahl-Rugenstein Verlag, Köln, 1984; Rügemer, Werner: Neue Technik — alte Gesellschaft. Silicon Valley: Zentrum der neuen Technologie in den USA. Pahl-Rugenstein Verlag, Köln, 1985.
- 31 Attewell, Paul u. Rule, James: Computing and Organizations: what we know and what we don't know, communications of the ACM 27,12 (1984), S. 1184-1192.
- 32 Coy, Wolfgang: Industrieroboter. Zur Archäologie der zweiten Schöpfung, Rotbuch Verlag, Berlin (West), 1985.
- 33 Raeithel, Arne: Gegen eine technozentrierte Verkürzung des historischen Materialismus. Düsseldorf Debatte 6/85, S. 63-66; WRL: Gegen eine technikkritische Wende im Marxismus, Düsseldorf Debatte 5/85, S. 12-23.
- 34 Ebermann, Thomas und Trampert, Rainer: Die Zukunft der Grünen — Ein realistisches Konzept für eine radikale Partei, Konkret Literaturverlag, Hamburg 1984; M. S. Gorbatschow: Rede auf dem Aprilplenum 1985, in: Neues Deutschland, 24.4.84 und UZ, 25.4.85 referiert.
- 4 Eurich, Claus: Computerkinder. Wie die Computerwelt das Kindsein zerstört, rororo aktuell, Rowohlt, Reinbek, 1985; Mahr, Bernd: LEGO, LOGO und die Aufklärung. Kursbuch 80, 1985, S. 103-117; Papert, Seymour: Gedankenblitze. Computer, Kinder und Neues Lernen. Mit Nachwort v. H. Löthe, rororo Computerbuch, Rowohlt, 1985 (orig.: Mindstorms. Children, Computers and Powerful Ideas, Basic Books/Harvester Press 1980; deutsche Erstausgabe: Mindstorms. Kinder, Computer und Neues Lernen. Mit Vorwort von M. Otte, Birkhäuser Verlag, Basel-Stuttgart 1982)
- 41 Abelson, Harold: Einführung in LOGO, übersetzt und bearbeitet von Herbert Löthe, IWT Verlag, München, 1985; Hoppe, H. U.: LOGO im Mathematik-Unterricht. Dissertation, Uni Tübingen, IWT-Verlag, München, 1984; Hurrelmann, Klaus: Die Arbeitslehre gehört in jedes Klassenzimmer... Computer in der Schule, Frankfurter Rundschau, 11. Juli 85, S. 13; Marx, Karl: Instruktionen für die Delegierten des Provisorischen Zentralrates zu den einzelnen Fragen. In: Marx-Engels, Werke, Band 16, Berlin 1973; S. 190-199; Wilms, Dorothee, BM f. Bild/Ws.: Schule und Computer, micro computer colleg 2/85, S. 3.
- 412 Lutz, Theo: Grundlagen der Datenverarbeitung. Der Computer und seine Möglichkeiten. IBM Deutschland GmbH, Stuttgart 1981.
- 4121 Grün, Josef und Wiener, Detlef: Objektivität, die keine ist. Leistungen und Grenzen computergest. Weltmodelle, Blätter f. d. u. int. Politik 6/85, S. 746-755.
- 413 Blume, Dieter und Hecher, Oskar: Der Wirtschaftsinformatiker. Lehrgangsempfehlungen/Rechtsverordnung, Bundesinstitut f. Berufsbildung, Berlin und Bonn, 1984.
- 5 Weizenbaum, Joseph: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, 1977 (orig.: Computer Power and Human Reason, Freeman, 1976)
- 53 Kuczynski, Jürgen: Kapitalismen indbyder til radikal optraeden, Interview, Land og Folk, Kopenhagen, 11. Juli 85, S. 8.

V. Ethische und politische Probleme der zunehmenden Anwendbarkeit der Mathematik

Übersicht. 1. Seit wann sind mathematische Modellierung und Berechnungen ein gesellschaftliches Problem? - 2. Worin besteht die neue Qualität der "Mathematisierung"? - 2.1 Soziologische Änderungen: Neues Bewußtsein, neue Organisation - 2.2 Umwälzung in der Art, wie "mathematisiert" wird: Komplexität wahrnehmen, erzeugen, vertuschen - 2.3 "Komplexität" im idyllischen Mathematik-, Naturwissenschafts- und Technikverständnis - 2.4 Erzeugung komplexer unverstandener Systeme durch Vernetzung, Zergliederung, Militarisierung - 2.5 Methodenerweiterung - 3. Fallstudien - 3.1 Das Piconproblem - 3.2 Autopiloten für instabile Containerschiffe - 4. Was lehren die Beispiele, und was lehren sie nicht?

1. Seit wann sind mathematische Modellierung und Berechnungen ein gesellschaftliches Problem?

Die Schwierigkeit der Mathematik und ihr Beziehungsreichtum haben Mathematiker und Philosophen immer wieder dazu verleitet, die gesellschaftliche Bedeutung der Mathematik, ihre Anwendbarkeit im Guten wie im Schlechten zu überschätzen. Aus der Sicht meines Arbeitsgebietes - partielle Differentialgleichungen der mathematischen Physik und Beratung zur angewandten Mathematik und mathematischen Modellierung - ist die Brauchbarkeit mathematischer Forschung im großen Stil ein historisch neues Phänomen; die gesellschaftliche Bedeutung mathematischen Denkens für Schaffung, Bewahrung, Veränderung und Zerstörung unserer eigenen Lebensgrundlagen oder der anderer Menschen hat sich langsam erst seit der Mitte unseres Jahrhunderts herausgebildet.¹

Bidrag af BBB til Arbeitsgruppe "Mathematik" der BdWi-Arbeitstagung "Wissenschaft: Geschichte und Verantwortung", Münster, 22. - 23. 1. 1988. Kommer i H. Steiner (ed.), *Contemporary Discussions on Bernal's 'Social Function of Science'*. Akademie-Verlag, Berlin.

¹ Entsprechend dem Marxschen "Krieg früher ausgebildet wie der Frieden" (*Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie*, Moskau 1939, S. 29) lassen sich Entwicklungstendenzen des Verhältnisses Mathematik:Anwendungen gut an der Geschichte der militärischen Brauchbarkeit der Mathematik und der militärisch motivierten Aufgabenstellungen verfolgen, vgl. B. Booß, J. Høyrup, *Von Mathematik und Krieg*. Schriftenreihe Wissenschaft und Frieden, Heft 1, Marburg, 1984. Dabei zeigt es sich, daß die militärische Brauchbarkeit der Mathematik bis zum Zweiten Weltkrieg noch recht begrenzt und die militärischen Motivationen meist nur äußerlich waren. Auch im deutschen Faschismus kam es übrigens erst relativ spät zur Umgewichtung von der zunächst vorherrschenden ideologischen Funktion der Schul- und Hochschulmathematik ("Deutsche Mathematik") für die Rechtfertigung der "Arisierung" und "europäischen Neuordnung" auf die Wertschätzung zielgerichteter mathematischer Spezialistenarbeit für die Raketentechnik und das Atombombenprojekt, vgl. B. Booß, B. Franke, M. Otte, *Gesetzmäßigkeit in der Entwicklung mathematischer Tätigkeit*. In: W. R. Beyer (Hrsg.), *Hegel-Jahrbuch 1972*, Meisenheim, 1972, 50-67. Daß die Anwendbarkeit der Mathematik - trotz rasanter Entwicklung - noch immer in den Kinderschuhen steckt, belegen die jüngsten spektakulären Ergebnisse zur Supraleitung, die weniger auf Mathematik als auf Geduld, Gefühl und Kochkunst bauen:

Wohlgermerkt: Die Anwendbarkeit *einzelner* mathematischer Begriffe und formelhafter Ergebnisse auf reale Situationen ist überhaupt nicht neu. Es gibt eine weit zurückreichende Tradition erfolgreicher Mathematisierung z. B. in der Baustatik, in der Feinmechanik von Meßinstrumenten wie Uhren, in der Kartographie und im Bank- und Versicherungswesen. Das Erfolgskriterium war das gleiche wie heute: Erweiterung des Erfahrungs- und Handlungsraums mit Hilfe des mathematischen Formalismus. Es ist aber ein wesentlicher Unterschied, ob der Astronom Ole Rømer vor zweihundert Jahren durch Nachdenken, durch Anwendung von verhältnismäßig gesichertem technisch-physikalischem Wissen und durch mathematische Berechnungen eine zweckmäßigere geometrische Form von Zahnrädern für Uhren findet oder eine beratende Ingenieurfirma heute unter Zeitdruck verschiedene Versionen einer möglichen festen Verbindung über den Großen Belt entwirft, Tragfähigkeit, Materialverbrauch, Arbeitsprozeß, Finanzierung kontrolliert und die voraussichtlichen Wirkungen auf Strömungsverhältnisse und Meeresumwelt, auf Musteränderungen im nationalen und internationalen Fernverkehr mit ihren ökonomischen, atmosphärischen und gesundheitlichen Folgen berechnet - ohne sich auf hinreichend umfassende Erfahrungen in Form von Daten oder Theorien der Statik neuer Baustoffe und neuer Entwürfe, der Ozeanographie und Meeresökologie, der Transportsoziologie, Klimatologie und Humanmedizin stützen zu können.²

THESE. Die zielgerichtete Entwicklung und Anwendung mathematischer Ideen, Methoden und Verfahren für die Lösung von praktischen, technischen und wissenschaftlichen Problemen geschieht heute erheblich schneller, vielfältiger, folgenreicher und unüberschaubarer. Einzelprobleme werden jetzt so schnell, so punktuell,

Sie verdienten schon deswegen den Nobelpreis, weil sie so nachdrücklich und pädagogisch der wissenschaftlichen und außerwissenschaftlichen Öffentlichkeit die Begrenztheit mathematischer Vorherberechnungen in den Materialwissenschaften und die Möglichkeit der Entdeckung extremer unerwarteter Eigenschaften von zuvor nur unter anderen Gesichtspunkten untersuchten Stoffen vor Augen führten.

²In der modernen Technikgeschichte unterscheiden wir nach der Technikentwicklung auf der Grundlage von Erfahrungen (vorindustrielle Perioden; Werkstätten; Handwerker) zwischen *Technikentwicklung auf wissenschaftlicher Grundlage* (Industrialisierung, Mechanisierung, Elektrifizierung; Entwicklungsabteilungen; Ingenieure) und der *verwissenschaftlichen Technikentwicklung*, wie sie für die letzten Jahrzehnte kennzeichnend wurde (Chemisierung, Flugtechnik, Kerntechnik, Elektronik, Biotechnik, Meßtechnik, komplexe Systementwicklung; Forschungsabteilungen; Wissenschaftler), vgl. z.B. J. H. Jensen, B. C. Jørgensen, M. Niss (Hrsg.), *Matematik- og fysikundervisningen i det automatiserede samfund*, IMFUFA tekst nr. 82, Roskilde, 1984; insbesondere B. C. Jørgensen, *Det automatiserede og videnskabeliggjorte samfunds erhvervsrettede og almenrettede uddannelsesbehov*, 15-24. Diese Kennzeichnung ist korrekt in der Charakterisierung der "aufsteigenden" gesellschaftlichen Stellung und Qualifikation der Hauptträger von technischen Erneuerungen. Wegen der zunehmenden gesellschaftlichen Komplexität folgt aber aus der Verwissenschaftlichung der Technologieentwicklung durchaus keine größere Sicherheit und Transparenz, keine theoretische Absicherung, Einsicht und Verallgemeinerung empirischer Funde und praktischer Aufgaben - obwohl das das Ziel eines jeden einzelnen wissenschaftlichen Fortschritts ist - sondern in der Regel und in der Gesamtheit nur eine größere Entfernung von den empirischen Grundlagen, praktischer Kontrolle und theoretischer Beherrschbarkeit. Verwissenschaftlichung verkehrt sich so in ihr Gegenteil und fällt auf das vorzivilisatorische zufällige Verhältnis zu Umwelt und Instrumenten zurück.

aber doch so effektiv und so verbreitet gelöst, daß unser Denken über Voraussetzungen, über Folgerungen und über Zusammenhänge des Einzelproblems und seiner realisierbaren Lösung mit anderen Problemen weder innermathematisch, noch naturwissenschaftlich-technisch oder gesellschaftlich mit der Praxis Schritt halten kann. So kommt es dazu, daß in zunehmendem Maß zielgerichtete und vernünftige Arbeit in beliebiger wahlloser willkürlicher unkritischer unvernünftiger unverantwortlicher und unsinniger Weise angewendet wird. Darin besteht das ethische und politische Problem der zunehmenden Anwendbarkeit der Mathematik.³

2. Worin besteht die neue Qualität der "Mathematisierung"?

2.1 Soziologische Änderungen: Neues Bewußtsein, neue Organisation.

Neu ist zunächst die weite Verbreitung der Einsicht, daß mathematisch-naturwissenschaftliche Erkenntnisse sehr große Wirkungen haben können. Diese *Änderung des Bewußtseins* von Industriellen, Politikern und Militärs, der ganzen Öffentlichkeit verdanken wir vor allem den Errungenschaften des Zweiten Weltkriegs: Radar, maschinelle Dekodierung, Atombombe.

Neu ist aber auch, daß teils als Voraussetzung, teils als Folge davon *der gesamte Zusammenhang Mathematik und Gesellschaft "ins System" gebracht* wurde: Von den Forschungsabteilungen der Industrieunternehmen über die Organisation staatlicher Regulierung, Aufträge und Zuschüsse bis herab zur Umgewichtung im Schulwesen, wo z.B. der Wettlauf um die besten Mathematik- und Physiknoten die traditionellen ideologischen (christlichen und bürgerlichen) Kriterien - Beherrschung der alten Sprachen und der Literatur der antiken europäischen Republiken und Sklavenhaltergesellschaften - als Selektionskriterium für den "Elitenachwuchs" verdrängt hat.

2.2 Umwälzung in der Art, wie "mathematisiert" wird: Komplexität wahrnehmen, erzeugen, vertuschen. Es gibt eine Reihe von Anzeichen dafür, daß diese soziologischen Veränderungen der Mathematik von wirklichen Umwälzungen in der Art, wie "mathematisiert" wird, begleitet werden. Die klassischen

³Mit den Worten von Max Born: "(Naturwissenschaft und Technik sind seit etwa dreihundert Jahren) mit ständig zunehmender Geschwindigkeit gewachsen, schneller wahrscheinlich, als es einer Exponentialkurve entspricht, und sie sind im Begriffe, die menschliche Welt in einem Grade umzugestalten, daß sie kaum wiederzuerkennen ist. *Aber obgleich dieser Vorgang durch den Verstand bewirkt worden ist, wird er nicht durch den Verstand kontrolliert.*" (Hedwig Born - Max Born, *Der Luxus des Gewissens. Erlebnisse und Einsichten im Atomzeitalter*, Nymphenburger Verlagsbuchhandlung 1969, zitiert nach E. Brieskorn, *Naturwissenschaft und Naturbeherrschung - ein Irrweg?* *Forum Wissenschaft* 1/88, 4-11). Für Born fanden "die politischen und militärischen Schrecken sowie der vollständige Zusammenbruch der Ethik, deren Zeuge ich während meines Lebens gewesen bin", ihren grauenhaftesten Ausdruck in der gediegenen organisatorischen Arbeit der Vernichtungslager Nazideutschlands und den rationalen Methoden bei der Herstellung der Kernwaffen. Nach der Perversion der beiden Disziplinen *Administration* und *Physik* scheinen heute auch andere Bereiche vernünftiger menschlicher Tätigkeit wie die *Mathematik* nach ethischer und politischer Zügelung zu drängen.

Triumphe der mathematischen Modellierung, der Anwendung eines mathematischen Formalismus, sind an die Fähigkeit geknüpft, einen mehr oder weniger komplizierten Sachverhalt, Pendel- oder Planetenbewegung, Handels- und Finanzbedingungen auf einfache Begriffe und Beziehungen zu bringen: Masse und Beschleunigung, Zins und Wechselkurs. "Mathematisierung" und mathematische Modelle wurden (und werden) so vielfach mit exakter Behandlung, Beschreibung und Analyse ideal einfacher oder zweckmäßig oder - aus der Sicht der Kritiker - unzulässig idealisierter Verhältnisse gleichgesetzt.

Dagegen werden neuerdings zunehmend die Handhabung der Komplexität, ihre Erweiterung und Reduktion, und die Komplexität selbst thematisiert. Für Ethik, Politik und Pädagogik ist dabei die entscheidende Frage, ob der mathematische Fortschritt der Wahrnehmung, der Erzeugung oder der Vertuschung von Komplexität dient.

2.3 "Komplexität" im idyllischen Mathematik-, Naturwissenschafts- und Technikverständnis. In der Öffentlichkeit, in Schule und Medien, in Populärwissenschaft und Wissenschaftstheorie geht von Komplexitätsuntersuchungen z. B. der "fraktalen Geometrie" und der "Chaostheorie dynamischer Systeme" eine erhebliche Faszination und Suggestion aus. Die Thematisierung von Komplexität wird mit größerer Kreativität, Realismus und Authentizität mathematischer Modelle und Humanisierung der Mathematik verwechselt und direkt als neues Paradigma mathematisch-naturwissenschaftlicher Vorgehensweise gefeiert - die typische Verwirrung reklamegeprägter Auffassungen der Wirklichkeit:

(1) Wie steht es mit der "Kreativität"? Finden wir das "schöpferische Element der Erkenntnis" in der modernen Hinwendung zur Komplexität (im Gegensatz zum herkömmlichen "analytischen Rationalismus")? Nüchtern beschreibt Stephen Wolfram, einer der Kronzeugen der neuen holistischen Mathematikenthusiasten, seine Arbeit mit "zellularen Automaten" zur Simulation von Strömungsturbulenzen auf dem Rechner: "One of the most remarkable results of recent studies on cellular automata is that even with very simple rules, it is possible to obtain behaviour of considerable complexity. ... The rules consist of just a few simple logical operations. But when they are applied over and over again, their collective effect can yield very complex patterns of behaviour. ... One thus expects that very simple computational models ... should suffice to reproduce many different natural phenomena. The challenge is to abstract the essential mathematical features of the phenomena, so as to be able to capture them in as simple a model as possible."⁴

Der von gewissen Zweigen der modernen angewandten Mathematik erwartete "spirituelle Fix" reduziert sich also sehr schnell auf die Wiederentdeckung des Reichtums einfacher gedanklicher Vorstellungen, der z. B. schon die Zahlentheoretiker vergangener Jahrhunderte in seinen Bann geschlagen hatte, und auf das Eingeständnis, daß die beschreibenden und darstellenden Möglichkeiten der Informationstechnologie noch lange nicht ausgelotet sind, was die derzeitige Konzentration der angewandten Mathematik auf die deskriptive Phänomenseite und die

⁴S. Wolfram, *Cellular Automaton Supercomputing*, Preprint, Center for Complex Systems Research, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1987.

Vernachlässigung der erklärenden Theorieseite verständlich macht. Mehr nicht, ohne die Bedeutung dieser Mathematiker für die numerische Mathematik und die Computergraphik zu negieren.

(2) Erhalten wir mehr "Realismus und Authentizität" durch erhöhte Komplexität? Jeder Mathematikstudent kennt aus der Numerikvorlesung eine Reihe von Beispielen, wo z. B. die Verkleinerung der Schrittlänge nicht notwendig zu größerer Genauigkeit, sondern unter gewissen Umständen (bei linearen parabolischen Differentialgleichungen z.B. wenn die Hälfte des Quadrates des Rauminkrements Δ_x kleiner als das Zeitinkrement Δ_t wird) zu numerischer Instabilität und völlig irreführenden Ergebnissen führt.⁵ Auch die mathematische Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie bietet eine Vielzahl von Situationen, wo eine zu große Zahl von Parametern mehr oder weniger jede Schätzung gleich gut macht. Der Kinderglaube, daß komplexere Modelle realistischer sind, daß das Ausgangsobjekt desto genauer erfaßt werden kann je größer die Anzahl der Freiheitsgrade ist, muß also abgelegt werden.

Richtig ist aber, daß die moderne Numerik heute Verfahren entwerfen kann, die - wie oben zitiert - erstaunlich gut das Verhalten wirklicher Phänomene nachbilden, auch wenn dann oft letzte Fragen der Übereinstimmung zwischen Modell und Wirklichkeit, der Gründe und der Grenzen der Übereinstimmung, noch lange theoretisch ungeklärt bleiben und nur in der Praxis erprobt werden können. Ein Beispiel dafür ist die Modellierung von Dämmen und Reservoirs, wie am Piconeproblem der Baustatik weiter unten erläutert wird.

Richtig ist auch, daß die moderne Kontrolltheorie und Regelungstechnik Methoden entwickelt hat, die mit Hilfe ausgefeilter Modellierung und Rückkopplung erlauben, komplizierte Systeme wie z. B. ein auf dem Kopf stehendes Doppelpendel über einen längeren Zeitraum zu stabilisieren. Während die Komplexitätstheoretiker und Wissenschaftsjournalisten noch dabei sind, voll Staunen die reichhaltige und "chaotische" Struktur einfacher mathematischer und mechanischer Systeme (wieder)zuentdecken, setzen die Komplexitätspraktiker, Ingenieure und industrielle Auftraggeber schon auf technische Vorrichtungen und Lösungen, mit deren Hilfe neuartige, hochkomplexe und äußerst instabile Systeme als herkömmlich, einfach und stabil erscheinen und entsprechend behandelt werden sollen. Ein Beispiel dafür folgt ebenfalls weiter unten, die Lenkung richtungsunstabiler Schiffe.

Statt mehr "Realismus" und "Authentizität" finden wir also nur eine größere Bereitschaft zu unsicheren, wenn auch in der Regel durchaus zutreffenden, funktionierenden und wirksamen Berechnungen und Konstruktionen, die sich einer sicheren technisch-naturwissenschaftlich-mathematischen Beherrschung entziehen, ganz zu schweigen von bewußter, vernünftiger und gesellschaftlicher, demokratischer Kontrolle.

2.4 Erzeugung komplexer unverstandener Systeme durch Vernetzung, Zergliederung, Militarisierung. Nähern wir uns aber nicht wenigstens einer

⁵L. Collatz, *Numerische Behandlung von Differentialgleichungen*, Springer-Verlag, Heidelberg 1955; D. Greenspan, *Discrete Numerical Methods in Physics and Engineering*, Academic Press, New York 1974, z.B. 121-128.

“Humanisierung” der Mathematik durch Mut zur Komplexität und Überwindung der herkömmlichen “Beschränkung auf entscheidbare, mit Sicherheit beantwortbare Fragen”?⁶

Umgekehrt wird ein Schuh daraus: Menschenfeindliche Vernetzung, hochgradige Zergliederung der geistigen Arbeit, wie sie in der imperialistischen Organisation der Weltwirtschaft, in der Technologieentwicklung der multinationalen Konzerne und ganz besonders in der Hochrüstung ihre reinste Verkörperung gefunden haben, schaffen die immer komplexeren Situationen und die Notwendigkeit ihrer Analyse. Hierzu nur einige Zeugnisse aus der wissenschaftssoziologischen und wissenschaftshistorischen und anderer nicht-mathematischer Literatur - nicht aus der mathematischen Fachliteratur, in der es heutzutage (vielleicht muß man sagen ‘erfreulicherweise’) zum guten Ton gehört, politisch verharmlosend (und mathematisch irreführend) von den Schockwellen eines Tennisballs zu sprechen, wenn die Schockwellen eines Projektils oder einer Rakete gemeint sind:⁷

* Von Mary Kaldor stammt der Begriff *Rüstungsbarock*.⁸ Danach ist die Militärtechnologie seit den späten 50er Jahren so spezialisiert und die sozio-ökonomische “autistische Triebkraft” des militärisch-industriellen Komplexes auf genau diese Spezialisierung so dominierend geworden, daß der “Rüstungsbarock” zu völliger technologischer Degeneration, zu einem durchgehenden Mangel an “Einsatzfähigkeit” führt. Wenn man sich ständig “neue Systeme mit noch schlauerer und ausgefalleneren Eigenschaften ausdenken” muß, erhält man notwendig “Unzuverlässigkeit, verkürzte Lebensdauer, Engpässe bei Ersatzteilen und Munition, fehlendes Personal, zu wenig Ausbildung, Überlastung der Piloten...”

An zahlreichen Beispielen belegt sie den Zusammenhang dieser Schwächen moderner Waffensysteme mit ihrer übertriebenen Kompliziertheit und ihrem grotesken Raffinement. Mit den Worten eines von ihr zitierten F-14 Piloten: “Das Flugzeug ist so kompliziert und hochgezüchtet, daß es nie endgültig fertig sein wird. Es wird eben weiter vor sich hintrudeln, mit all seinen Macken und begleitet von ständig neuen Flickschustereien.” An einer Reihe von Konzern‘biographien’ und zivilen Projekten, wie den Plänen für ein Solar-Satelliten-Kraftwerk, zeigt sie, wie u. a. die neuere Tendenz zu Diversifikation, zum Abbau von Einseitigkeiten der Produktionspaletten, dazu beiträgt, “eine ‘barocke’ Ziviltechnologie zu schaffen (und) Merkmale, die derzeit so typisch für die Rüstungsindustrie sind, Kapitalintensität, zentralisierte Kontrolle, wachsende Kosten, Überzüchtung, periodische Krisen usw... (auf) einen sich herausbildenden sozial-industriellen Komplex (zu übertragen)... Und so bedrohlich es klingen mag: womöglich steht uns eine Kam-

⁶Eine mißverständliche Formulierung des Mathematikers Egbert Brieskorn, wonach “die destruktiven der Wissenschaft immanenten Tendenzen ... eng verbunden oder identisch (sind) mit den Gründen ihres Erfolges”, wozu er eben diese Beschränkung auf rational beantwortbare Fragen rechnet. (Brieskorn, a.a.O.)

⁷Vgl. auch die Systematik zur Computerdiskussion in B. Booß und G. Pate, Notizen zur Analyse von IT-Wirkungen, *Düsseldorfer Debatte* 8-9/85 (Aug. 1985), 58-70, dieser Band S. 29-41, und eine grössere Studie über “Systementwicklung: Modellierung, Vernetzung, Komplexität” in Vorbereitung.

⁸M. Kaldor, *The Baroque Arsenal*, London 1981 (deutsch: *Rüstungsbarock - Das Arsenal der Zerstörung und das Ende der militärischen Techno-Logik*, Rotbuch Verlag, Berlin 1981).

pagne für den Ausbau eines solchen sozial-industriellen Komplexes bevor, die sich auf das Argument stützt, das sei der richtige Blitzableiter für die Forderungen nach höheren Militärausgaben und auf diese Weise würde die technologische Dynamik der Waffenproduzenten wenigstens in eine weniger schädliche Richtung gelenkt."

* Ein anderer wichtiger nicht-mathematischer Zeuge ist John Kenneth Galbraith, der schon vor Jahrzehnten die *Überorganisiertheit* in Staat und Industrieunternehmen anprangerte. Er hat auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Risikoscheu von großen Bürokratien und ihrer organisatorischen Wucherung hingewiesen, der u. a. durch den Drang zu immer komplexeren und riskanteren Technologien das Unternehmensrisiko zu minimieren sucht.⁹

* Auch der britische Informatiker Tony Hoare hat wiederholt in den letzten Jahren vor der von Militär und Teilen der Industrie gewünschten und geförderten Überfrachtung von Programmiersprachen und Informationssystemen, vor der "Verworrenheit, der Komplexität und dem übergroßen Anspruch" von Softwareentwürfen gewarnt. "Eine unzuverlässige Programmiersprache, aus der unzuverlässige Programme hervorgehen, bedeutet eine sehr viel größere Gefahr für unsere Umwelt und für unsere Gesellschaft als unsichere Automobile, giftige Pestizide oder Reaktorunfälle in Kernkraftwerken."

Angesichts der Komplexität der Anwendungen und der großen Zahl widerstrebender Zielsetzungen bei Programmierprojekten gibt es nach Hoare zwei Konstruktionsweisen für einen Softwareentwurf: "Die eine besteht darin, ihn so einfach zu machen, daß er *offensichtlich* keine Fehler enthält; die zweite, ihn so kompliziert zu machen, daß er keine *offensichtlichen* Fehler enthält." Daß "technisch so unvernünftige Projekte" wie die vom Pentagon lancierte Programmiersprache ADA und neuerdings das Raketenabwehrsystem und Sternkriegsprojekt SDI, die auf die zweite Konstruktionsweise bauen, nicht "einfach zusammenbrechen", sondern "zum Erfolg verdammt" sind, liegt nach Hoare an der Finanzkraft und den extremen Forderungen der militärischen Auftraggeber. "Zuverlässigkeit, Lesbarkeit..., formale (Exaktheit) und sogar Einfachheit" werden "zu Gunsten der Leistung geopfert... Was die Software betrifft, kann fast alles implementiert, verkauft *und sogar benutzt werden* (Hvhb. BBB), wenn nur genug Entschlußkraft dahintersteckt. Nichts, was ein reiner Wissenschaftler sagen kann, wird der Flut von hundert Millionen Dollar standhalten. Es gibt jedoch eine Eigenschaft, die sich so nicht kaufen läßt: die Zuverlässigkeit. Der Preis für die Zuverlässigkeit ist das Streben nach Einfachheit. Ein Preis, den die Reichen am schwersten zu zahlen finden."¹⁰

In ähnlicher Weise analysiert Joachim Wernicke, Ingenieur und Technikberater der Bundestagsfraktion der Grünen, z.B. die extremen Zuverlässigkeitsanforderungen an die Militärelektronik als *Tribut an ein absurdes Technikverständnis*.¹¹

⁹J. K. Galbraith, *The Affluent Society*, Houghton Mifflin, Boston 1969.

¹⁰C. A. R. Hoare, The Emperor's Old Clothes, Turing Prize Address, *Comm. ACM* 24,2 (1981), 75-83 (deutsch: Der neue Turmbau zu Babel, *Kursbuch* 75 (1984), 57-73).

¹¹J. Wernicke, *Militärische Einflüsse auf die Wissenschaft und militärische Anwendung ihrer Ergebnisse*, Tagungsmanuskript, Oldenburg, 1982. Vgl. auch P. Abrahams, Specifications and Illusions, President's Letter, *Comm. ACM* 31,5 (1988), 480-481.

* Auf die militärischen Quellen für die moderne *intellektuelle Risikobereitschaft und Fehlerakzeptanz* hat auch Eric Burhop, langjähriger Mitarbeiter am britischen Atombombenprojekt und später Präsident der Weltföderation der Wissenschaftler, aufmerksam gemacht. Er sieht eine wesentliche Quelle für die Risiken der zivilen Kernenergetik in ihrer militärischen Herkunft, wo wegen der Verwendung der Reaktoren für die Herstellung von Spaltmaterial für Bomben "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".¹²

Der Schutz überspannter Ideen und leichtsinniger Entwicklungen vor sachkundiger Kritik ist allerdings nicht auf den staatlich-militärischen Sektor beschränkt. So schreibt Harriet Kagiwada, eine Spezialistin in moderner militärischer Unternehmensforschung aus der Schule des großen Mathematikers Richard Bellman: "Research and development in military modelling and computing has shifted to the private sector. Though the total effort may be large, it may be more fragmented and near-sighted. There is also a tendency in some companies to avoid publishing papers in the open literature. The work may be called 'company proprietary' or 'competition sensitive'. Could this be a mask for avoiding full disclosures to one's scientific peers for criticism and review?"¹³

* Insgesamt finden sich¹⁴ zahlreiche erkenntnistheoretisch orientierte Argumente und Befunde der Mathematikgeschichte dafür, daß die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems Wissenschaft-Technologie notwendig an die "organisierte Segmentierung" geknüpft ist, die als Überschrift für ein "Gesamtbild von reiner Mathematik, Praxis und Militär" dienen kann. Diese "organisierte Segmentierung" wird durch den militärische Einfluß in Richtung "Punktualisierung" und "Überfrachtung" zugespitzt, wodurch die Wirkungsweise der Mathematik im "Netzwerk von Wissenschaft und Praxis" verändert und verformt wird: "Die der Wissenschaft vom Militär gestellten Fragen haben meistens punktuellen Charakter und sind innerhalb kurzer Zeit zu beantworten. 'Lieber eine brauchbare Antwort jetzt als eine theoretisch durchgearbeitete in zwei Jahren'."

Diese extremen und eigentlich absurden Anforderungen der Vernichtungswissenschaft und des Wettrüstens haben Denken und Arbeitsstil von mehr als einer Generation von Mathematikern, Naturwissenschaftlern und Ingenieuren umgestülpt, auf die Erforschung und Gestaltung komplexer unverstandener Systeme orientiert und an die Verantwortungslosigkeit freien, ungebundenen Schöpfertums, den Mut zu brauchbaren, wenn auch theoretisch unverstandenen Lösungen gewöhnt. So ist es vielleicht nicht verwunderlich, daß Wissenschaftsbetrieb, Technik und Medizin die militärische Lehre verinnerlicht haben und aus dem *Handeln im Bereich des Nichtwissens* eine Tugend machen. Hier kann der junge Mathematiker oder Ingenieur in einem Institut für Regelungstechnik schon von der unverant-

¹²E. Burhop, Die Kernenergie und ihre Perspektive, *Wissenschaftliche Welt* 24,1 (1980), 2-3.

¹³H. H. Kagiwada, Military modelling and computing: Where do we go from here? *Mathl. Comput. Modelling* 11 (1988), 693-698.

¹⁴In B. Booß, J. Høyrup, *Von Mathematik und Krieg*, a.a.O.

Kreativität in komplexen Bereichen infiziert sein, auch wenn er subjektiv noch ganz ehrlicher Kriegsgegner, Pazifist, Grüner oder Sozialist ist.

2.5 Methodenerweiterung. Die neue Qualität der Anwendbarkeit der Mathematik wäre nicht möglich ohne die Erweiterung ihrer Mittel und Methoden:

An erster Stelle müssen die *Fortschritte in der elektronischen Beherrschung der Kombinatorik* genannt werden. Klassisch versteht man unter der Kombinatorik den "Zweig der Arithmetik, der untersucht, auf was für verschiedene Arten eine gegebene Anzahl von Dingen (Elementen) angeordnet und zu Gruppen zusammengefaßt werden kann."¹⁵ Heute sagt man lakonisch: "Zur Kombinatorik gehören alle interessanten Fragen über endliche Mengen."¹⁶ Dabei geht es immer um die geschickte Anordnung und Wiederholung einfacher logischer oder arithmetischer Operationen einschließlich systematischen Ausprobierens und Korrigierens: Rekursive Beschreibung von Zahlenfolgen; Kodierung und Dekodierung von Zeichenfolgen; Zerlegung und Ordnung von Mengen; Lösung großer linearer Gleichungssysteme und Netzwerkprobleme.

Eine klassische kombinatorische Aufgabe ist das Eulersche Problem der n^2 Offiziere aus n Regimentern und von n verschiedenen Dienstgraden, die quadratisch zu n Gliedern in n Kolonnen so aufgestellt werden sollen, daß in jedem Glied und jeder Kolonne jedes Regiment und jeder Dienstgrad genau einmal auftritt. Eine moderne Version ist das n -Königinnenproblem, die auf einem verallgemeinerten $n \times n$ -Schachbrett so aufgestellt werden sollen, daß sie sich nicht untereinander bedrohen. Andere klassische kombinatorische Aufgaben sind Färbungsprobleme wie das Vier-Farben-Problem oder graphentheoretische Probleme wie das auch von Euler stammende Königsberger Brückenproblem. Gemeinsam ist diesen kombinatorischen Schulbeispielen, daß sie in größter Allgemeinheit oft mathematisch äußerst hart sind, daß sie überraschend vielseitige praktische Anwendungsbezüge z.B. bei der Berechnung chemischer Konfigurationen, bei der Analyse von Transportaufgaben, bei der geschickten Zerlegung komplexer statischer oder dynamischer Probleme oder bei Grundlagenproblemen der Informatik haben und daß deshalb ihre Lösung auf dem Rechner sehr oft gefragt ist und tatsächlich eine große Tradition hat. Grob gesagt kommt die Maschinenarchitektur der elektronischen Rechner und die Syntax der höheren Programmiersprachen der Formulierung und Abwicklung solcher langer Algorithmen mit starken repetitiven und sich laufend selbst kontrollierenden Elementen sehr entgegen.

Dieser Umstand liegt vielen Fortschritten in der maschinellen Lösung mathematisch formulierter Probleme und der Verarbeitung, darunter auch Erzeugung und Reduzierung, großer Datenmengen zugrunde. Er erlaubt
*** die numerische Behandlung auch derjenigen Gleichungen der mathematischen Physik, für die keine analytische Lösungsverfahren existieren oder bekannt sind,¹⁷

¹⁵ *Meyers Lexikon*, Hornberg-Korrektiv, Bibliographisches Institut, Leipzig 1927.

¹⁶ J. Flachsmeyer, *Kombinatorik*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1970, S. 214.

¹⁷ Der Pazifist L. F. Richardson, der als Sanitäter 1917 in der Champagne den Giftkrieg miterlebte, traute sich erst sein grundlegendes Buch *Weather Prediction by Numerical Processes* (Cambridge University Press, Cambridge, 1922) mit allen seinen praktischen Vorrichtungen, Schemata, Hinweisen, Methoden und Verfahren zur Erhebung, Erfassung und Verarbeitung von

*** den Verzicht auf komplizierte theoretische Modellbildung durch frontale und massive Simulation, bei der eine unmittelbare Korrespondenz zwischen physikalischen und mathematischen Größen hergestellt wird,¹⁸ und

*** die nahezu kontinuierliche Überwachung und Steuerung komplizierter Prozesse in "Echtzeit".

Wir wollen es hier dahingestellt sein lassen, wieweit diese kombinatorischen EDV-bedingten Leistungen von theoretischen Fortschritten der Numerik begleitet und abgesichert werden - oder umgekehrt mit jedem Erfolg der nackten Rechnergewalt ("Brute Force") zu Theoriefeindlichkeit und numerischem Leichtsinns der Praktiker beitragen.¹⁹

Auch auf theoretischem Gebiet finden wir *begriffliche Fortschritte* sowohl in der Mathematik wie in den Anwendungsgebieten, die auf die Reduktion von Komplexität abzielen.²⁰

meteorologischen Beobachtungen im Zusammenhang der theoretisch gesicherten hydrodynamischen Grundgleichungen zu veröffentlichen, als er sich klar gemacht hatte, daß ein Arbeitsszenarium von 64000 "im Konzert" rechnenden Menschen notwendig sei, um allein mit der laufenden Wetterveränderung numerisch Schritt zu halten.

¹⁸ Fortschritte und Illusionen in der Richtung werden vor allem von der neuen Architektur der parallelen "Supercomputer" vorangetrieben. In einer Sprache, in der Forschungsbericht, Reklame und Vision miteinander verschmelzen, verkünden z. B. die IBM-Forscher, die an "globaler Simulation" als grundlegender Applikation für Rechner einer zukünftigen "VI. Generation" arbeiten: "The computing system we have assembled is intended to respond to the newly emerging viewpoint in science and engineering, the 'global simulation' approach ... In the 'global' simulation one attempts to realistically simulate complex problems. In the past, theory and mathematical models have stripped reality of many 'details', because of its unbearable complexity. Thus, often, many-body effects, non-linear terms, and boundary conditions have been either over-simplified or ignored, or not even identified. But slowly we are coming to the understanding that 'reality' is just a collection of interacting 'details'." (E. Clementi et al., Large-scale computations on a scalar, vector and parallel 'supercomputer', *Parallel Computing* 5 (1987), 13-44.)

¹⁹ Vgl. M. Bohle-Carbonell, B. Booß, J. H. Jensen, Innermathematical vs. extramathematical obstructions to model credibility. In: X. Avula (Hrsg.), *Mathematical Modelling in Science and Technology, The 4th Int. Conf., Zürich 1983*, Pergamon Press, New York, 1984, 62-65, dieser Band S. 25-28.

²⁰ Beim Festsymposium der schwedischen Akademie der Wissenschaften aus Anlaß des 20-jährigen Bestehens des Mittag-Leffler Instituts zum Thema "Theory and Experiment in Mathematics" (Stockholm, 13.-16. Juni 1988) wurde wichtiges Material zusammengetragen, das die entscheidende Abhängigkeit vieler leicht formulierbarer und gut für den Rechner programmierbarer Probleme von theoretischen mathematischen Fortschritten unterbaute: E. Bombieri präsentierte eine Sammlung von zahlentheoretischen Vermutungen, die vernünftig aussehen und mit heutiger Rechenkapazität nur bekräftigt werden können, obwohl man theoretisch zeigen kann, daß ihre Gültigkeit unsicher ist oder sie sogar definitiv falsch sind. B. Engquist zeigte, wie man durch geschickte Reduzierung der Freiheitsgrade (der Anzahl der "Unbekannten") bei der numerischen Behandlung von partiellen Differentialgleichungen z.B. den Rechenaufwand für 3-dimensionale elliptische Probleme über einem $100 \times 100 \times 100$ -Netzwerk um einen Faktor 10^4 verringern kann, also in der gleichen Größenordnung, wie der gesamte spektakuläre Rechnerfortschritt der letzten Jahre. H. O. Kreiss belegte die Notwendigkeit von analytisch erheblich verfeinerter Fourieranalyse und Konvergenzabschätzungen für die Lösung der Navier-Stokes-Gleichung, wenn die heute in der Meteorologie zur Verfügung stehende hohe Auflösung der Beobachtungsdaten (horizontaler Netzabstand von 100 km gegenüber früher 500, 17 vertikale atmosphärische Schichten statt einer, Ausdehnung des Datennetzes über den ganzen Erdball und nicht nur über die nördliche Hemisphäre) praktischen Nutzen haben soll: Beim gegenwärtigen Stand unseres mathematischen

Dabei ist es allerdings nicht immer klar, ob sich die Kluft zwischen Vorstellungen und Begriffen der Einzelwissenschaften und mathematischen Konstruktionen dadurch weiter vertieft - oder auch möglicherweise verringert.²¹

3. Fallstudien

Mathematische Berechnungen sind nicht teuer. Bleistift und Papier, Rechenzeiten und Forschungsbibliotheken, Löhne und Gehälter für Mathematiker und Hilfspersonal sind verhältnismäßig billig. Bei den folgenden Fallstudien handelt es sich aber durchweg um Projekte in viel-Millionen- oder Milliarden-Klasse.

Das ist kein bloßer Zufall, sondern hat auch damit zutun, daß bei Projekten in kleinerem Maßstab, wenn es nicht um radikal neue Lösungen geht, Ingenieure und Techniker für gewöhnlich mehr ihrem Fingerspitzengefühl, praktischen Erfahrungen, Versuchen oder Experimenten im verkleinerten Maßstab oder der Erprobung und Abänderung im wirklichen Einsatz vertrauen als mehr oder weniger undurchsichtigen mathematischen Modellen und letztlich nicht nachprüfbar Computerprogrammen und Rechenmaschinen. Das mag zumindest ein Grund dafür sein, warum mathematische Modelle in der Tendenz gerade mit unsicheren und riskanten Situationen zu tun haben, wo man sich bei dem jetzigen Stand des Wissens nicht anders oder nur mit großen finanziellen Aufwendungen anders und direkter behelfen kann:

Die Erprobung der Stabilität einer Antenne für eine Raumstation im Feldversuch ist eben unverhältnismäßig teurer als die mathematische Simulation und Optimierung am Schreibtisch, die zur Entwicklung einer mit großer Wahrscheinlichkeit stabilen Satellitantenne führt, auch wenn die Berechnungen nach ihrer Natur die Stabilität der Antenne nicht garantieren können. Die Anbringung eines mechanischen Ventils zur Entweichung des Überdrucks und zur Flutung eines defekten Reaktors wäre eine einfache und zuverlässige Konstruktion, die zwar billig

Wissens scheint die Alternative zu dem erfinderischen, aber mathematisch oft recht zweifelhaften Umgang der Meteorologen mit ihrem Datenmaterial und ihren ausgetüftelten heuristischen Algorithmen ohne Möglichkeit von Fehlerabschätzungen in Modellen und Rechenverfahren zu liegen, die auf Supercomputern 20 Jahre Rechenzeit für eine 24-Stunden-Wettervorhersage benötigen!

²¹Die Physik der Elementarteilchen gehört zu den Gebieten, wo viel und oft auch erfolgreich gerechnet wird, ohne daß z. B. die theoretischen Grundlagen der Quantenmechanik, die mathematischen Eigenschaften der Schrödingergleichung und der Zusammenhang zwischen physikalischer und mathematischer Begriffsbildung geklärt sind. Mit den Worten von Ju. I. Manin trifft der Mathematiker in der modernen theoretischen Physik auf "eine luxuriöse, total Rabelaische, gewaltige Welt von Ideen" und kann mit solchen physikalischen Abstraktionen neue gedankliche Vorstellungen verbinden, die "für den geübten Verstand fast körperlich berührbar, aber doch weit entfernt sind von denen, die vom Leben oder von physikalischer Erfahrung unmittelbar gegeben sind." (*Matematika i fizika*, Znaniye 12, 1979; engl. Birkhäuser, Boston, 1981.) Dagegen proklamieren die Protagonisten der Superstringtheorie, M. B. Green, J. H. Schwarz und E. Witten, daß die Erweiterung unseres physikalischen Weltbildes um weitere sechs Dimensionen und eine geeignete Entwicklung der Differentialtopologie eine unmittelbare Korrespondenz zwischen den physikalischen Beziehungen und Eigenschaften räumlich ausgedehnter Elementarteilchen, ihrer "elastischen" Biegsamkeit und den Eigenwerten des Diracoperators liefern. (*Superstring Theory*, Vol. 1-2, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.)

in der Installation, aber außerordentlich teuer im Betrieb wegen der hohen Folgekosten bei vor auszusehenden vorzeitigen und unnötigen Notabschaltungen auf Grund von Defekten oder zu hoher Sensibilität wäre. Deshalb wird das mathematische Modell für den abgestuften Einsatz eines breiten Spektrums von teilweise untereinander abhängigen Kontrollmaßnahmen in Verbindung mit einem mathematischen Modell der mentalen Prozesse in den Köpfen des Bedienungspersonals als billigere und wissenschaftlichere, wenn auch weniger zuverlässige Lösung vorgezogen.

3.1 Das Piconeproblem. Die Druck- und Elastizitätsprobleme, die über Haften oder Abrutschen von Straßendämmen oder Talsperren auf ihrem Untergrund entscheiden, waren 1954 von Mauro Picone als "elliptisches Transmissionsproblem" formuliert worden.²² Eine qualitative Abschätzung oder gar numerische Lösung dieser Gleichungen lag damals außer Reichweite. Geologische Inspektion und örtliche Erfahrungen und Vorstellungen führten dazu, daß in der Regel auf Bau von Dämmen an Hängen oder in Talsohlen mit zum Geländegradienten "paralleler Schieferung" verzichtet werden mußte. Trotz großer Fortschritte in den 60er und 70er Jahren gerade auf dem Gebiet der elliptischen Differentialgleichungen verstehen wir die Mathematik und Physik des Piconeproblems noch immer nicht richtig.

Mathematisch handelt es sich um das Auftreten von Singularitäten. Anschaulich: Wie weit kann die Haftwirkung durch schwerere Auslegung und tiefere Eingrabung des Damms auch bei geländeparalleler Schieferung erhöht werden? Hier "hilft" nun der Rechner: Eine Diskretisierung des Problems mit "finiten Elementen" führt zu großen linearen Gleichungssystemen, die maschinell mühelos behandelt werden können und bei Verwendung geeigneter Eingaben und Programmpakete fertige Bauzeichnungen mit allen Dimensionierungen liefern. Unsicherheiten in geologischen Daten, Materialkonstanten und auftretenden Kräften können dabei durch Verwendung von Standardverteilungsfunktionen mit in die Lösung der partiellen Differentialgleichung einbezogen werden.²³ Die Leichtigkeit und Effektivität der numerischen Behandlung lädt hier ein zur Verschmähung geologischer und bautechnischer Erfahrungen (unmittelbare Folge: der Damm rutscht doch) und zu überstürzten politischen und technischen Entscheidungen mit den im Unterschied zur Schnelligkeit der baustatischen Berechnungen viel schwieriger zu übersehenden Folgen und Spätfolgen für die Lebensgrundlagen und die Lebensweise der Menschen einer Region.

3.2 Autopiloten für instabile Containerschiffe. Beim Bau der neuen Generation schneller Containerschiffe zeigt sich eine bemerkenswerte Tendenz, nämlich die Verringerung der metazentrischen Höhe GM, die ein Maß ist für den Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Schiffes und seiner Rotationsachse bei kleinen Abweichungen aus der Ruhelage. Bei traditioneller Bauweise war GM 2-3 Meter, nun

²²M. Picone, Sur un problème nouveau pour l'équation linéaire aux dérivées partielles de la théorie mathématique classique de l'élasticité, *Colloque sur les équations aux dérivées partielles, Bruxelles, Mai 1954*, 9-11.

²³Vgl. G. Angusti, A. Baratta und F. Casciatti, *Probabilistic Methods in Structural Engineering*, Chapman-Hall, London, 1984; S. Larsen, *Numerical Analysis of Elliptic Partial Differential Equations with Stochastic Input Data*, Doctoral Thesis, University of Maryland, 1986.

begnügt man sich mit 15-30 Centimetern. Typische Kennzeichen sind der kastenförmige kiellose Querschnitt mit geringem Tiefgang, die hohe Auftürmung der Ladung und ihre geringe Dichte. Da GM noch immer positiv ist und die Schiffe im übrigen die allgemeinen Anforderung an den aufrichtenden Momentarm beim Schlingern erfüllen, sehen Versicherungsgesellschaften und staatliche Aufsichtsorgane nach anfänglichen Bedenken (und einzelnen Verlusten Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre) kein Sicherheitsproblem.

Tatsächlich hat die Senkung von GM sogar eine Reihe von Vorteilen:

- Energieeinsparung (oder höhere Geschwindigkeit),
- Möglichkeit zum Anlaufen kleinerer Häfen,
- Verringerung der Rollfrequenz beim Schlingern und damit größere Sicherheit für lose aufgehängte Teile der Ladung (Maschinenkomponenten, Gefrierfleisch etc),
- Leichtere Manövrierfähigkeit und kleinerer Wendekreis durch positive Kopplung zwischen Rollneigung und Kursabweichung.

Hier genau liegt nun aber das mathematische Problem: Die positive Rückkopplung in Verbindung mit einer Kopplung von Ruderwinkel und Rollneigung macht das Schiff "richtungsinstabil". Die Steuerkurve zwischen Ruderwinkel und Kursänderung ist nicht mehr monoton, sondern weist eine Schleife auf, die von der dynamischen Hysterese herrührt. Damit wird es ziemlich schwer, das Schiff bei der hohen Geschwindigkeit mit Hand oder herkömmlichem "Bang-Bang"-Autopilot auf geradem Kurs zu halten, wenn es erst einmal z. B. bei schwierigen Wind- oder Seeverhältnissen ins Gieren gekommen ist.

Die Lösung bieten moderne Hochleistungs-Autopiloten mit folgenden Merkmalen:

- Die Steuergeschwindigkeit wird auf eine Kontrolle/Korrektur pro 0,5 Sekunde - oder schneller - angehoben (d. h. wir haben eine praktisch kontinuierliche Kontrolle im Unterschied zum herkömmlichen "Bang-Bang", der erst bei Kursabweichungen über einer vorgegebenen Bandbreite korrigiert).
- Der Autopilot reagiert nicht nur auf Abweichungen vom Kurs, sondern auch auf die Ableitung, die Rate der Kursabweichung.

Das erfordert vom Mathematiker und Servomechaniker

- die Ausarbeitung und Berücksichtigung eines hydrodynamischen Modells der Schiffsbewegungen,
- schnelle und zuverlässige Übertragung der verschiedenen Winkel- und Geschwindigkeitsmessungen,
- schnelle Algorithmen zur Berechnung der Abweichungen und Korrekturen.

Jeder mathematische Fortschritt auf diesem Gebiet unterstützt den Bau richtungsinstabiler Schiffe und führt (unabhängig von den militärisch-destruktiven Parallelanwendungen beim Bau besonders wendiger moderner Kampfflugzeuge und in der barocken Entwicklung der zivilen Luftfahrt) neue und unnötige Gefahren für die Sicherheit der Mannschaften und die Reinhaltung der Meere mit sich.²⁴

²⁴Vgl. Kyong-Ho Son und K. Nomotu, On the coupled motion of steering and rolling of a

4. Was lehren die Beispiele, und was lehren sie nicht?

(1) Die neuen Möglichkeiten der Rechnersimulationen laden dazu ein, (zunehmend) technische Lösungen für technische Probleme zu suchen und anzubieten. In der Regel wird so weitere Komplexität hinzugefügt, und viele Aspekte der Erneuerung bleiben schon wegen der Schnelligkeit ihrer Einführung unkontrollierbar: Das ist technisch riskant mit unmittelbarer Havarie- oder Katastrophengefahr und ethisch riskant wegen fehlender Transparenz und Kontrollmöglichkeit durch die Betroffenen.²⁵ Damit werden - ganz gleich wie gut oder eigennützig gemeint - unsere Lebensgrundlagen und unsere Vorstellung von einer menschenwürdigen Lebensweise in der Tendenz nicht gesichert, sondern weiter untergraben.²⁶

high-speed container ship, *J. S. N. A.* 150 (Dec. 1981 in japanisch; engl. Übers. liegt vor); C. G. Källström und P. Ottosson, The generation and control of roll motion of ships in close turns. In: E. Volta (Hrsg.), *Ship Operation Automation, IV, Proceedings of the 4th IFIP/IFAC Symposium (Genoa 1982)*, North-Holland Publ. Comp., Amsterdam, 1983, 25-36; B. Booß-Bavnbek, *Advances in Automatic Steering and Reductions of the Metacentric Height - Optimal Design of Risky High-Speed Container Ships?* Preprint, Roskilde, 1988.

²⁵Nach C.A.R. Hoare, Mathematics of programming, *BYTE* Aug. 1986, 115-125, ist die Zuverlässigkeit von mathematischer Modellierung und Computerprogrammen eine allgemeine philosophische und ethische Forderung, die die herkömmlichen und teilweise gesetzlich abgesicherten strengen und nachvollziehbaren Anforderungen an die Sicherheit und Beherrschbarkeit von Ingenieurtechniken und technischen Komponenten auf Computerprogramme überträgt. Es mag hier dahingestellt sein, ob Hoares Hoffnung begründet ist, daß durch eine "Mathematisierung" der Programmierung Computerprogramme zu den sichersten Komponenten eines jeden Systems gemacht werden können. Es mag auch dahingestellt sein, ob überhaupt auf diesem Weg der Automation und der Produktions- und Produktivitätserhöhung weiter fortgeschritten werden soll, ob so überhaupt "angepaßte Technologien" erreicht werden können oder ob das Anliegen einer "industriellen Abrüstung" Vorrang hat; siehe dazu den Diskussionsbeitrag von U. Briefs, Ökologischer Kapitalismus? Oder ökologische Reformpolitik? *Bl. f. deutsch. u. internat. Pol.* Heft 6/1988, 684-693, und die philosophische Betrachtung von Klaus Peters, Der Historische Materialismus und die Kritik des wF - Zu einigen Mißverständnissen in der Fortschrittsdebatte, *Marxistische Blätter* 7-88 (Juli 1988), 56-61. Auf jeden Fall sollte aber Hoares Rat an die breite Öffentlichkeit gefolgt werden, "to demand and expect as much - or more - quality and design integrity from computer programs as they do from other products critical to their economic or physical well-being." Und zu dieser "Qualität und Sauberkeit des Entwurfs" gehört nach jedem demokratischen Verständnis auch die Durchschaubarkeit und die Möglichkeit zur Einflußnahme.

²⁶Es ist alarmierend, daß ein so hervorragendes Dokument wie der Bericht der Brundtlandkommission an die Vereinten Nationen über *Umwelt und Entwicklung* (engl. Originalausgabe *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, 1987) - so realistisch und schonungslos in vielen Details - letztlich doch wieder nur auf den technologischen "Fix" setzt. Logischerweise werden dann die größten Erwartungen (z. B. zur kontroversen beschleunigten Erschließung des Meeresbodens) ausgerechnet auf die technologische Virulenz der multinationalen Monopole gesetzt, die doch gerade die Hauptverantwortung für die gegenwärtige tiefe Krise der Entwicklungsländer und unserer Lebensgrundlagen überhaupt tragen. Interessante Argumente dagegen findet man auch in der Informatikliteratur, wenn Hoare z. B. vor der Konstruktion allzu komplexer Systeme mit dem Argument warnt, daß gerade die Versuche zusätzlicher Sicherung in aller Regel zum Versagen führen. Weitere Argumente in B. Booß-Bavnbek, M. Bohle-Carbonell mit G. Pate, Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur. In: *Marxistische Studien - Jahrbuch des IMSF* 13, Frankfurt/M., 1987, 81-104, dieser Band S. 6-24; M. Otte, Technik und Zufall, *Düsseldorfer Debatte* 2/88, 27-39.

(2) Es wäre verkehrt, die neuen Gefährdungen allein den Möglichkeiten der Rechnersimulationen zuzuschreiben. Gediogene Schreibtischmathematik kann ebenso unverantwortlich zur Verringerung unserer Sicherheit und der Lebensmöglichkeiten gegenwärtiger oder zukünftiger Generationen herangezogen werden.²⁷

(3) Es ist auch verkehrt, die Augen vor den positiven Perspektiven von Fortschritten in Modellierung und Berechnung zu verschließen: der Anwendung des mathematischen Formalismus zur Entdeckung komplizierter, intuitiv nicht erfassbarer oder vorhersagbarer Beziehungen, als Monitor und Warnsystem, das z.B. aus der systematischen Auswertung und Kombination von astrophysikalischen, vulkanologischen und meteorologischen Daten und Gesetzmäßigkeiten den "nuklearen Winter" als wahrscheinliches Ergebnis auch eines nur "begrenzten" atomaren Krieges vorhersagen kann. Oder: Mit dem Programmpaket ELLPACK lassen sich z. B. heutzutage auf einem Supercomputer die Potentialgleichung mit gemischten Randwertbedingungen so genau lösen und daraus Druckgefälle und Bahnkurven so detailliert bestimmen, daß das Auftreten von taschenartigen stillen Strömungsgebieten nachgewiesen werden kann, in denen beim Entgiften eines Raumes durch Auspumpen auf praktisch unbegrenzt lange Zeit Giftrückstände verbleiben. Man muß hoffen, daß solche Ergebnisse in der Praxis zur Verschärfung von Sicherheitsforderungen und nicht zu ihrer riskanten, vorgeblich exakten "Optimierung" genutzt werden.²⁸

(4) Es ist sehr schwer, den in Forschung und Entwicklung oder z. B. bei Sicherheitsfragen als Gutachter tätigen Mathematikern, Statistikern und Informatikern klare und einfache Verhaltensregeln zu den auftretenden ethischen und politischen Fragestellungen zu geben, die über den grundsätzlichen Rat zu größter Zurückhaltung bei schneller Erneuerung und zu größter Wachsamkeit gegenüber sporadischen Fehlern hinausgehen.²⁹

²⁷Zur Frage der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Salzhorsten hatte ein Mathematiker mit Hilfe neuerer Methoden der Theorie der Integralgleichungen in einer Auftragsarbeit für die dänischen Elektrizitätswerke eine Abschätzung für den thermischen Auftrieb von kugelförmigen wärmeabgebenden Behältern gegeben, die für die beabsichtigten Tiefen in der Größenordnung von Tausenden und Abertausenden von Jahren lag: S. Krenk, Creeping viscous flow around a heat generating solid sphere, *J. Appl. Mech.* 48 (1981), 239-242. Es war Studenten im zweiten Semester der interdisziplinären naturwissenschaftlichen Grundausbildung in Roskilde vorbehalten, zunächst im Skalaexperiment und dann mit anderen, einfacheren Abschätzungen die Irrigkeit - nun nicht der Arbeit des Mathematikers, sondern der von ihr nahegelegten und zunächst auch gezogenen Schlußfolgerungen über die kritische Zeitspanne des Auftriebs nachzuweisen: Statt der mathematisch unterstellten kugelförmigen Behälter untersuchten die Studenten die physikalisch einfachere (und auch mathematisch leichter zu approximierende) Bewegung von hohen Säulen von Behältern, so wie es die öffentlich zugänglichen Pläne vorsahen. Vgl. *Canistokinese - Termisk opdrift på varmeproducerende beholder i viskøst medium. Skalingseksperiment*, RUC, NAT-BAS, 2. Semester, Roskilde, 1981.

²⁸Vgl. J. R. Rice, R. F. Boisvert, *Solving Elliptic Problems Using ELLPACK*, Springer Series in Computational Mathematics 2, Springer-Verlag, New York 1985; C. Drivsholm, M. E. Larsen, *Problemer ved udluftning*. In Vorbereitung, Teknologisk Institut, Tåstrup, 1988.

²⁹Die Einfachheit und Schwierigkeit demokratischer Gegenexpertise demonstrierte ein angesehener dänischer Statistiker, als er im Dezember 1987 in einem Rundfunkinterview zu einer von einer Expertengruppe des staatlichen Kernforschungszentrums RISØ vorgenommenen Risikoanalyse Stellung nahm, auf deren Grundlage eine umstrittene Produktion des Pflanzengiftes

Die Ausbildung der angehenden Mathematiker auch in ihrer traditionellen Form sollte eigentlich gute Voraussetzungen dafür bieten, um die Sensibilität für Probleme der Komplexität und der Komplexitätsreduktion weiter zu schärfen und dem naiven Vernetzungs-, Technik- und Mathematisierungsoptimismus entgegenzuwirken.

(5) Die gewachsene politische Bedeutung mathematischer Modelle für das Alltagsleben erfordert eine weitreichende Qualifizierung der allgemeinen Volksbildung in Richtung auf eine demokratische polytechnische Bildung entsprechend den z. B. in Roskilde ausgearbeiteten Grundsätzen.³⁰

Phenmediphan in den Chemischen Werken Køge bei Kopenhagen von den Aufsichtsorganen genehmigt worden war: Im ersten Teil seiner Stellungnahme führte der Statistiker aus, daß die vorgenommene Risikoanalyse jeder statistischen Grundlage entbehrt, da die Expertengruppe keine Untersuchung realer und sich wiederholender Unfallverläufe vorgenommen hatte, sondern sich nur die Wahrscheinlichkeiten möglicher Unfallursachen "erträumt" habe. Befragt, wie man die Risikoanalyse hätte besser machen können, empfahl er die Einbeziehung von Fachstatistikern bei solchen Untersuchungen. Dabei kann auch die avancierteste Wahrscheinlichkeitstheorie und mathematische Statistik nicht an dem Kernproblem vorbeikommen, daß es keine ausreichende Berichtspflicht der Firmen über kleinere Unfälle, Havarien und Störungen und keine entsprechenden Kontrollrechte der öffentlichen Aufsichtsorgane gibt, weshalb - grob gesagt - nur für Sprengstoffabriken, bei denen jede kleinste Havarie durch die folgende Explosion registrierbar wird, eine wissenschaftliche Risikoanalyse und darauf aufbauend ein ernsthaftes Genehmigungsverfahren mit vernünftigen Auflagen oder Ablehnungsgründen durchgeführt werden kann.³⁰ Vgl. J. H. Jensen, B. C. Jørgensen, M. Niss (Hrsg), a.a.O.; J. H. Jensen, *Matematiske modeller - vejledning eller vildledning? II.*, Preprint, Roskilde, 1987; B. Boø-Bavnbeek, G. Pate, *Expanding Risk in Technological Society Through Progress in Mathematical Modelling*, Vortragsmanuskript für den 6. Internat. Kongreß für Mathematikdidaktik (ICME 6, Budapest, 31. 7. 88, Fifth Day Special on Mathematics, Education, and Society), dieser Band S. 1-5.

VI. Makroøkonomiske prognosemodeller - set med matematisk-naturvidenskabelige øjne

Oversigt. 0. Indledning 1. Økonomi og fysik: to kilder til kvantificering, modellering og matematisering. 2. Dr. Gauß bliver berømt. 3. Hvad siger Ptolemæus? parallel: epicykler; parallel: det virker; forskel: forhold til religion. 4. Uoverensstemmelser med det klassiske videnskabsbegreb: ønsketænkning; manglende kausalitets- og tidsbegreb; manglende videnskabsetik. 5. Noget godt.

0. Indledning

Der findes ingen fagtradition for *metasnak*, for gensidig karaktergivning og småskænderier, blandt matematikere, matematikundervisere og matematiske modelbyggere. Indenfor fagkredsen har man kun al for megen forståelse for de åndelige anstrengelser og psykiske afkald, det koster at arbejde matematisk konstruktivt. Man kender den forholdsvise ensomhed man kan føle i omgivelser, som normalt ikke forstår ens arbejde med abstrakte begreber.

Som matematiker ved man, hvor svært det kan være at trænge igennem i forskning og undervisning. Det forbyder at besmudse vores egen rede, siger man. Den eneste socialt tilladte kritik er at gøre det bedre, at tilføje ny formel viden, *spændende* begreber, eksempler, sætninger, beviser, algoritmer og modeller til de kendte. Undtagelsesvis må man også hæfte sig ved en formel fejl i en kollegas afledning eller i hvorlangt vi er kommet - eller endnu ikke kommet - med at bevise eller afkræfte en berømt formodning, med at beregne bestemte løsninger eller med at modellere en situation.

Denne aristokratiske videnskabsholdning har vist sig som en behagelig og effektiv beskyttelse imod kritik indefra (*når du først prøver at gøre det bedre, skal du nok se hvor svært det er*) og udefra (*du forstår jo slet ikke mine beregninger - og de er i hvert fald bedre underbygget og mere præcise end det du kan præstere*). Men den kan næppe længere opretholdes: I et samfund med videnskabeliggjort industriel produktion og med sociale forhold, som kræver demokratisk styring og både har brug for adskillige ledelsesniveauer og eksperttyper og for kritik og frigørelse af dem, stilles spørgsmålet om *Matematiske modeller og Modelmagt*.

- Hvad kan de dimser og systemer - og hvad kan de ikke? Og hvad skulle de gerne kunne? Og hvordan virker de alligevel? Konkret:
- Hvordan bliver menneskers handlemuligheder berørt? For hvilke mennesker bliver de udvidet og for hvilke indskrænket? Hvordan er det med ansvarlighed og hvor genereres uansvarlighed p.g.a. ubegrænset kreativitet eller p.g.a. manglende af transparens og indflydelse?

Foredrag af BBB til RUC-modelldag nr. 3, Roskilde, 24. 3. 1988, med supplerende litteraturhenvisninger. Udvidet version med fokus på irrationel brug af systemudviklingsværktøjer i forskellige sammenhænge er under forberedelse (fælles arbejde med G. Pate).

Spørgsmålet kan og skal stilles til alle former for matematisk teknologi, men her undersøges kun makroøkonomiske prognosemodeller. Måske ville en undersøgelse af sikkerhedssystemer ved atomkraftværker, af simulationer for højtemperaturprocesser ved affaldsforbrænding, af beregningerne i byggefagene, af fejlmuligheder ved mikrochips være af større betydning. Der findes dog allerede brugbare og enkelte fremragende fagkritiske materialer til disse emneområder - mens næsten intet sammenfattende materiale er skrevet om makroøkonomiske prognosemodeller. I det følgende skal derfor den fagkritiske tradition fra fysikken og ingeniørfagene (deriblandt datalogien), deres debat om pålidelighed og ergonomi, om virkninger på samfundet og på tænkemåder, bruges som inspiration til at kritisere den i mine øjne irrationelle og menneskefjendtlige brug af matematisk formalisme i økonomien.

1. Økonomi og fysik: to kilder til kvantificering, modellering og matematisering

Jo vist.

- Normalt kan en økonom, som har med store pengemidler at gøre, nøjes med at bruge de *naturlige tal*: Luca Paciolis dobbelte bogføring er ældre end begrebet *negative tal*² - og revisionslovene forbyder stadig i mange lande brug af negative tal. Resultatet: Uden elementær addition ingen præcis beskrivelse af udgifter og indtægter, af overskud eller underskud.
- Rente og amortisering kræver imidlertid også nogle *brøktal*. Uden elementær algebra ingen præcis prognose over, hvor mange år det - med given rente og ydelse - vil tage at afdrage et lån.
- Iøvrigt krævede indviklede møntenheder og vekselkurser allerede for 400 år siden mere avanceret håndtering af *algebraiske ligninger*.
- Nyere succeshistorier om sammenspillet økonomi-matematik leveres f.eks. af matematiske modeller for fonds: kursudviklingen af forskellige typer af værdipapirer beskrives gennem *stokastiske modeller*, og disse modeller benyttes i strategier for fondspleje.³ Det kan dreje sig om at *hedge* optioner, dvs. at eliminere eller begrænse de forbundne kursrisici v.h.a. porteføljestrategier, eller om v.h.a. dynamisk programmering at finde de *bedste* obligationer passende til en givet betalingsstrøm. Ved forvaltning af større pengemidler kan det idag tit betale sig at ansætte en matematiker til at analysere nogle stokastiske processer, stokastiske differentiallygninger og indviklede optimeringsopgaver.

Økonomi og tal - det virker. Nu er *computere* og *modeller* meget billige og mange *data* tilgængelige. Det indbyder til at anvende apparaterne på mere indviklede

²Se Michael Heidelberger, Sigrun Thiessen, *Natur und Erfahrung. Von der mittelalterlichen zur neuzeitlichen Naturwissenschaft*. Deutsches Museum und Rowohlt, rororo, Reinbeck 1981, s. 81.

³Efter Søren Kier Christensen, IMFUFA-foredraget (28. 4. 1988). Se også J. Cox, M. Rubinstein, *Options Markets*. Prentice Hall, Englewood Cliffs 1985, og D. Sondermann, Kurssicherungsverfahren: Hedgen von Optionen. In: W. Krelle (udg.), *Ökonomische Prognose-, Entscheidungs- und Gleichgewichtsmodelle*. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Sonderforschungsbereiche, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1986, s. 133-146.

sociale problemstillinger, tankespil som støtte for politiske beslutninger, til bevidst udformning af samfundsøkonomien:

- Hvordan vil økonomiske nøglekendetil udvikle sig i de næste to år?
- Hvilke konsekvenser vil der følge af de og de indgreb / styringer?

Som Leif Johansen bemærkede, stilles disse spørgsmål forskelligt i forskellige lande:

On the one hand we have countries where the use of the models is integrated in the decision-making process itself in the relevant ministries or divisions of government...

On the other hand we have countries where the models are used mainly by independent agencies, private or public, but outside the decision-making process concerning national planning and policy... In such cases the use of econometric models will mainly be in the direction of forecasting, simulations of the historical development in order to find out about the influences of various factors such as elements of economic policy, exogenous influences of various sorts etc., and calculations of alternative conditional forecasts in order to elucidate possibilities in economic policy.⁴

Spørgsmålene læner sig i begge tilfælde - i den nord- og vesteuropæiske socialdemokratiske version og i sit liberale nordamerikanske modstykke - meget opad den klassiske matematisk-naturvidenskabelige (og tekniske) metodologi af at *erkende, forudsige, handle*.⁵

Faktisk har matematikken især i grænsefladen til fysik og ingeniørfagene udviklet en *kultur* af prognose- og kontrolmetoder. Disse metoder har ført til ret imponerende og for den brede befolkning iøjnespringende og overbevisende succeser. Så det skulle jo være opmuntrende for matematisk orienterede økonomer.

En nærmere undersøgelse viser dog det modsatte: Man kan godt pege på lighedannedhed i de matematiske metoder ved makroøkonomiske prognosemodeller og beregninger af planetbaner og raket- eller skibsstyring. Den formale ensartethed ligger i at et system modelleres v.h.a. et sæt ligninger $\Phi(x, z, a, \epsilon) = 0$ hvor x betegner de *ukendte*, de *endogene* variabler, som vi vil bestemme; f.eks. en planetoids masse og baneelementer; z betegner de *exogen* determinerede, forudbestemte variabler; f.eks. solens masse og nærliggende større planeters masse og baneelementer; a betegner en vektor af *instrumentvariabler*; f.eks. masse og baneelementer for en raket, som sendes op for at observere planetoiden på nært hold - altså hvis vi troede at vores *indgreb* har en indflydelse på planetoidens bane; til slut har vi med ϵ en vektor af ikke-observerbare tilfældsvARIABLE (forstyrrelser af vore data p.g.a. observationsfejl eller p.g.a. virkningen af uforudsigelige planetære fænomener, som f.eks. opdukken af kometsværme eller virkningen af endnu

⁴L. J., Econometric models and economic planning and policy. In: M. Hazewinkel og A.H.G. Rinnooy Kan (udg.), *Current Developments in the Interface: Economics, Econometrics, Mathematics*. Reidel, Amsterdam 1982, s. 91-122; gengivet i *Collected Works of Leif Johansen, vol. 1*, North-Holland, Amsterdam, s. 13-44, her s. 13.

⁵I Mario Bunge, *Scientific Research*, 2 bind. Springer-Verlag, Berlin 1967, findes - uafhængigt af hvad man ellers kan kritisere hos ham som filosof - et stort stykke arbejde og rigeligt med empirisk materiale til en analyse af den (matematisk-naturvidenskabelige) forskningsproces og til at systematisere nogle træk som adskiller *scientific theories* fra *pseudo-science*. Kvalitetskriterier, indicier for sandhedsgraden af en videnskabelig teori er ifølge M.B. *external consistency, being scrutable, predictive power, explanatory power*, se også M.B., *Metatheory. I: Scientific Thought - Some Underlying Concepts Methods and Procedures*. Mouton/UNESCO, Paris 1972, s. 227-252.

ukendte fjernede planeter). Så bruges en observationsperiode for at estimere nogle parametre i ligningssystemet - hvis ikke man kender dem i forvejen, som f.eks. gravitationskonstanten og eksponenten to i Newtons anden lov - og for at finde en tilnærmelse til x .⁶

Makroøkonomiske prognosemodeller har den samme grundstruktur som kinematiske modeller for solsystemet. Men det er svindel, det er falsk varedeklaration at tilsløre den dybe forskel mellem deres videnskabelige og sociale status.⁷ De er ikke sammenlignelige - hverken i kvaliteten af deres teorigrundlag eller i deres virkemåde.

2. Dr. Gauß bliver berømt

Året 1801 var ret bemærkelsesværdigt for den matematiske astronomi: Planetoiden *Ceres* blev den 1. januar 1801 opdaget af den italienske astronom Guiseppe Piazzi og observeret, indtil den forsvandt bag solen den 11. februar samme år. I juni publicerede Freiherr von Zach, udgiver af tidsskriftet *Monatliche Correspondenz*, de orbitale positioner, som Piazzi havde iagttaget. W. Kaufmann-Bühler skriver i sin Gauß-biografi:

Astronomers all over Europe prepared themselves for the rediscovery of Ceres when it was expected to remerge at the end of 1801 or early in 1802. Zach published several forecasts of the prospective orbit, among them one of his own and one by Gauss, the latter in the September issue of *Monatliche Correspondenz*. Though *Disqu. Arithm.* had only been published on the 29th of the same month, Gauss already enjoyed a certain fame as an exceptional mathematician, not, however, as an astronomer. Still, his orbit was taken seriously, though it was quite different from the others and substantially expanded the area of the sky which had to be searched. First Zach, in the night of December 7, 1801, and then Gauss's later friend W. Olbers on New Year's Eve managed to locate the new planet at positions very close to the ones predicted by Gauss. The result, published in the February issue of *Monatliche Correspondenz*, made Gauss a European celebrity.⁸

⁶ En pædagogisk fremstilling af grundstrukturen i makroøkonomiske prognosemodeller findes i Kirsten Hermann, Mogens Niss, *Beskæftigelsesmodellen i SMEC III - en autentisk matematisk model*. Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, København 1982.

⁷ Medvirkende ved tilsløring er måske den biografiske særhed at en række pionerer i brug af matematiske metoder, ikke minst på det europæiske kontinent, har hatt bakgrunn i fysikk og teknikk før de gikk inn på sosialøkonomiens område, som Leif Johansen skriver i *Opptakt til sosialøkonomien*. Universitetsforlaget, Oslo 1983, s. 41f. Han henviser bl.a. til Jan Tinbergen (f. 1903), som var uddannet i fysik og skrev sin doktorafhandling om *Minimumproblemer i fysik og økonomi*, og til den polske økonom Michal Kalecki (1899-1970), som havde tekniske studier bag sig før han begyndte at arbejde med samfundsøkonomien; Ragnar Frisch (1895-1973) var dog ikke "renegat"-fysiker - han var uddannet som gullsmed, i tillegg til sin utdannelse i sosialøkonomi, matematikk og statistikk, som L. J. fortæller om sin lærer. Amerikaneren Paul Samuelson (f. 1915) og før ham allerede englænderen Alfred Marshall (1842-1924) har ifølge L. J. været influeret af biologien og matematisk biologi. I Vesttyskland var protagonisterne for makroøkonomiske og økonometriske prognosemodeller Wilhelm Krelle (f. 1916) og Martin J. Beckmann (f. 1924) henholdsvis uddannet fysiker og - som student af F. Rellich - uddannet i matematisk fysik og numerisk matematik.

⁸ W. K. Bühler, *Gauss - A Biographical Study*. Springer-Verlag, Berlin 1981, s. 44. Gauß selv noterede i sin dagbog: *Methodus nova simplicissima expeditissima elementa orbitarum corporum coelestium investigandi. Brunsvigae, 1801* [Sept. m[edio], citeret efter C. F. Gauß, *Mathema-*

Hvad kan vi bruge det til?

Pointe 1: Der findes ingen lærde tidsskrifter, som udskriver konkurrencer om makroøkonomiske prognoser. Det ville være useriøst.

Men der findes dog nogle få systematiske forsøg på at sammenligne og vurdere *resultaterne* af fremskrivningerne. Mest kendt er måske Stephen McNees' og John Ries' (begge fra Federal Reserve Bank of Boston) sammenligning af US-amerikanske økonomiske fremskrivninger.⁹ Undersøgelsen: (1) viser at fejl-skønnene ikke vokser med tidshorizonten i fremskrivning - en, som McNees og Ries selv indrømmer, trivielt iagttagelse:

When forecasts, actual data, and errors are expressed as annual rates of growth, errors do not generally increase as the forecast horizon and forecasted time span increase. ...

Even though the distant future is more uncertain, longer time spans can be predicted more accurately for many variables because errors tend to 'average out'.¹⁰

(2) konstaterer - og det kommer næppe som en overraskelse - at modellerne hverken var i stand til at forudsæ recessionen 1973-75, inflationsaccelerationen 1978/79, genoprejsningen efter recessionen 1980 eller recessionen 1981-82.¹¹ Den samme store usikkerhed i konjunkturvurderingerne har Jørgen Røsted fundet ved evaluering af Budgetdepartementets ADAM-model.¹²

Hos W. Asher¹³ findes en diskussion af forskellige sammenligninger og vurderinger af *formaliserede prognoser*, som gennemgående viste sig underlegne overfor faglige skøn - og selv overfor *naive* prognoser. Nogle af disse sammenligninger af *formaliserede prognoser* med *ikke-formaliserede prognoser* kan dog være unfair, som Leif Johansen engang har bemærket:

Comparisons between formalized forecasting and independent or judgmental forecasting are no longer quite meaningful, since there are now so many well publicized econometric forecasts that hardly any judgmental forecaster who will assess the situation and the tendencies can do this independently of this background information.¹⁴

Pointe 2: I vore dage ville en ung matematiker næppe kunne meritere sig ved at ramme rigtigt i en makroøkonomisk prognose. Prognosens træfsikkerhed ville blive betragtet som et heldigt tilfælde.

Men ingen regel uden undtagelse: Statistikerne G. E. P. Box og G. M. Jenkins blev verdenskendte i begyndelsen af 70'erne med deres ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average)-modeller, som ikke har økonomisk indhold og udelukkende bygger på tidserieanalyse. De viste sig nemlig,¹⁵ i det mindste under

tisches Tagebuch 1798-1814. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 256, Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig, Leipzig 1985⁴, s. 56.

⁹S. K. McNees, J. Ries, The track record of macroeconomic forecasts, *New England Economic Review*, Nov./Dec. 1983, 5-18.

¹⁰Ibid. s. 7.

¹¹Ibid. s 10ff.

¹²J. Røsted, Fem år med ADAM, *Samfundøkonomien* 2/88, 5-12.

¹³W. Asher, The forecasting potential of complex models, *Policy Sciences* 13,3 (1981), 247-267.

¹⁴L. J., *Econometric models ...*, s. 14.

¹⁵Se R. L. Cooper, The predictive performance of quarterly econometric models of the United States. In: B. G. Hickman (udg.), *Econometric Models of Cyclical Behavior. Proceedings of a Conference Held at Harvard University, Cambridge, Mass., 1969*. Columbia University Press,

de daværende forhold, at være meget overlegne i sammenligning med de traditionelle makroøkonomiske prognosemodeller, som består af masser af simultane ligninger spækket med *antagelser* om økonomiske forhold. Naturligvis hverken kan eller skal Box-Jenkins-modellerne tjene til at

fastlægge de flerårige krav til den økonomiske politik for at nå bestemte økonomiske målsætninger¹⁶

eller til at løse Leif Johansens mere beskedene og mere seriøse problemer som analysis of past developments to find out about the roles of various factors influencing the development.¹⁷

Pointe 3: Økonomerne selv tager ikke (mere) deres modeller så højtideligt.

Pointe 3 kan uddybes:

(a) Ifølge McNees' og Ries' rundspørge¹⁸ er i 10 af de 12 undersøgte makroøkonomiske prognosemodeller *fingerspidsførmelse* en anerkendt prognoseteknik, der skønnes at indgå med mellem 20 og 50 %'s vægt. Det kaldes

judgmental adjustments - all forecasters adjust their preliminary, 'mechanical' model predictions on the basis of information on a variety of factors.

De

20 to 50 percent of the final forecast (attributed) to the process of judgmental adjustments

er modelbyggerens egne angivelser - hvad de virkelig gør kan normalt ikke kontrolleres:

Although there are published descriptions of earlier versions of some of the models used in forecasting, there are few published descriptions of how forecasters use their models to help to produce forecasts.

Endvidere er alle disse modeller betingede:

To forecast, they require a forecasters assumptions about the future values of several exogenous variables, such as future changes in economic policy.

På grund af gensidig påvirkning mellem modellens forudsigelser og justeringerne er det således svært at afgøre, hvornår modelbyggeren er offer for sin model og ud fra tilliden til den begynder at justere i netop den retning, som allerede de første modelkørsler peger hen imod, eller hvornår den oprindelige model bliver ofret p.g.a. en subjektiv eller politisk afvisning af de foreløbige prognoseresultater:

Just as the forecaster may choose to override preliminary model results, these 'model results' often provide insights that may change the forecaster's original judgment about what will happen. Thus, it may be impossible to assign independent weights to the different factors that are combined to produce a final forecast.¹⁹

London 1972, s. 813-974.

¹⁶Rosteds klokkerene til modellerne som *hjelperedskab ved politikformuleringen* - i en *optimal-control*- eller nærmere legetøjsverden, l.c. s. 6.

¹⁷L. J., *Econometric models* ..., s. 14.

¹⁸S. K. McNees, J. Ries, s. 6f.

¹⁹Ibid. s. 7.

Godt at vide, at et hjørne af frihedens rige allerede findes hernede på jorden - nemlig ved markedsføring af makroøkonomiske prognosemodeller: friheden til skønsmæssigt gætte og frihed fra kritikernes kontrol.

(b) Datalogitidsskriftet *Datamation*²⁰ citerer Kenneth G. Ruffing, assistant director ved the U.N.'s office of development research and policy analysis:

We use models as part of a process of economic analysis. Nobody reads so much into the outcome of these models [that] they will make a decision solely on the forecast. It would be a mistake to overestimate their impact... Social systems can not be modeled with the same accuracy as physical systems... There was a time when people expected models would be very accurate and able to quantify the outcomes of policy discussions very precisely. Now, people are looking more realistically at what models can do.

(c) Andre økonomer er ifølge samme artikel endnu mere kritiske: Jay W. Forrester, professor ved MIT Sloan School of Management og den første der allerede i 60'erne prøvede sig frem med 50-100 års fremskrivninger i sine *World Dynamics*, citeres for

Prediction of the business cycle is, on the whole, a wasted effort. They are trying to do things that can't be done.

Hans eget arbejde adskiller sig fra de større modeller ved deres mindre datamat- og teknologifhængighed og deres helt andet sigte: ikke økonometriske trendanalyser, ikke statistiske ekstrapolationer - det være sig i den klassiske form af parameterestimation i makroøkonomiske ligningssystemer eller i Box-Jenkins' rendyrkede tidsserieanalyse - men derimod strukturanalyse med formålet at

understand behavior and to understand how behavior can be changed if different policies are adapted. ... It's been the experience of corporate executives that if they have a problem and correct it with a policy, five years later they will have the same problem. The system is sufficiently complicated that many other policies react to change the original policy.

Resultatet er at

the model's focus on the influence of policy-making on human behaviors enables its principles to be demonstrated using small groups of people.

(d) Sam Cole, professor ved State University of New York at Buffalo og forfatter af rapporten *Garbage In, Guidance Out*, som han i 1987 lavede til den svenske parlamentskomite for fremtidsstudier, kalder eksisterende makroøkonomiske modeller

marginally useful. We've improved short-term weather forecasting using bigger computers. I just don't think we're at the same point yet with economic models. ... There's a data problem and a problem understanding what it is that makes the world economy work.²¹

(e) Sjovest er dog distanceringsprocessen hos Lawrence R. Klein, måske den der har høstet flest penge på makroøkonomiske prognosemodeller. I 1969 skrev han meget flot:

²⁰G. McWilliams, Economic modeling gains despite accuracy concerns, *Datamation*, April 1, 1988, s. 43-54.

²¹Ibid. s. 54.

The results of applied econometrics have been used for economic policy formation by national governments, international bodies, businesses, or public organizations. A careful mathematical formulation of economic relationships and their implications, together with mathematical theories of statistical inference, has finally paid off in producing estimated models of economic life that have genuine applicability to important social matters. Mathematics has not been able to do this alone, but mathematics in the service of applied economics with the help of elaborate data collection, computerization, and advances in general economic thinking appears to be the appropriate combination. ... Most likely, economic intuition and knowledge of world affairs will suggest the problems to be solved. It will then be up to the new methods of mathematical analysis to work out many of the solutions.²²

I 1988 læses ikke mindre flot (manden skal jo leve af noget), men dog mere realistisk hans tilbud om

faster and more accurate portrayals of economic conditions.²³

Nu er det ikke længere kravet om økonomisk indsigt, der formulerer problemstillingerne, og datamatstøttet matematisk analyse, der finder løsninger, men omvendt bruges især de nye datalogiske redskaber som f.eks. datanetværk og parallel databehandling til på eet sted at samle alle tilgængelige oplysninger om, hvordan verdensøkonomien anskues fra de forskellige nationale og regionale synspunkter. Disse elektroniske *scenarios* bruges deskriptivt og som heuristisk middel til generering af mulige situationsbilleder af verdensøkonomien i sin helhed og af mulige globale udbredelser af lokale forstyrrelser -

to pinpoint previously unknown interactions in world economies,
to study what impact random deviations - so-called stochastic shocks - in the economy of one country will have on conditions in other countries

og til generering af lange lister over de mest påtrængende overordnede problemformuleringer, f.eks. i sammenhæng med internationale økonomiske topmøder:

We make a baseline [projection] on the world economy on the eve of the summit, talk about the outcome, and ask, 'What should representatives of these countries talk about?'

Således forsvinder spørgsmålet om makroøkonomiske prognosemodellers videnskabelige holdbarhed i en tåge af vilkårligt gætteværk, selvbebrejdelser og reklamesnak. Vi har derfor et etiketteproblem, når Springer-forlaget optager et bidrag om *Prognosen und Fehlprognosen in der Ökonomie* af den svejtsiske økonom Gottfried Bombach i et for nyligt udkommet bind om *Irrtümer in der Wissenschaft*.²⁴ Her drejer det sig ikke om *videnskab* i den traditionelle forstand, som bygger på teorier, på empirisk fundne lovmæssigheder, og som er underkastet en fortløbende kontrol i praksis.

Fra forsikringsmatematik kender vi forresten den samme indforståethed blandt fagfolk om deres beregningers manglende grundlag og værdi: eksempelvis ude-

²²L. R. Klein, The role of mathematics in economics. In: *The Mathematical Sciences. A Collection of Essays*, Edited by the National Research Council's Committee on Support of Research in the Mathematical Sciences (COSRIMS), MIT press, Cambridge, Mass. 1969, s. 161-175.

²³Citeret efter *Datamation*, s. 46.

²⁴D. Czeschlik (udg.), Springer-Verlag, Berlin 1987.

lukkes de store risici for tidlig død p.g.a. krig eksplicit i de almindelige livsforsikringsbetingelser. Disse sandsynligheder er matematisk uberegnelige; vi har ingen fordelingsfunktion for dem. Det forklares allerede i første semester overfor de studerende i aktuaruddannelsen. Der lærer man også, at fremtidige ændringer i dødelighed p.g.a. ændring i livsførelse eller ved optrædelse af nye sygdomme og epidemier ikke kan forudberegnes, men skal efterreguleres ved venlig tilladelse fra de statslige opsynsmyndigheder gennem ændring af forsikringsbetingelser eller bidrag og ydelser. (Eks. AIDS-debat).

Når det drejer sig om en klart afgrænset målsætning i demografiske og forsikringsmatematiske beregninger, når vi skal prognosticere hændelser som døden, der for de fleste menneskers vedkommende er uafhængig af deres subjektive beslutninger, har vi en tradition og en kultur for modevaluering og institutionelle kompensationer for de nødvendige og åbenlyse begrænsninger i troværdigheden af vore forudsigelser. Men makroøkonomiske prognosemodeller etiketteres som videnskabelige. Det er sprogforvirring, fordi de makroøkonomiske modeller hører til blandt de mest fremtrædende provokationer mod den videnskabsopfattelse, der er præget af matematisk naturvidenskab.

3. Hvad siger Ptolemæus?

3.1 Parallel: epicykler. Den måde, makroøkonomiske modeller år efter år bliver *tilpasset, omskrevet, udbygget og justeret*, minder nøje om den måde, hvorpå det ptolemæiske astronomiske system gennem århundreder blev korrigeret og udformet tungere og tungere med introduktion af flere *epicykler, ekscentre og ækvanter*. (Epicykler er eksempelvis yderlige små cirkelbaner på de store planetcirkelbaner omkring jorden, som afvikles som sløjfer - *cykloider*). På den måde får man ved passende valg af parametre en eksakt beskrivelse af, hvad der fra jorden ser ud som midlertidige *anomalier* og *modløbende* bevægelser.

Med bagklogskab kan vi konstatere: Mangel på viden (nemlig om at planeternes bevægelse skyldes tiltrækning mellem masser) erstattes med ordensprincipper (klasseinddeling af verden i sfærer, himmelen med sine klasser over solen og under solen osv, månens skæringslinje og jorden med sine 4 elementer, cirkel og ret linje, lovmæssig og vilkårlig, uforanderlig og foranderlig...) og med geometrisk-kvantitative principper (sfærisk geometri), som bruges til at udsortere forskellige interpretationsmuligheder fra observationerne.²⁵

²⁵Se Jürgen Teichmann, *Wandel des Weltbildes. Astronomie, Physik und Meßtechnik in der Kulturgeschichte*. Deutsches Museum und Rowohlt, Reinbek 1985, s. 51-69, især s. 65f. Her må dog tilføjes, at det heliocentriske kopernikanske planetsystem ikke var mindre kompliceret end det geocentriske ptolemæiske og ligeså proppet med matematisk formulerede ad-hoc antagelser og særregler: for at approksimere de observerbare astronomiske kendsgerninger - elliptiske *Keplerbevægelser* - med de antagne kredsformede planetbaner med konstant hastighed, havde Kopernicus brug for 34 særlige kredsbaner med hvert sit eget centrum, som i hvert eneste tilfælde befandt sig lidt uden for sollegemet. Kritikken mod Ptolemæus må således først og fremmest bygge på en kritik af den geocentriske grundantagelse, mens et humpe-tumpe system med ikke-fysiske hypotetiske størrelser ikke i sig selv er til at afvise: *Die Zusammensetzung von komplizierteren Bewegungen aus einfachen Grundbewegungen, wie es bei Tycho Brahe in der Astronomie üblich war, ist im übrigen ein bewährtes Hilfsmittel auch der heutigen Physik.*

Finder vi ikke den samme fremgangsmåde nu igen ved makroøkonomiske prognosemodeller²⁶ og overalt, hvor man simulerer komplekse, uforståede forløb som f.eks. fiskerimodeller m.m. og hvor den tekniske virtuositet står i ejendommeligt modsætning til primitiviteten eller det direkte fravær af grundlæggende indsigt²⁷ (hvis der ikke også på den matematisk-tekniske side tydeligt er tale om fusk og klamhuggeri, og om at fænomenologien overhovedet ikke tages alvorligt²⁸)?

3.2 Parallel: det virker. Vore makroøkonomiske modeller har videre det til fælles med den Ptolemæiske astronomi, at de kan bruges, at de *virker*.

(a) Lad os først minde om, hvor længe og sejt det ptolemæiske system fik lov til at være fremherskende, nemlig fra det andet århundrede til langt efter Kopernicus. Det var der tre grunde til: (1) Astronomerne og søfarerne foretrak de ældre *alfonsiske* astronomiske tabeller, som fulgte de ptolemæiske regneregler, fremfor de nyere *pruteniske* tabeller, som fulgte de kopernikanske regneregler og som snart viste mindst lige så mange unøjagtigheder som de alfonsiske.²⁹ (2) Ptolemæus' levetid blev kunstigt forlænget v.h.a. Tycho Brahes kompromissystem med jorden i verdens centrum, mens planeterne kredser rundt om solen og så først med solen rundt om jorden, som er kinematisk ækvivalent med det kopernikanske system, men uforklarligt i moderne fysisk forstand. Eksistensen af kompromissystemet gjorde det nemt for alle konservative videnskabsmænd op til endnu det 17. århundrede at holde sig fra den

theologische und physikalische Brisanz des Copernikanischen Systems.³⁰

(3) På universiteterne foretrak man Ptolemæus' system, bl.a. fordi det var nemmere at undervise i:

So können komplizierte Luftschwingungen, wie sie ein Geigenklang darstellt, durch einfache 'harmonische' Sinusschwingungen: Grundton mit Obertönen, zusammengesetzt werden. Das ist die berühmte Fouriersynthese. Niemand käme aber noch auf die Idee, ein schwingendes Luftteilchen würde wirklich alle diese Einzelbewegungen mitmachen! (J.T., s. 98.)

²⁶Se den typiske snak om, på hvilke punkter f.eks. ADAM-modellen er søgt udbygget og hvilke effekter i hver ny modelversion er indbygget, i et forsøg på at få en bedre beskrivelse af udviklingen i Rosted, s. 11.

²⁷For delområdet af produktionsfunktioner har allerede Leif Johansen gjort opmærksom på denne modsætning mellem formel virtuositet - og lukkede fabriksporte: *Econometric research on production functions is growing ever more sophisticated as far as functional forms and statistical methodology are concerned. Nevertheless the results of this research are not very comforting. The increasing degree of sophistication has, by producing many widely diverging results, served to reveal and expose our ignorance in this field rather than to produce firmly established knowledge. My feeling is that this may be due to the fact that, in spite of the sophistication in other respects, the basic notion of production functions has remained almost untouched. The crudeness of the concept of the production function, as it is being used in most econometric research, is accordingly out of proportion with the sophistication of the theories and methods by which it is surrounded. (L.J., Production Functions. An Integration of Micro and Macro, Short Run and Long Run Aspects. North-Holland, Amsterdam 1972, s. 1.)*

²⁸Det kendes også fra før-galileiske fysikere, denen die Übereinstimmung mit den Beobachtungen damals noch weniger wichtig war als einfache Prinzipien (Friedrich Hund, *Geschichte der physikalischen Begriffe*. Bibliographisches Institut, Mannheim 1972, s. 73).

²⁹J. Teichmann, s. 76, og F. Hund, s. 77.

³⁰J.T., s. 105.

Für den elementaren Universitätsunterricht war Copernicus' Werk zu schwierig.³¹

Det gjaldt også for den unge Galilei:

Bezeichnenderweise lehrte Galilei in seiner Eigenschaft als Mathematikprofessor in Padua das ptolemäische Weltbild (und zwar 1597, also zu einem Zeitpunkt, als das kopernikanische noch nicht verboten war!), während er seinen eigentlichen Interessen außerhalb der Universität nachging.³²

Er der lignende omstændigheder, som forlænger levetiden for de uholdbare makroøkonomiske modeller, bestemmer universitetsundervisningen og igen og igen indgav en marxistisk økonometriker som Leif Johansen, der vidste det bedre, nogle forsonlige toner?

(b) Prognoser leværes, og afvigelserne er kun sjældent dramatisk store; og hvis, så kan modellen hurtigt *tilpasses*. Modellens operationalitet og fleksibilitet dækker over modellens tåbelighed.

Det gælder ikke bare de makroøkonomiske modeller men også mange moderne IT-systemer; se hele diskussionen om softwarekrisen - eller, som yngste og mest tragiske eksempel, nedskydning af en civil iransk airbus med 224 voksne og 66 børn p.g.a. svigt af *Aegis - Battle Management System* den 3. juli 1988.³³ Det republikanske kongresmedlem Denny Smith kommenterer:

Our weapon designs forget about people... People may be able to operate complex systems under neat, tidy, peacetime exercise conditions but utterly unable to make them work effectively in the chaos of combat... Electronic means of identifying aircraft cannot deal with ambiguities, like the ambiguities present over the Persian Gulf on July 3... There were plenty of warnings that Aegis, along with many of our other weapons, was not what it was advertised as being. It never had the wondrous capabilities attributed to it, and never could have. Combat cannot be simplified and regulated by computers and 'artificial intelligence'.³⁴

Men det økonomiske områdes kaos og kamp kan forenkles og styres v.h.a. makroøkonomiske modelberegninger?

(c) Modellerne virker ideologisk. Dengang prægedes og konserveredes en bestemt tænkning om himlen og jorden; nu om mennesker og økonomi. Det kan være med eller imod modelbyggerens eller modelfortællerens samtykke. Et skægt eksempel for den sidstnævnte situation findes i Kirsten Hermanns og Mogens Niss' skolebog, hvor forfatterne meget omhyggeligt formulerer deres forbehold over for modellen:

Beskæftigelsesmodellen evalueres ved at dens parametre estimeres ud fra kendte data fra en bestemt periode, hvorefter parametrene, og derigennem modellen, accepteres hvis modellens resultater for beskæftigelsen i årene i estimationsperioden stemmer 'godt nok' med de virkelige værdier af beskæftigelsen. Ingen, heller ikke modelbyggerne, vil hævde at beskæftigelsesmodellen udtrykker en for et vestligt økonomisk system gældende naturlov. Dette understreges af at modellen, som tidligere nævnt, for tiden er ude af praktisk brug, fordi den ikke har givet tilstrækkeligt nøjagtige resultater for de seneste år.³⁵

³¹F. Hund, s. 77.

³²Sigrun Thiessen i M. Heidelberger, S. Thiessen, s. 191f.

³³Se Klaus Geisen, ... und Gottvater sandte einen Blitz - Menschen programmieren Tötungs-Computer, um menschliche Fehler auszuschalten, *die computer zeitung*, 19/17 (3. 8. 1988).

³⁴Denny Smith, Weapon systems that fail the ultimate test, *The Washington Post*, gengivet i *The Guardian*, 7. 8. 1988.

³⁵K.H., M.N. s. 80.

Afbalanceret: Modellen er autentisk. Den giver indblik i en tankeverden, som hører med til dagens Danmark. Godt undervisningsstof. Men modellen selv duer ikke, hverken til analyse af grundtræk i beskæftigelsessituationen, til afvejning af mulige politiske handlinger eller til praktisk fremskrivning! På forlagets omslag bliver det til:

I løbet af det sidste tiår er det i Danmark blevet almindeligt at forsøge at forudsige den økonomiske udvikling og konsekvenserne af forskellige forslag til økonomisk politik ved hjælp af matematiske modeller. Disse modeller tjener til at skabe overblik over det meget komplicerede net af årsagsmønstre og sammenhænge som det økonomiske udgør...³⁶

Hvad mon bliver hængende i elevernes og lærernes hoveder?

Et mere alvorligt eksempel fortælles af Sam Cole:

When the World Bank lends [a country] money, it expects that country to have a [repayment] plan, and usually persuades that country to accept World Bank forecasts. Since its forecasts are usually wrong, these countries end up with debts and no way to repay them.³⁷

Ifølge Cole er verdensbankens brug af optimistiske vækstprognoser tit indbygget i modellerne af politiske grunde.

Ved siden af disse tilfælde af velafgrænset ideologisk og politisk snyd findes der et ikke-afgrænset område af bedrag og selvbedrag:

- økonomiens og samfundets store aktører gemmes væk,
- illusioner om politisk handlemulighed opretholdes, hvor grundlaget ikke eksisterer, samtidigt med at
- betragtningen låses fast i modellens snørekors og synet på alternative muligheder (og behov) for handling nægtes, hvormed desillusion spredes om, at alvorlige økonomiske problemer ikke kan løses.

(d) Modellernes vanetænkning nedsætter eller blokerer accepten af nytænkning på området.

Her ville det være ønskeligt, hvis fagfolk kunne se nærmere på, hvordan f.eks. Budgetdepartementets ADAM-model har beriget eller indskrænket eksempelvis regeringens mellemfristede fremskrivninger, Budget-, og Finansredegørelser og den øvrige danske debat.

Rosted føler sig beriget af ADAM-modellen:

Der er ... behov for at supplere den generelle økonomiske politik med initiativer af strukturel art ... En kraftig opprioritering af erhvervs- og arbejdsmarkedsuddannelserne er også nødvendig og sidst, men ikke mindst, er der behov for en fuldstændig nyorientering af industripolitikken... Kan denne politik realiseres, viser modelberegningerne, at de økonomiske problemer gradvis kan løses...³⁸

Sådan! Berigelsen skrumper dog, når der på samme side tales konkret om finansredegørelsen, først og fremmest til de gamle konservative paroler:

Nulvækst i de offentlige udgifter, stigning i opsparingskvoten på 3-4 procentenheder, lønstigninger et par procent under udlandets, halvering af det nominelle renteniveau...

³⁶Ibid. bagklappetekst.

³⁷Se *Datamation*, s. 51f.

³⁸J.R., s.12.

I realiteten viste TV-Aktuelts høring om dansk økonomi den 7. januar 1988, hvor svært selv beskedne alternative forestillinger (som Per Kongshøj Madsens forslag til en bevidst importpolitik og en aktiv erhvervs politik under stikord *differentieret moms og flere offentligt ansatte*) har ved at blive indpasset i ADAM-modellen og hvor nemt det er at lade modelberegninger eller snak om modellerne dominere over en real samfundsdebat. Måske er det et paradeeksempel, hvordan IT-fremskridt i fjernsyn og i matematisk modellering på en gang udmøntes til
 plat og reklame hele vejen igennem.³⁹

3.3 Forskel: forhold til religion. Fjernsyn og makroøkonomiske modeller på den ene side og den matematisk-naturvidenskabelige fagtradition på den anden side giver anledning til at beskæftige sig med massefænomenet *religiøse tanker*. Lad os igen sammenligne med de ptolemæiske planetbaneberegninger. Ved siden af de ovenfor nævnte paralleller mellem makroøkonomiske prognosemodeller og de ptolemæiske planetbaneberegninger findes en afgørende forskel: I kernen havde nemlig Ptolemæus ret; han havde på eet punkt en rigtig opfattelse af planetbevægelserne, et punkt, som viste sig afgørende og grundlæggende for al videnskab i astronomien: at planeterne ingen subjektivitet har, at de ikke den ene dag kan beslutte at stå tidligere op og blive liggende længere den næste dag. Det var antireligiøst og en forudsætning for den videnskabelige betragtningsmåde.

Derimod synes kernen i de makroøkonomiske modeller netop at være antagelsen om, at menneskelige subjektive beslutninger er determineret af objektiverbare grænsenyttetbetragtninger - til trods for det omfattende materiale, som John Kenneth Galbraith og andre økonomer og sociologer har fremlagt gennem de sidste 50 år over, hvordan økonomiske beslutninger i realiteten tages, hvordan hensigter og mål formes i et samfund med rige valgmuligheder og med en udbygget infrastruktur af store foreninger og sociale traditioner.⁴⁰

Blandt de matematisk orienterede økonomer var det nok Leif Johansen, som tog udfordringen mest seriøst op - og indså dilemmaet:

We do not see much of organizations and large corporations in the models... Their roles are now more or less subsumed under behavioural equations concerning prices, wages, equations for the money and credit sector, investment behaviour, etc. ... In fact many organizations and large corporations are in a sort of game position... Politicians are, of course, very well aware of this, and in their political decision-making they are very much concerned with influencing organization, coming to explicit or implicit agreements, attempts to anticipate the reactions of various organizations and so on. I think the failure of econometric models to cope with such issues may give rise to a communication gap between the model experts and the policy makers.

For some purposes it would certainly be all right to continue to use the models as if organizations cannot drive the economy very far away from what would correspond to ordinary market behaviour, but in other contexts these deviations would be the heart of the matter. I think it would then be useful, so to speak, to open up the model by recognizing explicitly that certain decisions are made by organizations and large corporations in ways which cannot be represented by reliable behavioural equations.⁴¹

³⁹Se P.K.M., Et tag i røven, *djøfbladet* 7/88 (30. 3. 1988), s. 13-15.

⁴⁰Se J.K.G., *The Affluent Society*. Mentor Book, New American Library, New York 1984⁴.

⁴¹I.J., *Econometric models* ... s. 21f.

Han kommer så med nogle tekniske forslag til, hvordan man kan prøve at modellere situationens kerne med spilteoretiske midler, men tilføjer dog:

But game theory is hardly able to supply theories which are ready for applications in the same way as the more traditional types of equations in econometric models... I personally think there are some inherent difficulties in bargaining situations to which no 'solutions' in the ordinary sense can be found.⁴²

Denne ærlighed er bitter - og sjælden blandt de muntre matematisk-økonomiske fagfæller og fører langt bort fra de matematiske naturvidenskabers metoder og mål. De matematiske naturvidenskabers filosofiske betydning ligger netop i, at de - til forskel fra en ærlig betragtning af de makroøkonomiske modeller - ikke på forhånd opgiver muligheden for:

exakte Voraussagen über zukünftige Zustände materieller Systeme auf Grund der genauen quantitativen Darstellung der für den gegenwärtigen Zustand wesentlichen Parameter... Möglichkeit der Erkenntnis und exakten Formulierung von Gesetzen in der Natur und damit der Vorausberechnung von Naturvorgängen (Bewegungen und Prozessen).⁴³

Det matematisk-naturvidenskabelige fremskridt har over årtusinder i store træk været medvirkende til at nedbryde religiøse forestillinger, til at trække en skarpere kant mellem forløb og love, der er uafhængige af vore handlinger - og de forløb og virkninger vi selv frembringer. Det enkelte menneskes magtesløshed over for større ubegribelige magter, overfor den *usynlige hånds virke* blev således afløst af krav og mulighed for velafgrænset, mere eller mindre stor personlig ansvarlighed.⁴⁴ Derimod synes, at betydelige dele af den økonomiske litteratur gang efter gang har fundet nye religiøse formuleringer for at dække over de få menneskers forgodtbefindende og at bedøve de mange menneskers smerte over deres manglende mulighed for at udforme deres livsomstændigheder - økonomien - under forhold med privateje af hovedproduktionsmidlerne, med friheden for storkapitalen: I sidste ende er det eet fedt, om præsten prædiker om feudalherren som guds stedfortræder på godset, om Adam Smith prædiker de liberales credo, *The natural progress of opulence*,⁴⁵ eller om man griber til en matematisk formalisme, som er ude af stand til at genspejle og analysere de mest væsentlige økonomiske forhold: I mangel på viden om - og indflydelse på - hvordan de væsentlige beslutninger i økonomien dannes, ses bort fra de reelt eksisterende kreative friheder til formning og deformering af

⁴²Ibid.

⁴³Georg Klaus, Manfred Buhr (udg.), *Philosophisches Wörterbuch*. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1970⁷, s. 704f.

⁴⁴Imidlertid er det omtalt nedenunder i afsnit 4.3, at den nyere forcerede og videnskabeliggjorte teknikudvikling er medvirkende til, at sætte mennesker kunstigt tilbage til mørke tider med omgivelser af ukontrollerede magter; se her også ovenfor bidragene I-V, atomfysikkernes debat siden 40erne - og i nyere tid datalogernes tanker f.eks i Gro Bjerknæs, Pelle Ehn, Morten Kyng (udg.), *Computers and Democracy: A Scandinavian Challenge*. Avebury, Aldershot 1987; Pelle Ehn, *Work-Oriented Design of Computer Artifacts*. Arbetslivscentrum, Stockholm 1988.

⁴⁵Den usynlige hånd, som belønner accepten af kapitalisternes grænseløse frihed og egoisme med social velfærd og straffer bevidst social handling med fattigdom, hedder hos Adam Smith: *The natural course of things*. Efter indtagelsen af denne droge behøver individet ikke længere bære noget ansvar, eftersom hver eneste forretningsmæssige handling fører hen imod samfundets velstand; se f. eks. Adam Smith, *The Wealth of Nations*, Penguin Books, London 1974, s. 482f.

samfundsøkonomien og antages en rationalitet som ikke er der.⁴⁶ Det er således et tilbagefald i de før-ptolemæiske, religiøst prægede verdensforestillinger.

Her er det irrelevant, at den matematiske formalisme (med sine illusioner om styring og indflydelse ved samtidig kategorisk afvisning af systemoverskridende indgreb) er typisk socialdemokratisk præget og i mange henseender bestemt mere sympatisk end den rigide liberalisme, som helst overhovedet ingen offentlig styring ser og derfor på forhånd afviser de matematiske prognosemodeller som styringsværktøjer, som sket i den US-amerikanske Reaganadministration⁴⁷ og delvis også i Danmark (mest nok under den daværende finansminister Henning Christoffersen) efter tiltrædelse af VCQM-regeringen i 1982. Ligesom i andre situationer af teknologivurdering er mulige gode hensigter ingen undskyldning for teknologiske fejludviklinger.

Religionshistorisk, d.v.s. her: matematikhistorisk og modelhistorisk, er det interessant, at holde sig den tidsmæssige rækkefølge af de konjunkturer i den US-amerikanske økonomi klart for øje, sådan som de igen afspejler sig i de skift mellem grundorienteringer i den økonomiske politik - New Deal; 50ernes liberalisme; 60ernes og 70ernes forsøg på at styre; og så igen den ekstreme Reagan-Friedman-monetarisme - og f. eks. i de forskellige lærebogudgaver af en så sensibel og succesrig forfatter som Paul Samuelson:

I 1947 er mottoet Gibbs' *Mathematics is a Language*. Næppe en side uden matematiske formler.⁴⁸ Det giver det nye look, universitetskarrieren, rådgivningsfunktion hos Kennedy og nobelprisen i 1970. Men professor Samuelson har forstået

⁴⁶Se Douglas Hochstaders *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern*. Basic Books, New York 1985, især s. 232-296, med hans kommentarer til Donald Knuths metafont-koncept - formalisering og parametrisering af skrifttyper i en slags *kobbed machine*. Efter Hochstader undervurderer metafont-ideen mangfoldigheden i de menneskelige udtryksmuligheder ved skrifttyper, skuspillernes ansigter - eller, kan vi tilføje - økonomiske situationer. Hochstaders polemik kan meget godt bruges til på en anden måde og i analogi med den nyere debat om *kunstig intelligens*, *ekspertsystemer m.m.* at udtrykke forskel mellem *forskningsobjektet solsystemet*, hvor en tilstrækkelig dyb momentanalyse kan give relevant information om mulige fremtidige tilstande, og *forskningsobjektet samfundsøkonomien*, hvor formaliseringen svigter og hvor selv en dyb analyse af de kendte "A...A...A...A...A..." etc. - eller ansigter eller økonomiske forløb - ikke kan føre til specificering af relevante parametre for knopmaskinen, som vi bare skal dreje på for at generere udfaldsrum for fremtidige mulige tilstande. Det skyldes, at forholdsvis frie kreative evner, på godt og ondt, får lov til at udfolde sig.

⁴⁷Det forklarer måske, hvorfor *Datamations* før citerede amerikanske rundspørge kunne i realitet kun referere til ganske få makroøkonomiske modeller. Leif Johansen gav allerede i 1982 den følgende konjunkturanalyse for makroøkonomiske prognosemodeller: *Considered as a trend the development in the direction of more wide-spread use of econometric models will hardly be reversed. However, the trend is not quite stable or invulnerable. Lack of success, conspicuous failures, and inability to come to grips with important real problems because of inadequate formulations may drive the models more or less of the scene; political developments in the direction of more modest and less detailed targets for economic policy, and more reliance on free market mechanisms and simple rules for economic policy may also reduce the need for econometric models in connection with policy-making. I think we have seen some elements or tendencies in such directions in the last decade, after a period of more unproblematic progress.* (L.J., *Econometric models...* s. 14).

⁴⁸Fra P.A.S., *Foundations of Economic Analysis*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1947.

signalerne for 80ernes USA allerede i 1980, når den matematiske formalisme helt nedtones i de nye oplæg af hans *Economics*. Han skriver helt åbent i forordet, at brug af sine ældre udgaver er *bad economics*:

In a fast moving subject like economics, you'd be ill-advised to do so.⁴⁹

Og han giver selv et eksempel for modeskift:

The old appendix on *game theory*, interesting as that topic is for its own sake, had to go to make way for the new microeconomics of law, sociobiologic altruism, and entropy economics...⁵⁰

Som Friedrich Engels skrev:

Nun ist alle Religion nichts andres als die phantastische Widerspiegelung, in den Köpfen der Menschen, derjenigen äußern Mächte, die ihr alltägliches Dasein beherrschen, eine Widerspiegelung, in der die irdischen Mächte die Form von überirdischen annehmen. In den Anfängen der Geschichte sind es zuerst die Mächte der Natur, die diese Rückspiegelung erfahren... Aber bald treten neben den Naturmächten auch gesellschaftliche Mächte in Wirksamkeit, Mächte, die den Menschen ebenso fremd und im Anfang ebenso unerklärlich gegenüberstehen, sie mit derselben scheinbaren Naturnotwendigkeit beherrschen wie die Naturmächte selbst...

Wir haben aber mehrfach gesehn, daß in der heutigen bürgerlichen Gesellschaft die Menschen von den von ihnen selbst geschaffnen ökonomischen Verhältnissen, von den von ihnen selbst produzierten Produktionsmitteln wie von einer fremden Macht beherrscht werden. Die tatsächliche Grundlage der religiösen Reflexaktion dauert also fort und mit ihr der religiöse Reflex selbst... Es heißt noch immer: der Mensch denkt und Gott (das heißt die Fremdherrschaft der kapitalistischen Produktionsweise) lenkt. Die bloße Erkenntnis, und ginge sie weiter und tiefer als die bürgerliche Ökonomie, genügt nicht, um gesellschaftliche Mächte der Herrschaft der Gesellschaft zu unterwerfen. Dazu gehört vor allem eine gesellschaftliche *Tat*. Und wenn diese *Tat* vollzogen, ... dann erst verschwindet die letzte fremde Macht, die sich jetzt noch in der Religion widerspiegelt, und damit verschwindet auch die religiöse Widerspiegelung selbst, aus dem einfachen Grunde, weil es dann nichts mehr widerzuspiegeln gibt.⁵¹

Som sagt, eet fedt, om det er shamanens besværgelser, illusionære matematiske modeller - eller Samuelsons modefraser!

4. Uoverensstemmelser med det klassiske videnskabsbegreb

De følgende afvigelser fra de klassiske forestillinger om videnskab er påfaldende:

4.1 Ønsketænkning: Istedet for at se på virkeligheden som den er, gør man sig vilkårlige, ideologisk bestemte forestillinger, som er frie for teoretisk begrundelse og empirisk kontrol.

(a) Ganske vist findes også mange idealiseringer i den matematiske naturvidenskab. Men her kræver vi dog en mål-middel-vurdering: Vi kan se bort fra et penduls farve, når vi er interesserede i svingningernes forløb, og ved, at eksempelvis lysrefleksion eller varmeabsorption har en indflydelse på svingningerne i en størrelsesorden, der efter al erfaring kan negligeres i forhold til vores målestok, ur etc. Vi kan se bort fra luftmodstand, når vi eksperimenterer med blykugler

⁴⁹P.A.S., *Economics*. McGraw-Hill, New York 1980¹¹, s. vii.

⁵⁰Ibid. s. viii.

⁵¹Marx-Engels-Werke 20, s. 294f.

for at finde ud af, om der er en faldlov mellem s og t , og om den er lineær eller kvadratisk.

(b) Hvor er til gengæld den teoretiske begrundelse og den empiriske kontrol, mål-middel-vurderingen, når et stort antal forholdsvis frie økonomiske agents - investorer og konsumenters - subjektive beslutninger modelleres, som om de handler under økonomisk tvang, eller som om staten og lovgivningen overhovedet havde en væsentlig indflydelse på økonomiens udformning under de nuværende forhold?

OK:

* Måske er noget anvendeligt i de fattige udviklingslande, hvor nødens økonomi ikke tillader mange valgmuligheder.

* Måske findes der også i Danmark nogle mellemklasselag, som føler sig så truet på deres eksistens, at de er villige til at anvende de mest rabiate midler for at følge grænsenytteteovervejelser.

* Der findes ganske sikkert midler til udformning og prognostisering af økonomien, hvor en betydelig sektor af produktionen er samfundseje i forskellige former.

Men ellers virker modellernes grundantagelse for Vesteuropa absurd, hvor kapitalen er i så stor overflod og fri og bevægelig, og hvor konsumenternes behov er dækket eller er nemt at dække.

Så længe så enorme kapitalmængder suser omkring og søger efter anvendelse, anlægges store dele af kapitalen irrationelt og omskifteligt. Og lige så længe hersker hensynsløshed og uforudsigelighed.

Så længe en stor del af de private indkomster anvendes på transportmidler og til rekreation som kompensation for, forsvar mod og reaktion på en vilkårligt og uhen-sigtsmæssigt organiseret arbejds- og produktionsverden, så længe andre dele af de private indkomster bruges spontant og uden kulturelle, æstetiske, sundhedsmæs-sige, økologiske eller etiske hensyn men kun til reklame- og modeprægede facader og underholdning, forbliver massekonsumen omskiftelig og uforudsigelig.

4.2 Manglende kausalitets- og tidsbegreb: Den matematisk-naturvidenskabelige tanke bygger på et tidsbegreb, der er irreversibelt og for hver proces har en karakteristisk størrelse. Den tillader ikke, at virkninger indtræffer før årsagerne, og at der ekstrapoleres en proces langt udover dens karakteristiske tid. Her er måske nogle eksempler fra strømningsmekanikken og den numeriske hydraulik af interesse:

(a) Inden for meteorologien kender man kun til måling af nuværende eller tidligere atmosfæriske forhold. Det tillader korttids- og mellemtidsprognoser (op til 7 døgn). Derimod er de hændelser, der er afgørende for den længere vejrudvikling - eksempelvis dannelse og drejningsretning af store forstyrrelser over nord-vest-atlanten - endnu ikke indtruffet, når man skal stille sin prognose. Vi kender ikke mekanismen for disse fluktuationer, om den er rent termodynamisk-tilfældigt eller deterministisk-kaotisk. I hvert fald findes der momentant ingen teori, som kunne give mere end hverdagsforstand. Derfor kaldes vejrprognoser for et længere tids-rum end 5-7 døgn *uvidenskabelige*.

(b) Også korttidsvejrprognoser er af forskellig videnskabelig status. Indtil Bjerknes' og Richardsons banebrydende arbejde for 70 år siden måtte man nøjes med

en rent statistisk bearbejdning af måleresultater: Efter den kriminologiske daktylografis forbillede søgtes en match til de målte geografisk fordelte atmosfæriske forhold blandt de tidligere vejrkort. Og så kunne man fremskrive de følgende dage ved at postulere en gentagelse. Metoden var ikke særlig god; målestationer var så talrige og nøje, kombinatorik og kompleksiteten så stor, at hver dag bragte en ny, hidtil ukendt og endnu ikke registreret forbryder. Men uden teori kunne afvigelseernes betydning ikke vurderes. Og med teori (og senere den nødvendige regnekapacitet) kunne vejret lige så godt nyberegnes ud fra de nuværende data uden at søge efter mekaniske gentagelser.

Pattern Recognition Ansatz og gentagelsesprincip træder her så åbenlyst og mekanisk frem, at næppe nogen økonom vil falde for sådan noget vrøvl - selv hvis det virkede i meteorologien. Kun fordi den samme primitive mekanisme er bedre skjult i den matematisk oppustede formalisme, kan makroøkonomiske prognosemodeller sælges som noget videnskabeligt.

(c) Der er en grundlæggende sammenhæng mellem stabilitet og karakteristisk tid, som må ikke glemmes: Ved et moderne containerskib er f. eks. den karakteristiske reaktionstid 0.5 til 5 sekunder. Længere rækker forudberegningen af skibets reaktion på styrekontrol ikke. Systemet har ingen stabilitet i sig selv. Forudberegning uden brug af styring er meningsløs.

4.3 Manglende videnskabsetik: Her er de makroøkonomiske prognosemodeller i familie med naturvidenskabelig-baseret storteknologi:

(a) Risikable teknologier:

* Alle ved, at f. eks. nedbrydningsprocesser ved ledninger og andre havari-muligheder ikke kan forudberegnes ved en atomreaktor.

* Virkningsmåden af store komplekse programpakker og informationssystemer som børscomputere kan teoretisk ikke forudbestemmes.

* Fremtidige medicinske, biologiske, økologiske og kulturelle virkninger af genteknologien er ukendte.

* Kontingensen, usikkerheden ved store teknologier medfører i stigende grad, at samfundet, borgerne selv, skal afprøve ikke-kalkulerbare risici som forsøgskaniner.

* En økonomisk prognose og politik, som ophæver kontingensen til lov og frasiger sig retten og midlerne til reel indflydelse på samfundsøkonomien, er et værdigt sidestykke til en ansvarsløs teknologiudvikling.

(b) Men igen en lille forskel:

* Dataloger og naturvidenskabsmænd kunne og kan træde frem og afsløre fusk fra deres egen disciplin, fra deres egen butik. De går imod atombomber, kerneenergi, SDI. De kan sige fra og gør det også.

* Matematikere og økonomer synes derimod at være meget mere bundne til *spilletts regler*: Matematikere skal holde sig til den matematiske side. Økonomer må af og til diskutere alternative økonomiske modeller og alternativ økonomisk politik, en sjælden gang også kontroversielt. Men der forlanges fortsat en vis enighed om grundlæggende forestillinger og målsætninger: nærmere bestemt en faglig konsensus om at give afkald på nødvendige samfundsmæssige målsætninger ved at nøjes med den platte parole om at regne mere præcist og at producere mere.

* Måske er det nemmere for dataloger og naturvidenskabsfolk at gå en oppositionel vej, fordi de har en faglig retræteposition, mens matematikere og samfundsfolk er mere udsatte, siden matematikerens faglige legitimation til at udtale sig anfægtes og økonomens systemsprængende udtalelse straffes.

5. Noget godt

Hvordan kan nogle mennesker alligevel tage de makroøkonomiske prognosemodeller alvorligt?⁵² Kan vi ikke sige noget godt (til slut)?

Jo.

(a) Der er særdeles inspirerende metodologiske diskussioner f.eks. mellem økonometrikere og fagfolk indenfor matematisk statistik⁵³ om forhold mellem

- den virkelige datafrembringende proces
- teorien
- den teoretiske model
- de observerede data
- den estimerbare model
- den sandsynlighedsteoretiske model
- den empiriske økonometriske model.

Det filosofiske hoved bag disse diskussioner er tilsyneladende en anden norsk økonometriker, Trygve Haavelmo, ligesom Leif Johansen en student af Ragnar Frisch. Haavelmo tematiserede allerede i 40'erne forskellen mellem, groft sagt, de data vi kan bruge til at publicere statistiske årbøger, makroøkonomiske vurderinger og prognoser og andre kunstige og hypotetiske afbildninger af den økonomiske realitet - og de data, som er i hovederne på samfundsaktørerne. Han skelner mellem to forskellige måder hvorpå de data fremkommer, nemlig fra:

(1) experiments that we should like to make to see if certain real economic phenomena - when artificially isolated from 'other influences' - would verify certain hypotheses, and

(2) the stream of experiments that Nature is steadily turning out from her own enormous laboratory, and which we merely watch as passive observers...

In the first case we can make the agreement or disagreement between theory and facts depend upon two things: the facts we choose to consider, as well as our theory about them... In the second case we can only try to adjust our theories to reality as it appears before us. And what is the meaning of a design of experiments in this case? It is this: We try to choose a theory and a design of experiments to go with it, in such a way that the resulting data would be those which we get by passive observation of reality. And to the extent that we succeed in doing so, we become master of reality - by passive agreement.

Now if we examine current economic theories, we see that a great many of them, in particular the more profound ones, require experiments of the first type mentioned above. On the other hand, the kind of economic data that we actually have belong mostly to the second type.⁵⁴

⁵²Se mediedebatten op til og efter TV-A's-høring om dansk økonomi den 7.1.1988.

⁵³Se Aris Spanos, *Statistical Foundations of Econometric Modelling*. Cambridge University Press, Cambridge 1986; f.eks. s. 15-22 og s. 659-672.

⁵⁴T.H., The probability approach in econometrics, *Econometrica* 12 (1944), supplement; citeret efter A. Spanos, s. 13f.

Senere har T.H. præciseret sin vision om hvordan en sammenhæng kan etableres mellem mindre absurde modeller (*relations that could be more accurate and have more explanatory value*) - og alligevel måske målelige data (at få tilgang til de relevante data er jo stadig problemet):

if we can develop more explicit and a priori convincing economic models in terms of these variables (nemlig *forventninger*, BBB), which are realities in the minds of people even if they are not in the current statistical yearbooks, then ways and means can and will eventually be found to obtain actual measurements of such data.⁵⁵

(b) Økonometriske analyser af fortiden er bestemt meget interessante og lærerige (ligesom analyser af kardiogrammer - men næppe prognoser af kardiogrammer for patienter som unddrager sig lægens behandling): at finde ud af, hvilken indflydelse, der har gjort sig gældende; hvilke afvigelser og fluktuationer, der er tilfældige - og hvilke, der er systematiske afvigelser?

Her er det skægt, at de nye datalogiske redskaber mere og mere skal dække over det manglende teoretiske og datamæssige grundlag. Og måske kan nye midler som netværk og grafik her virkelig bruges på en forholdsvis fornuftig måde, nemlig til hurtig beskrivelse / visualisering af situationsbilleder som ovenfor ved Lawrence Klein. Fra de andre økonomer, som satser på samme ide, citeres i *Datamation* Faye Duchin fra New York University:

Our model cries out for an implementation using computer graphics. We need maps of the world with individual [production] sectors colored for instant comprehension... I've spent months of my life trying to figure out what the numbers mean. If we were able to look at the results graphically, the information would be available on a much more intuitive level... With the next generation of models, I think we've realized the structure of the model has to bear scrutiny. It can't be a black box.⁵⁶

(c) Økonometriske analyser, der ikke finder fabriksportene lukket, er særdeles interessante.⁵⁷

(d) Den dag, befolkningen har vundet indflydelse på økonomiens udvikling, vil samme metodik, som nu virker så tåbelig, være af stor betydning, f.eks. for at minimere centrale indgreb og central styring til fordel for størst mulige rettigheder, som skulle forblive ved de lokale producenter og borgerne. Lad os håbe - ikke alene for *videnskabens skyld* - at denne demokratiske vision af Ragnar Frisch også en dag bliver realitet i dette land.

⁵⁵T.H., The role of the econometrician in the advancement of economic theory, *Econometrica* 26 (1958), 351-357.

⁵⁶*Datamation* s.44.

⁵⁷Se f.eks. L. Johansen, *Production Functions*, l.c.

VII. MATEMATISKE MODELLER - VEJLEDNING ELLER VILDLEDNING? II.

Videnskabeliggørelsen af samfundet og de EDB-tekniske muligheder har ført og vil i fremtiden i endnu højere grad føre til en stigende brug af matematiske modeller. I professionelle kredse vil opmærksomheden på modelkonstruktørernes metodiske og erkendelsesteoretiske problemer derfor også være stigende. Fordi filosofiske grundlagsproblemer undertiden vil fremtræde som praktiske kommunikationsproblemer i modelværkstederne.

Fremstillingen her drejer sig imidlertid ikke om modelkonstruktørernes professionelle problemer ved modeludviklingen. Den drejer sig heller ikke om det traditionelle videnskabsteoretiske problem om forskellige teories erkendelsesmæssige status eller måderne arbejde med matematiske modeller kan indgå i teoriudvikling på. Den tager bl.a. sit udgangspunkt i den konstatering, at visse matematisk formulerede teorier, som f.eks. Newtons mekanik, eksisterer og praktisk anskuet fungerer i visse situationer. Og så drejer den sig om vores allesammens mere eller mindre udtalte problemer med, som forbrugere af og ofre for de færdige matematiske modeller, at bedømme deres troværdighed. Vejleder eller vildleder de professionelle os?

Artiklen tilbyder naturligvis ikke noget ja/nej svar på dette spørgsmål. Desværre tilbyder den heller ikke noget katalog over hvilken slags modeller, der er til at stole på, og hvilke ikke. Men den tilbyder en grovskelnen mellem ad-hoc og teoribaserede matematiske modeller, som er afgørende for, ikke om modellerne er troværdige eller ej, men for hvilken slags muligheder der er for at kontrollere deres troværdighed. Teoribaserede modeller lader sig kontrollere både empirisk og teoretisk, ad-hoc modeller kun empirisk.

Artiklen er bygget skematisk op for lettere at kunne anvendes i undervisningsforløb, bl.a. i gymnasiet. Den består af 6 sætninger og 3 konklusioner, efterfulgt af begrundelser for dem.

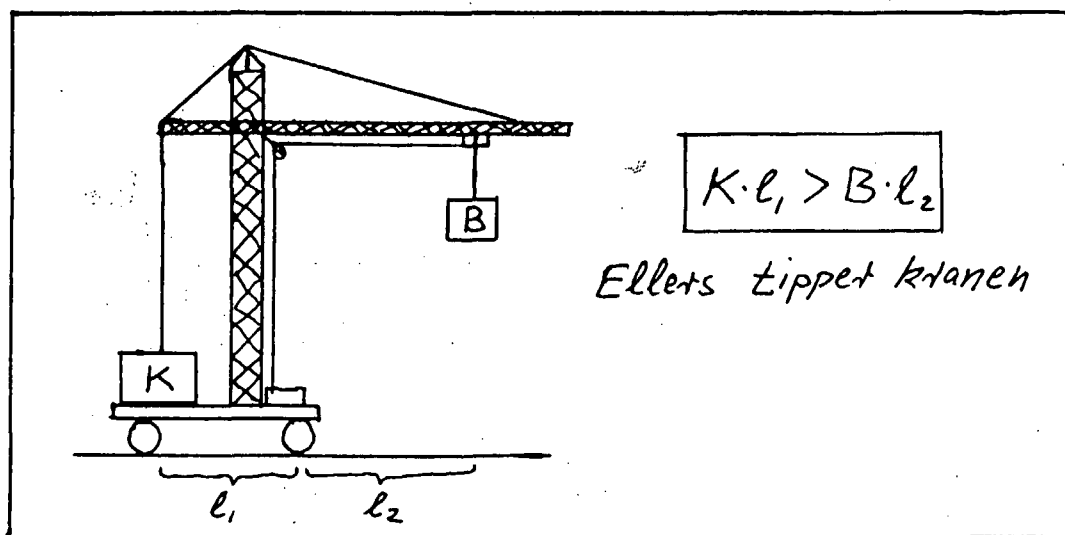
SÆTNING 1. *Matematiske modeller kan ikke afvises.*

Hvis nogen skulle have den forestilling, at matematiske modeller er uanvendelige, virkelighedsfjerne abstraktioner eller sort tale og bluff, bør de kaste et blik på tegningen af byggekranen. Den er der for at minde dem om noget, de godt ved. Nemlig, at der er en hel del ting, der kan regnes ud ved hjælp af matematik. Og at det undertiden kan være til stor praktisk nytte.

Hvis krankonstruktionen kun vejer meget lidt i forhold til belastningen B og kontravægten K , er betingelsen for, at kranen ikke tipper om forhjulene, at $K \times l_1$ er større end $B \times l_2$. Det følger af vægtstangsreglerne i den klassiske mekanik.

Sikkerhedsforskriften for, hvor stort udhænget må være for en given kran med en given belastning, er ikke noget, man har eksperimenteret sig frem til ved at vælte

Foredragsmanuskript af JHJ. Pædagogisk tilspidset fremstilling af hovedpointerne i artikel med samme overskrift i *Naturkampen* nr.18 (december 1980).



kraner. Det er noget, man har regnet sig frem til ved hjælp af en matematisk model. Og både bygherren og bygningsarbejderen er interesserede i og drager nytte af den samme udregning.

Man kan altså ikke afvise matematiske modeller.

SÆTNING 2. *Matematiske modeller er ikke til at stole på.*

Hvis nogen skulle have den forestilling, at matematiske modeller udgør sikre holdepunkter i en ellers svært håndterlig tilværelse, bør de erindre sig deres egne skoleerfaringer. Var det ikke sådan i matematiktimerne, at hvis matematik overhovedet blev anvendt på noget uden for sig selv, da var der tale om, at en ydre virkelighed blev inddraget til belysning af matematikken, ikke at matematikken blev inddraget af hensyn til forståelsen af en ydre virkelighed?

Og var det ikke sådan, at også fysiktimernes matematiske formler angående f.eks. gnidningsløse trisser og masseløse snore var en uvirkelig fantasiverden?

Skolen leverer ikke slående eksempler på, at matematik (udover regning) umiddelbart kan bruges til noget afgørende. Og når det er sådan, er der vel grund til at være skeptisk over for matematikkens brugbarhed i det hele taget. Erfaringer med ekspertuenigheder om f.eks. risikoberegninger for atomkraftværker og økonomiske og meteorologiske prognose-modeller peger i samme retning.

Man kan ikke stole på matematiske modeller.

KONKLUSION 1. *Da 1) matematiske modeller får stigende betydning, og da 2) hverken blind skepsis eller blind tiltro rækker, er der behov for konkret indsigt i forskelligartetheden af matematiske modeller.*

Et godt udgangspunkt for vurdering af den samfundsmæssige brug af matematiske modeller i forskellige sammenhænge er motivfortolkning. Hvem betaler for det? Og hvilke interesser varetager de? Men motivfortolkningen alene slår ikke til over for det politiske problem, som magtudøvelsen gennem matematiske modeller udgør. Desværre, må man ud fra et demokratisynspunkt sige.

Bygningsarbejderen og bygherren har grundlæggende forskellige interesser på byggepladsen. Alligevel vil sikkerhedsforskriften for kranudhænget ikke være et afgørende mellemværende. Fordi den slags kan regnes ud. For forskrifter, der har med blæse- og stormvejr at gøre, har bygningsarbejderen derimod mindre grund til at stole på bygherrens udregninger. Fordi de ifølge sagens natur kan være behæftet med uklare afgrænsningsproblemer. Og fordi bygherren kan have interesser i at tage chancer på bygningsarbejderens bekostning. For at kunne gøre sine interesser gældende med styrke, må bygningsarbejderen bl.a. have fornemmelse for den forskelligartede baggrund for de forskellige sikkerhedsforskrifter.

Som på byggepladsen er det også i de bredere sammenhænge. Nogle gange er de matematiske modeller hævet over de umiddelbare interesse modsætninger. Nogle gange fungerer de som rent dække over skjult interessevaretagelse. Og oftest er der tale om, at modellerne både indeholder dele, der ikke er til diskussion, og dele, hvis forvaltning er en udpræget tillidssag.

Hverken blind skepsis eller blind tiltro rækker. Derfor er der behov for, at mange - bl.a. via uddannelsessystemet - får konkret indsigt i forskelligartetheden af matematiske modeller.

SÆTNING 3. *Matematiske modeller ser ens ud.*

En af vanskelighederne ved at få indsigt i forskelligartetheden af matematiske modeller er, at de ser ens ud. Til illustration er her for kortheds skyld vist en række udsagn i form af ligninger:

$$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$E = m \times c^2$$

$$K = k \times x$$

$$R = S \times K$$

For den uindviede repræsenterer alle disse ligninger slet og ret bogstavregning. Og også for konstruktørerne af modeller, hvor nogle af ligningerne kunne tænkes at optræde sammen med andre ligninger, vil de, bortset fra den første ligning, matematisk set fungere ens.

Men de fem udsagn er af væsensforskellig karakter. Den første ligning er rent matematisk. De to bogstaver a og b kan referere til hvad som helst, der kan udtrykkes ved tal. Ligningen er en følge af regnereglerne for tal. Den anden ligning udtrykker Pythagoras sætning, at kvadratet på hypotenusen er lig med summen af kvadraterne på katederne i en retvinklet trekant. Det er en grundlæggende

geometrisk egenskab ved plane flader. Sætningen gælder f.eks. ikke for retvinklede trekanter på en kugleoverflade. Den tredje ligning udtrykker Einsteins energi - masse ækvivalens. Den gør krav på at have fundamental fysisk gyldighed. Den fjerde ligning er Hook's lov, at kraftpåvirkningen, K , og strækningen, x , af f.eks. et stykke ståltråd er proportionale. Loven er en tilnærmelse, der alt efter omstændighederne kan være mere eller mindre berettiget. Den sidste ligning udtrykker, at risiko er lig med sandsynlighed gange konsekvens. Den benyttes i risikoanalyser, f.eks. ved sammenligning af kernekraftværker med anden energiteknologi. Ligningen forudsætter, at konsekvenser meningsfuldt kan gøres op i talmæssige størrelser. Herefter repræsenterer den nærmest en definition af begrebet risiko, hvis relevans kan diskuteres.

De fem ligninger har, betragtet som udsagn om virkelige forhold, helt forskellig karakter. Men tages der afsæt i dem ved beregninger uden at deres forskelligartede udspring erindres, kommer regningerne til at virke ens. Det forholder sig på samme måde med større matematiske modeller. De ser ens ud, selvom deres karakter er væsensforskellig.

SÆTNING 4. *Forskellene i matematiske modellers karakter (og funktion) bliver tilsløret i skolen, fagene og samfundet.*

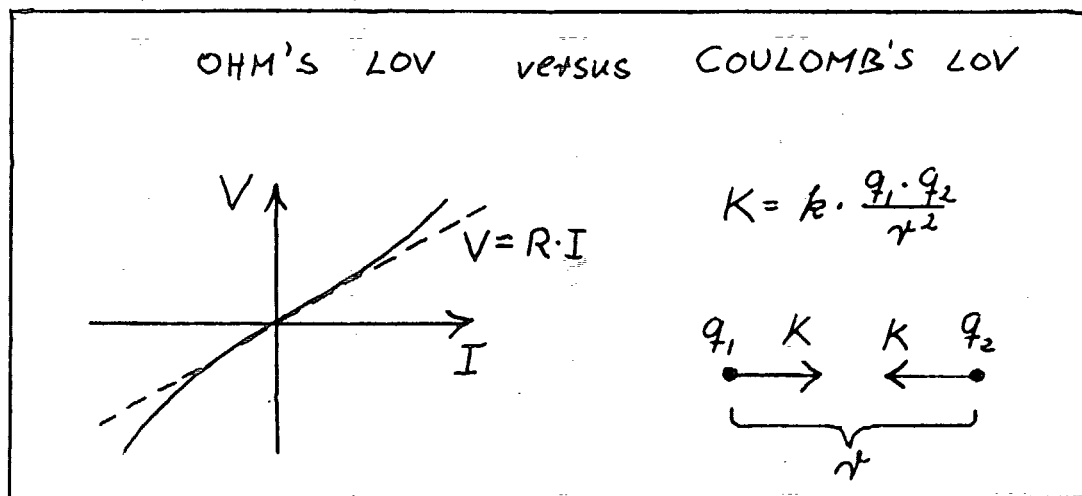
Selvom de matematiske modeller har meget forskellig karakter, formidles forskelligartetheden hverken i skolen, inden for fagene eller bredere i samfundet. Tværtimod er der tale om, at tvivlsomme modeller låner autoritet ved i det matematiske ydre at ligne mere troværdige modeller.

Hvorfor forskellene bliver tilsløret, skal ikke diskuteres her. Det vil føre for vidt. Jeg vil indskrænke mig til at illustrere, hvad jeg mener med, at de bliver tilsløret, ved hjælp af to eksempler:

Eksempel 1: I gymnasiets fysikundervisning fremstår Ohm's lov og Coulomb's lov som to ens fungerende hovedhjørnestene i elektricitetslæren. De er på samme måde vigtige formler i formelsamlingen som udgangspunkt for at regne en del af fysikopgaverne. Men de er væsensforskellige, selvom jo også sprogbrugen sidestiller de to love.

Ohm's lov udsiger, at spændingsforskellen, V , mellem to ender af f.eks. en modstandstråd og strømstyrken, I , gennem tråden er proportionale. Proportionalitetskonstanten, R , kaldes så trådens elektriske modstand. Loven følger alene af, at spændingsforskellen skifter fortegn, når strømmen vendes. Det ses på figuren, hvor den fuldt optrukne kurve viser en sammenhæng mellem V og I , der er i overensstemmelse hermed. Og en sådan kurve kan altid ved tilstrækkelig små værdier af V og I tilnærmes en ret linie (den stiplede) vilkårligt godt. Ohm's lov gør ikke krav på almen gyldighed, selvom den for mange praktiske formål er en god tilnærmelse. Den er netop som Hook's lov en tilnærmelse, der alt efter omstændighederne kan være mere eller mindre berettiget.

Coulomb's lov udsiger, at den gensidige kraftpåvirkning, K , mellem to elektrisk ladede partikler er proportional med begge partiklers ladninger, q_1 og q_2 , og omvendt proportional med kvadratet på afstanden, r , mellem de to partikler. Inden



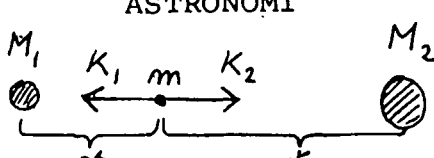
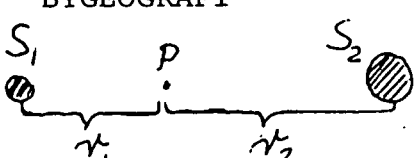
for rammerne af den klassiske elektrodynamik (Maxwell's ligninger) gør den krav på eksakt gyldighed. F.eks. er K ikke kun tilnærmelsesvis omvendt proportional med kvadratet på r . To-tallet i udtrykket r^2 gælder eksakt. Det hænger logisk tvingende sammen med, at rummet har tre dimensioner. Helt præcist og ikke kun tilnærmelsesvist.

Hvis givne målinger passer dårligt med Ohm's lov, vil det være nærliggende at udvide modellen til $V = R \times I + M \times I^3$ som en bedre tilnærmelse til den foreliggende situation. En sådan mulighed for modifikation foreligger ikke umiddelbart i tilfælde af uoverensstemmelse mellem Coulomb's lov og en anderledes målt sammenhæng mellem K og r . Det nærliggende her er at bortforklare målingerne. F.eks. ved at henvise til oversete biomstændigheder, der har virket forstyrrende. Ellers er opgaven ikke at ændre på Coulomb's lov isoleret set, men at lave om på hele den teoribygning, som den klassiske elektrodynamik udgør. Og omfortolke den store mængde af forskelligartede fænomener, der i sammenhæng med teoribygningens konsolidering har ladet sig forstå herudfra.

Til trods for væsensforskellene mellem Ohm's lov og Coulomb's lov, er det mit indtryk, at eleverne i gymnasiet normalt lærer at opfatte dem som to ligninger for to forskellige fænomener, men med samme status.

Eksempel 2: Det andet eksempel er ikke hentet fra skolen men fra universitetsverdenen. Det handler om en tradition inden for bygeografi. I rammen er eksemplet fremstillet pædagogisk forenklet, men ikke urepræsentativt, synes jeg.

Problemet om meteoren med massen m falder mod kloden med massen M_1 i afstanden r_1 eller mod kloden M_2 i afstanden r_2 lader sig løse ved anvendelse af Newtons gravitationslov: tiltrækningskraften, K , fra en klode på meteoren er lig med en naturkonstant, G , gange klodens masse, M , gange meteorens masse, m , divideret med kvadratet på afstanden mellem meteoren og kloden. Meteoren

ASTRONOMI	versus	BYGEOGRAFI
		
<p><u>Problem:</u> Til hvilken side falder meteoren m ?</p>		<p><u>Problem:</u> I hvilken by handler personen p ?</p>
<p><u>Løsning:</u></p>		<p><u>Løsning:</u></p>
$K_1 = G \frac{m \cdot M_1}{r_1^2} \quad K_2 = G \frac{m \cdot M_2}{r_2^2}$		
<p>Hvis $M_1/r_1^2 > M_2/r_2^2$ falder meteoren til venstre.</p>		<p>Hvis $S_1/r_1^2 > S_2/r_2^2$ handler personen til venstre.</p>
<p>Hvis $M_1/r_1^2 < M_2/r_2^2$ falder meteoren til højre.</p>		<p>Hvis $S_1/r_1^2 < S_2/r_2^2$ handler personen til højre.</p>

falder mod den klode, der trækker mest i den.

Problemet om, hvor personen i afstanden r_1 fra byen med størrelsen S_1 og i afstanden r_2 fra byen med størrelsen S_2 handler, behandles i princippet undertiden i bygeografi som antydnet. Og det sker under navnet *gravitationsmodel*, som jo lægger op til den sidestilling, der er foretaget i rammen.

Der er ikke noget forkert i at sammenfatte nogle bygeografiske data i en matematisk formel. Det kan være både praktisk og overbliksgivende. Men det er vildledende, hvis nogen bringes til at tro, at der herved er etableret en beregningssituation svarende til den newtonske mekanik, fordi den matematiske formel udvendigt og formelt ligner Newton's gravitationslov. Den bygeografiske model har status som Ohm's lov, den astronomiske som Coulomb's. I bygeografien tilpasses formlerne løbende til data. F.eks. ved at ændre r^2 til $r^{1.8}$ el.lign. I Newton's gravitationslov gælder to-tallet i r^2 eksakt. Det hænger som i Coulomb's lov logisk tvingende sammen med, at rummet har tre dimensioner.

Det er ikke mit indtryk, at der normalt gøres opmærksom på den kvalitative forskel til newtonsk mekanik, når der i den omtalte bygeografiske tradition arbej-

forskel til newtonsk mekanik, når der i den omtalte bygeografiske tradition arbejdes med *gravitationsmodellen*. Tværtimod lånes der uberettiget autoritet fra den newtonske mekanik ved brug af ordet.

KONKLUSION 2. *En grovskelnen burde introduceres. Bl.a. i undervisningen i gymnasiet, mellem teoribaserede matematiske modeller og ad-hoc matematiske modeller.*

De flere og flere eksperter, som samfundsudviklingen fører med sig, og deres stigende brug af matematiske modeller, gør en øget opmærksomhed på de matematiske modeller demokratisk nødvendig. Da hverken blind skepsis eller blind tiltro rækker, er der behov for, at så mange som muligt kan blande sig ud fra konkret indsigt i forskelligartetheden af matematiske modeller. Og da der jo er grænser for, hvad den enkelte kan overkomme at sætte sig ind i, må indsigten tilvejebringes gennem pædagogisk udvalgte eksempler. Bl.a. i undervisningen i gymnasiet.

Da de matematiske modeller umiddelbart ser ens ud, og da dette for det meste medfører en tilsløring af deres forskelligartethed nærmere end at virke som en udfordring til at synliggøre forskelligartetheden, er der behov for at angribe sagen ret håndfast til en start. Der bør introduceres en grovskelnen. Der bør skelnes mellem *teoribaserede matematiske modeller* som Coulomb's lov og den astronomiske model til den ene side og *ad-hoc matematiske modeller* som Ohm's lov og den bygeografiske model til den anden.

Med teoribaserede matematiske modeller mener jeg modeller, der er sammenvævet med eller udledt som specialanvendelse af en bredere funderet matematisk formuleret teori. I modsætning hertil tager ad-hoc matematiske modeller udgangspunkt direkte i den foreliggende kontekst for at sammenfatte den i kompakt matematisk sprog. Det empiriske belæg for ad-hoc modellen hentes i den foreliggende situation, medens den teoribaserede model indirekte støtter sig til den bredere mængde empiri som gennem hidtidige modelanvendelser af teorien har bidraget til teoriens etablering og konsolidering.

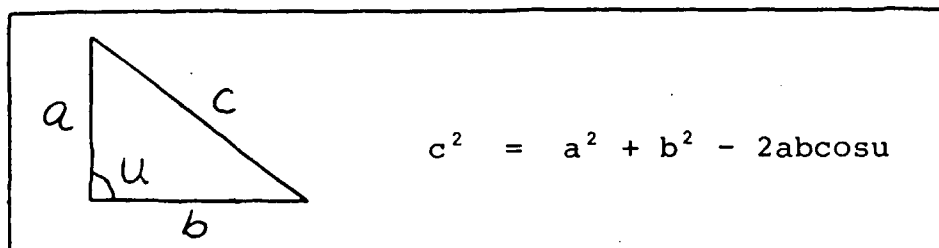
Er det ikke trukket hårdt op? Findes der ikke alle mulige glidende overgange? Jo, men for at orientere sig er det nødvendigt at være opmærksom på yderpunkterne. Frakender jeg ikke (som fysiker) alt andet end fysik teoretisk status? Nej, men det er rigtigt, at netop fysikkens teoridannelser på godt og ondt udmærker sig ved at være udviklet i sammenhæng med matematikken. Andre teorier er ikke på samme måde formuleret matematisk i selve deres udgangspunkt. Bortset fra geometri, køteori, populationsgenetik og ?? Og spillet omkring de matematiske modeller afhænger af, om de refererer til netop en matematisk formuleret teori eller ej.

SÆTNING 5. *Teoribaserede matematiske modeller kan underlægges både empirisk og teoretisk kontrol, ad-hoc matematiske modeller kun empirisk.*

Hvilken betydning har da den indførte skelnen? Er teoribaserede matematiske modeller mere troværdige end ad-hoc matematiske modeller? Mere virkeligheds-

tro? Nej, ikke i sig selv, fordi der ved enhver modeldannelse idealiseres. Der ses bort fra en række forhold både for at gøre modeldannelsen mulig og for at gøre den simpel. Og en teoribaseret matematisk model kan være så idealiseret, at den er vildledende i en given praktisk sammenhæng. Medens en ad-hoc matematisk model kan være troværdig ved at være så udbygget, at det nærmer sig en total kortlægning af det modellerede fænomen.

Forskellen ligger i, hvilke slags muligheder der er for at kontrollere modellernes troværdighed. Vilkårene for at bedømme modellernes idealisationer er forskellige.



Teoribaserede matematiske modeller kan til forskel fra ad-hoc matematiske modeller kontrolleres teoretisk. Til illustration af, hvad der menes hermed, er der i rammen vist en tilnærmelsesvis retvinklet trekant. Lad os tænke, at den indgår i en bygningskonstruktionsmodel. Og at vi i konstruktionsudregningerne antager, at den er retvinklet, d.v.s. benytter at $c^2 = a^2 + b^2$. Herved begås en beregningsfejl, da ingen trekanter i virkelighedens verden er ideelt retvinklede. Og hvis vi kun havde den matematiske model $c^2 = a^2 + b^2$ til rådighed, måtte vi, før bygningen var opført, indskrænke os til en løs vurdering af konsekvenserne af, at vinklen u f.eks. kan variere mellem 89° og 91° . Men da den matematiske model *retvinklet trekant* er indeholdt som specialtilfælde af den bredere teori om plane trekanter i det hele taget, kan konsekvenserne af variationen af u beregnes præcist ved hjælp af den mere almene formel for trekanter: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos u$. F.eks. med det resultat, at idealiseringen $c^2 = a^2 + b^2$ er uproblematisk i forhold til formålet med modellen.

Et andet eksempel på teoretisk kontrol har vi i krantippeproblemet. Hvor lidt skal krankonstruktionen veje i forhold til belastningen og kontravægten, for at vi kan tillade os at se bort fra dens bidrag til tipningen? Det kan mere eller mindre majsommeligt, alt efter indvikletheden af kranens geometriske konstruktion, beregnes ved hjælp af de samme vægtstangsregler i den klassiske mekanik, som den idealiserede model var en særlig anvendelse af.

Spørges der derimod om mulighederne for havari i det hele taget af en bestemt type kran, som man må formode bl.a. forsikringsselskaberne spørger, findes der ikke på samme måde en teoretisk referenceramme at være i dialog med om nødvendige simplificeringer ved udviklingen af eventuelle matematiske modelberegninger. Deres troværdighed hænger på konfrontation med ulykkesdata. Altså empirisk kontrol.

Tippeproblemet lader sig på veldefineret måde placere inden for en matematisk formuleret teoris rammer. Der er derfor styr på, hvad der ses bort fra ved konstruktionen af matematiske modeller til at få overblik over problemet. Og fejlene, der begås ved at se bort fra det ene eller det andet, kan vurderes både ved at sammenholde modellerne med empirien og med teorien.

Havariproblemet indeholder mange flere uklare momenter. Ved opstilling af en ad-hoc matematisk model til at få overblik over problemet vil hovedspørgsmålet nærmere være, hvad der er overset, end betydningen af det der er set bort fra. Og kun empirisk kontrol kan hjælpe med svar.

SÆTNING 6. Teoribaserede matematiske modeller er tilgængelige for offentlig kritik og kontrol (fra uafhængige eksperter), kritik af ad-hoc matematiske modeller kræver adgang til data.

En skelnen mellem om matematiske modeller er teoribaserede eller ad-hoc prægede kan som sagt ikke umiddelbart bruges til at skille troværdige modeller fra utroværdige, men kun til at skelne mellem forskellige vilkår for at tage stilling til deres troværdighed. Indebærer den indførte grovskelnen da ikke et for indviklet og tamt budskab til, at man kan gøre sig håb om, at det af demokratihensyn kunne afleveres i f.eks. gymnasieundervisningen?

Ved første øjesyn, jo. Men ved andet er budskabet nu ikke så tamt endda.

Forskellene mellem vilkårene for at udøve empirisk kontrol (sammenligning med data) og teoretisk kontrol (sammenligning med teori) viser nemlig, at omstændighederne omkring brugen af de to typer matematiske modeller er politisk væsensforskellige.

Empirisk kontrol af ad-hoc matematiske modeller kræver adgang til data. Og denne adgang kan f.eks. monopoliseres af dem, der har råd til at indsamle dem. Især i disse EDB-tider, hvor der ofte opereres med meget store datamængder. (Efter sigende lå der fem mandårs arbejde bag startopbygningen af den databank, som de danske nationaløkonomiske (økonometriske) modeller trækker på).

Teoretisk kontrol af teoribaserede matematiske modeller kræver indsigt i teori. Denne indsigt er normalt forbeholdt særlige eksperter i kraft af deres uddannelse. Men uden stavnsbånd er det trods alt svært at forhindre, at nogen af de særligt uddannede kan optræde som modeksperter.

Teoribaserede matematiske modeller er derfor alt andet lige mere tilgængelige for offentlig kritik end ad-hoc matematiske modeller.

Og det, synes jeg ikke, er så tamt et budskab endda. En af konsekvenserne heraf er heller ikke særlig indviklet. Den større mulighed for udefra kommende kritik og kontrol af teoribaserede matematiske modeller gør det mere risikabelt at fuske med dem end med ad-hoc matematiske modeller. Derfor har bygningsarbejderen mere grund til at stole på beregningen af sikkerhedsforskriften for kranudhænget end på vurderinger af havarimuligheder i bredere almindelighed.

KONKLUSION 3. Det er godt, at f. eks. fiskeribiologiske og nationaløkonomiske matematiske modeller i stigende grad bearbejdes i gymnasiet, men forskellene til f.eks. newtonsk mekanik bør betones fremfor at blive tilsløret.

Det er mit indtryk, at arbejde med matematiske modeller uden for de traditionelle fysiske, kemiske og tekniske områder tages op i gymnasiet i takt med deres bredere anvendelse i det omgivende samfund. Det sker både i de respektive fag, f.eks. biologi og samfundsfag, og i matematiktimerne. Og det er et nødvendigt udgangspunkt for udviklingen af elevernes myndighed i forhold til den matematiske modelmagt.

Men uden en bevidst satsning er der bl.a. på grund af fagopsplitningen en indbygget fare for, at myndigheden forkvakles, fordi forskellene i de matematiske modellers karakter tilsløres. I matematikfaget vil focus nærliggende være på det formsmæssige, som jo fremtræder ens. Og i fysik, kemi, biologi, geografi, samfundsfag m.m. er det fristende for lærerne at gøre sig til talsmænd for et høfligt ligemageri for ikke at risikere at fornærme nogen.

I stedet er det vigtigt, at netop fagenes forskelligartethed tages op i tværfagligt samarbejde. F.eks. om matematiske modeller.

Til en start kunne lærerne f.eks. i fællesskab diskutere artiklen fra Illustreret Videnskab, februar 1986, som nedenstående overskrift hører til.

NATURVIDENSKABEN SER ET SYSTEM I SAMFUNDETS KRISER:

NATURLOVE STYRER ØKONOMI OG POLITIK

Naturfænomener, der organiserer sig selv, er et af tidens mest brændende forsknings-
emner. Naturens dynamik kan måske hjælpe os med at forstå økonomiske kriser.

Den vestlige verden udvikler sig tilsyneladende efter samme mønster som man kender fra naturens fysiske processer. I en fast rytme afløses 20-30 års økonomisk fremgang af 20 års nedtur i et så forbløffende fast mønster, at naturvidenskabsfolk nu leder efter den matematiske baggrund for industrisamfundenes udvikling.

Deres idé er, at en sådan udvikling ikke kan være helt tilfældig, så rodet den end kan se ud undervejs.

Og mere end det. Det mønster, som får en lang række tilsyneladende kaotiske små uregelmæssigheder i samfundet til pludselig at samles i en fælles udvikling, er måske det samme mønster, som gælder for tilsvarende springvise ændringer i fysikkens og kemiens verden af hårde facts.

turændringer tegner imidlertid et langt mere komplekst billede.

Snekrystaller får vidt forskellige faconer, selv om de tilsyneladende har helt ens betingelser. Vi kan vende processen og få den til at løbe modsat omtrent som en film, der kører baglæns, men vender vi så om igen,



en ny måde. Traditionelle matematiske metoder har ikke kunnet belyse dem i detaljer.

Her har datateknikken skabt en næsten selvstændig »skole«, hvor eksperimenter og teori simuleres på computer. Her kan teorierne på kort tid afprøves under vidt forskellige betingelser.

Et eksempel på betydningen af den nye teknik er MIDIT-centeret, et bredt forskningscenter, der er oprettet på Danmarks tekniske universitet i Ålborg.

Den er ikke så enkel

»arte i skole«

- 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 Krenøe og Peter H. Lassen. Vejleder: Bernhelm Boss.
- 3/78 "OPCAVESAMLING", breddekursus i fysik. Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen. Af: Mogens Niss. Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE". Af: Helge Kragh. Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret". Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN". Af: B.V. Gnedenko. Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen. Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum". 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". Af: Jørgen Larsen.
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER". Af: Mogens Brun Heefelt. Nr. 12 er udgået.
- 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". Af: 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". Af: Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint. Af: Bernhelm Booss og 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 (I)". 1-port lineært response og støj i fysikken. Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality". Af: Helge Kragh.
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.G'ERE". a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale. Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen. Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodul/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER". En projektrapport og to artikler. Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS". Af: Helge Kragh.
- 28/80 "DILLENTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber". Projektrapport af: Gert Kreinøe. Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiaalligningsmodeller". Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen. Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION". Af: Oluf Danielsen. Nr. 30 er udgået.
- 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 - GER MOSSBAUEREFFEKT MÅLINGER". Projektrapport 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". Af: Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION". ENERGY SERJES NO. I. Af: Bent Sørensen. Nr. 34 er udgået.

- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Af: Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Af: Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO. 2.
Af: Bent Sørensen.
-
- 38/81 "TIL EN HISTORIE TEORI 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.
Nr. 38 er p.t. udgået.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VEKSTØKONOMIEN".
Af: 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.
Af: Bent Sørensen.
- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Af: 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.
Af: Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af: Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
-
- 45/82 Er aldrig udkommet.
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE-1+1 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projektrapport af: Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARBERÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TVÆNDELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO. 5.
Af: Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADVANCED-KURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projektrapport af: Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen og 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 PICERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK ?"
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "RESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.
- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi.
Af: Else Højrup.
Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.
- 56/82 "EN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af: Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 57/82 "ASPECT EKSPERIMENTET"-
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af: Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
Nr. 57 er udgået.
- 58/82 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.
Projektrapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/82 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Af: Bent Sørensen.
- 60/82 "MATEMATISK MODEKSPERTISE"- et eksempel.
Projektrapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/82 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".
Projektrapport af: Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Højrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogelius.
- 62/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi 2. rev. udgave.
Af: Else Højrup.
- 63/82 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES No. 8.
Af: David Crossley og Bent Sørensen.
- 64/82 "VON MATEMATIK UND KRIEG".
Af: Bernhelm Booss og Jens Højrup.
- 65/82 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Bernhelm Booss og Klaus Grünbaum.
- 66/82 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Frisdahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.
- 67/82 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?".
Projektrapport af: Lone Billmann og Lars Boye.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 68/82 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK" - til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af: Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i l.g med kommentarer.
Af: Albert C. Paulsen.
- 70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUKERSNIVEAU".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"
- et problem og en udfordring for skolen?
Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.
- 72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S Peirce.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 73/83 "EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"
- økologisk contra traditionelt.
ENERGY SERIES NO. 9
Specialeopgave i fysik af: Bent Hove Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.
-
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.
Projektrapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"
- Case: Lineær programmering.
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.
Vejledere: Mogens Brun Heefelt og Jens Bjørneboe.
- 76/84 "KERNKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 10
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.
Projektrapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.
- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Hans Heddal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE".
Projektrapport af: Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B".
Af: Mogens Brun Heefelt.
- 81/84 "FREKVENSAFHÆNGIG LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTO - MATISEREDE SAMFUND".
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983.
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss.
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
Af: Bent Sørensen
nr. 83 er p.t. udgået
- 84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".
Specialrapport af: Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
Af: Bent Sørensen.
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".
Af: Detlef Laugwitz.
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
- 90/84 "ENERGI I L.G - EN TEORI FOR TILRETTELÆGGELSE".
Af: Albert Chr. Paulsen.
-
- 91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
1. Lærervejledning
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
2. Materiale
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3
Af: Bent Sørensen
- 96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".
Af: Bjarne Lillethorup.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSAALDEREN".
Af: Bent Sørensen.
- 99/85 "Der er langt fra Q til R".
Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintonp.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 100/85 "TALSISTEMETS OPBYGNING".
Af: Mogens Niss.
- 101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".
Af: Ganesh Sengupta.
- 102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED MODELLER OVER KØERS FODEROPTAGELSE OG - OMSETNING".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn og Susanne Stender.
Vejleder: Klaus Grünbaum.

- 103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".
 Projekt rapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.
 Vejleder: Bent Sørensen.
- 104/85 "ANALOGECNEMASKINEN OC LORENZLIGNINGER".
 Af: Jens Jäger.
- 105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT OF THE GLASS REANSTITION".
 Af: Tage Christensen.
- "A SIMPLE MODEL AF AC HOPPING CONDUCTIVITY".
 Af: Jeppe C. Dyre.
 Contributions to the Third International Conference on the Structure of Non - Crystalline Materials held in Grenoble July 1985.
- 106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".
 Af: Bent Sørensen.
- 107/85 "EN MYG GØR INGEN EPIDEMI".
 - flodblindhed - som eksempel på matematisk modellering af et epidemiologisk problem.
 Projekt rapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye, Carsten Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
 Vejleder: Jesper Larsen.
- 108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM" - state and trends -
 Af: Mogens Niss.
- 109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger fra RUC.
 Projekt rapport af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Kattler og Torben J. Andreasen.
 Vejleder: Jørgen Larsen.
- 110/85 "PLANNING FOR SECURITY".
 Af: Bent Sørensen
- 111/85 "JØRDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".
 Projekt rapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og Jimmy Staal.
 Vejleder: Mogens Niss.
- 112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION FREM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".
 Projekt rapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Heddal, Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
 Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.
- 113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11".
 Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF KONFIGURATIONSTABELLER".
 Projekt rapport af: Lone Billmann, Ole R. Jensen og Arne-Lise von Moos.
 Vejleder: Jørgen Larsen.
- 115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENESSANCEN".
 Af: Mogens Niss.
- 116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-NELDEL RULE".
 Af: Jeppe C. Dyre.
- 117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING".
 Af: Jacob Mørch Pedersen.
 Vejleder: Bent Sørensen
- 118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN".
 Af: Peder Voetmann Christiansen
- 120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".
 Af: Jørgen Larsen
- 121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".
 Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".
 Af: Jeppe C. Dyre.
- 123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".
 Fysiklærerforeningen, IMFUFA, RUC.
- 124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".
 Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.
- 125/86 "UVBY, 8 - systemet - en effektiv fotometrisk spektral-klassifikation af B-, A- og F-stjerner".
 Projekt rapport af: Birger Lundgren.
- 126/86 "OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI".
 Projekt rapport af: Lise Odgaard & Linda Szkotak Jensen
 Vejledere: Karin Beyer & Stig Andur Pedersen.
- 127/86 "GALOIS' BIDRAG TIL UDVIKLINGEN AF DEN ABSTRAKTE ALGEBRA".
 Projekt rapport af: Pernille Sand, Heine Larsen & Lars Frandsen.
 Vejleder: Mogens Niss.
- 128/86 "SMÅKRYB" - om ikke-standard analyse.
 Projekt rapport af: Niels Jørgensen & Mikael Klintorp.
 Vejleder: Jeppe Dyre.
- 129/86 "PHYSICS IN SOCIETY"
 Lecture Notes 1983 (1986)
 Af: Bent Sørensen
- 130/86 "Studies in Wind Power"
 Af: Bent Sørensen
- 131/86 "FYSIK OG SAMFUND" - Et integreret fysik/historie-projekt om naturanskuelsens historiske udvikling og dens samfundsmæssige betingethed.
 Projekt rapport af: Jakob Heckscher, Søren Brønd, Andy Wierød.
 Vejledere: Jens Høyrup, Jørgen Vogelius, Jens Højgaard Jensen.
- 132/86 "FYSIK OG DANNEELSE"
 Projekt rapport af: Søren Brønd, Andy Wierød.
 Vejledere: Karin Beyer, Jørgen Vogelius.
- 133/86 "CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSING THE DATA. ENERGY SERIES NO. 15."
 Af: Bent Sørensen.
-
- 134/87 "THE D.C. AND THE A.C. ELECTRICAL TRANSPORT IN AsSeTe SYSTEM"
 Authors: M.B.El-Den, N.B.Olsen, Ib Høst Pedersen, Petr Visčor
- 135/87 "INTUITIONISTISK MATEMATIKS METODER OG ERKENDELSESTEORETISKE FORUDSÆTNINGER"
 MATEMATIKSPECIALE: Claus Larsen
 Vejledere: Anton Jensen og Stig Andur Pedersen
- 136/87 "Mystisk og naturlig filosofi: En skitse af kristendommens første og andet møde med græsk filosofi"
 Projekt rapport af Frank Colding Ludvigsen
 Vejledere: Historie: Ib Thiersen
 Fysik: Jens Højgaard Jensen
- 137/87 "HOPMODELLER FOR ELEKTRISK LEDNING I UORDNEDE FASTE STOFFER" - Resume af licentiatafhandling
 Af: Jeppe Dyre
 Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".
 Af: Iben Maj Christiansen
 Vejleder: Mogens Niss.

- 138/87 "JOSEPHSON EFFECT AND CIRCLE MAP."
Paper presented at The International Workshop on Teaching Nonlinear Phenomena at Universities and Schools, "Chaos in Education". Balaton, Hungary, 26 April-2 May 1987.
By: Peder Voetmann Christiansen
- 139/87 "Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur"
Af: Bernhelm Booss-Bavnbek
Martin Bohle-Carbonell
- 140/87 "ON THE TOPOLOGY OF SPACES OF HOLOMORPHIC MAPS"
By: Jens Gravesen
- 141/87 "RADIOMETERS UDVIKLING AF BLODGASAPPARATUR - ET TEKNOLOGIHISTORISK PROJEKT"
Projektrapport af Finn C. Physant
Vejleder: Ib Thiersen
- 142/87 "The Calderón Projektor for Operators With Splitting Elliptic Symbols"
by: Bernhelm Booss-Bavnbek og
Krzysztof P. Wojciechowski
- 143/87 "Kursusmateriale til Matematik på NAT-BAS"
af: Mogens Brun Heefelt
- 144/87 "Context and Non-Locality - A Peircan Approach"
Paper presented at the Symposium on the Foundations of Modern Physics The Copenhagen Interpretation 60 Years after the Como Lecture. Joensuu, Finland, 6 - 8 august 1987.
By: Peder Voetmann Christiansen
- 145/87 "AIMS AND SCOPE OF APPLICATIONS AND MODELLING IN MATHEMATICS CURRICULA"
Manuscript of a plenary lecture delivered at ICMTA 3, Kassel, FRG 8.-11.9.1987
By: Mogens Niss
- 146/87 "BESTEMMELSE AF BULKRESISTIVITETEN I SILICIUM"
- en ny frekvensbaseret målemetode.
Fysikspeciale af Jan Vedde
Vejledere: Niels Boye Olsen & Petr Višćor
- 147/87 "Rapport om BIS på NAT-BAS"
redigeret af: Mogens Brun Heefelt
- 148/87 "Naturvidenskabsundervisning med Samfundsperspektiv"
af: Peter Colding-Jørgensen DLH
Albert Chr. Paulsen
- 149/87 "In-Situ Measurements of the density of amorphous germanium prepared in ultra high vacuum"
by: Petr Višćor
- 150/87 "Structure and the Existence of the first sharp diffraction peak in amorphous germanium prepared in UHV and measured in-situ"
by: Petr Višćor
- 151/87 "DYNAMISK PROGRAMMERING"
Matematikprojekt af:
Birgit Andresen, Keld Nielsen og Jimmy Staal
Vejleder: Mogens Niss
- 152/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PROJECTIONS AND THE TOPOLOGY OF CERTAIN SPACES OF ELLIPTIC BOUNDARY VALUE PROBLEMS"
by: Bernhelm Booss-Bavnbek
Krzysztof P. Wojciechowski
-
- 153/87 "HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING MELLEM MILITÆRE OG CIVILE KRÆFTER"
Et eksempel på humanistisk teknologihistorie
Historiespeciale
Af: Hans Hedal
Vejleder: Ib Thiersen
- 154/87 "MASTER EQUATION APPROACH TO VISCOUS LIQUIDS AND THE GLASS TRANSITION"
By: Jeppe Dyre
- 155/87 "A NOTE ON THE ACTION OF THE POISSON SOLUTION OPERATOR TO THE DIRICHLET PROBLEM FOR A FORMALLY SELFADJOINT DIFFERENTIAL OPERATOR"
by: Michael Pedersen
- 156/87 "THE RANDOM FREE ENERGY BARRIER MODEL FOR AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"
by: Jeppe C. Dyre
- 157/87 "STABILIZATION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS BY FINITE DIMENSIONAL BOUNDARY FEEDBACK CONTROL: A pseudo-differential approach."
by: Michael Pedersen
- 158/87 "UNIFIED FORMALISM FOR EXCESS CURRENT NOISE IN RANDOM WALK MODELS"
by: Jeppe Dyre
- 159/87 "STUDIES IN SOLAR ENERGY"
by: Bent Sørensen
- 160/87 "LOOP GROUPS AND INSTANTONS IN DIMENSION TWO"
by: Jens Gravesen
- 161/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PERTURBATIONS AND STABILIZATION OF DISTRIBUTED PARAMETER SYSTEMS: Dirichlet feedback control problems"
by: Michael Pedersen
- 162/87 "PIGER & FYSIK - OG MEGET MERE".
AF: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich, Mette Vedelsby
- 163/87 "EN MATEMATISK MODEL TIL BESTEMMELSE AF PERMEABILITETEN FOR BLOD-NETHINDE-BARRIEREN"
AF: Finn Langberg, Michael Jarden, Lars Frellesen
Vejleder: Jesper Larsen