

Forschung, Wissenschaft

Essay

Forschen wir richtig? Gedanken zur Forschungs-Situation, Methodologie und Effizienz*

F. Moser

Techn. Universität Graz, Kopernikusgasse 24, A-8010 Graz

Abstract

Research methodology and research efficiency are subjects hardly dealt with within the scientific communities of chemists or chemical engineers. Mostly it is taken for granted that scientists know about the means and ways to carry out research and research projects. Experience has shown that this is not always the case. For this reason the author endeavours to bring up the different research methods, compare them and evaluate their shortcomings. Furthermore the different aspects influencing research effectiveness are analysed and a research effectiveness factor is defined. The paper although dealing more specifically with chemical engineering should be equally applicable to every type of experimental science.

Forschung, darüber ist man sich weitgehend einig, bestimmt den Lebensstandard eines Landes und damit die Lebensqualität seiner Bevölkerung. Der derzeitige materielle Wohlstand der westlichen Welt, die weitgehende Entlastung von schwerer physischer Arbeit sind die wesentlichen Ergebnisse von erfolgreicher Forschungstätigkeit in der Vergangenheit. Man hatte also mit der Forschung Erfolg. Ist es dann angebracht, die Methoden der Forschung in Frage zu stellen und nach einer Forschungs-Effizienz zu fragen?

Wie immer in einer dynamischen Situation müssen die Gegebenheiten in verschiedenen Entwicklungszuständen nicht gleich und vor allem auch nicht optimal sein. Die Forschungssituation am Beginn dieses und im vergangenen Jahrhundert ist mit der heutigen Situation weder vom Umfang der Forschungsaktivität, noch von deren Bedeutung für die Volkswirtschaften, noch von ihrer Art her zu vergleichen. Was damals gültig war bzw. als gültig angesehen wurde, muss heute nicht auch noch Geltung besitzen.

Die Frage nach der Qualität der Forschungsaktivitäten eines Landes ist ein wesentlicher Teil der Sicherung seiner Zukunft, des wirtschaftlichen Wohlstandes und damit im weitesten Sinne auch der politischen Zukunft. Wissen-

schaft und Technik, Wirtschaft und Politik sind heute in allen Industrieländern – und nicht nur in diesen – weitestgehend voneinander abhängig. Die Frage nach der Qualität der wissenschaftlichen Forschung ist daher im weitesten Sinne eine Überlebensfrage. In diesem Zusammenhang sollen drei Probleme behandelt werden:

- 1) die allgemeine Situation der wissenschaftlichen Forschung
- 2) die Frage nach der F-Methodologie
- 3) die Frage nach der F-Effizienz.

1. Die allgemeine Situation

Die allgemeine Situation der wissenschaftlichen Forschung in den letzten Jahrzehnten – kann mit der notwendigen Vereinfachung – durch folgende Aspekte gekennzeichnet werden:

- 1) zunehmende Belastung der Volkswirtschaften durch Ausgaben für F + E
- 2) zunehmende Unübersichtlichkeit der Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung
- 3) abnehmende Bedeutung der F-Ergebnisse für die Wissenschaften bzw. für die praktische Anwendung.

Bevor nun weiter auf Einzelheiten dieser Situation eingegangen werden soll, ist zuvor die Frage zu klären: Von welchen Wissenschaften ist hier die Rede bzw. gilt es zwischen Naturwissenschaften und Technik-Wissenschaften zu unterscheiden.

Nachdem die geisteswissenschaftliche Forschung ausgeklammert werden soll, geht es also nur um den Unterschied: Naturwissenschaften und Technik-Wissenschaften.

Die Naturwissenschaften – Physik, Chemie, Biologie usw. – beschäftigen sich mit der Erforschung der Natur, also von etwas primär Gegebenem. Dieses wird untersucht und theoretisch interpretiert.

Im Gegensatz dazu ist alles Technische künstlich, also etwas vom Menschen Hergestelltes. Die Technik beschäftigt sich also nicht direkt mit der Natur. Die Tech-

* Vortrag an der ETH Zürich am 27. April 1982

nik-Wissenschaften z. B. Mechanik, Strömungslehre usw. aber untersuchen Naturvorgänge, um sie in der Technik zur Anwendung zu bringen. Daher sind vom Sachbereich her die Naturwissenschaften und die Technik-Wissenschaften *nicht* unterscheidbar und demzufolge nur spezielle Bereiche der Naturwissenschaften und der Technik-Wissenschaften voneinander abgrenzbar (vgl. *H. Rumpf* [1]).

Die Frage nach einer etwa notwendigen Trennung von Natur- und Technik-Wissenschaften ist also zu verneinen. Es gibt hier keinen prinzipiellen Unterschied. Wenn also im folgenden von «Wissenschaften» die Rede ist, so sind die Natur- und Technik-Wissenschaften gemeint.

Die oben erwähnten kennzeichnenden Aspekte der derzeitigen Situation wissenschaftlicher Forschung seien am Beispiel der Verfahrenstechnik durch die Meinung einiger Fachleute dargelegt.

Wer die letzten 30 Jahre auf dem Gebiete der Verfahrenstechnik an einer Universität und in der Industrie tätig war, der wird die zunehmende Unübersichtlichkeit der Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung und die – im allgemeinen – abnehmende Bedeutung der F-Ergebnisse bestätigen können. Die Forschung an den Universitäten verliert sich oft in immer grössere Details, während die Probleme der Industrie nach wie vor ungelöst bleiben. Die Kluft zwischen Theorie und Praxis wird, trotz zunehmender F-Aktivitäten, kaum geringer.

Als ein Beispiel für diese Ansicht sei die Meinung von *Molzahn* und *Wolf* [2] angeführt, die in einem Artikel: «Destillation, Absorption, Extraktion – gibt es noch Forschungsaufgaben?» schreiben:

«Im Rückblick auf mehr als ein halbes Jahrhundert intensiver Forschung und angesichts so mancher Arbeit aus jüngster Zeit, die mehr unter dem Zwang in wissenschaftlicher Betätigung und zur Publikation als unter der Zielsetzung, Wissenslücken zu füllen, entstanden ist, soll untersucht werden, ob es denn überhaupt noch F-Aufgaben gibt.»

Hier wird man an das Wort vom «publish or perish» erinnert, das für die Tätigkeit wissenschaftlicher Mitarbeiter an Universitäten, sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in Europa, auch heute unvermindert gilt.

Dieselben Autoren führen dann weiter aus:

«Das Gebiet (Thermische Zerlegung von Stoffgemischen) ähnelt in der Tat mehr einer gut erschlossenen Kulturlandschaft als einem unberührten, schwer zu durchdringenden Urwald. Trotzdem stösst derjenige, der hier Ingenieuraufgaben zu bearbeiten hat, immer wieder auf Hindernisse und unbefestigte Wege.»

Die geäusserte Kritik ist relativ milde. Die Praxis ist in den meisten Fällen viel drastischer als es hier erscheinen mag. Dies kommt u. a. in den Meinungen von Prof. *Brauer*, von der TU-Berlin und Prof. *Zlokarnik*, von Bayer zum Ausdruck: Man müsse sich von der Mentalität des «Vergoldens von Formeln» lösen und sich ganz neuen F-Gebieten zuwenden. Dazu benötige man mehr Mut zum Risiko. Eine Revolution in der verfahrenstechnischen Forschung anstelle von Evolution sei nötig [3]. Die hier für einen speziellen Wissenschaftszweig an

wenigen Beispielen angedeutete Situation wird von dem deutschen Soziologen Friedrich Tenbruck allgemein für die Wissenschaften wie folgt charakterisiert [4]:

«Jede Wissenschaft orientiert sich an der Idee von etwas Wissenswertem. Ob etwas wissenswert ist oder nicht, lässt sich aber wissenschaftlich nicht beweisen; es ist eine Wertfrage.»

Und:

«Jede Wissenschaft kommt dann auch an ihr Ende, wenn ihre Erkenntnisse nur noch richtig, aber nicht mehr wissenswert sind.»

Übersieht man die Zahl und Qualität der Veröffentlichungen auf seinem eigenen jeweiligen Fachgebiet, so muss man Tenbruck wohl zustimmen. Die zunehmende Unübersichtlichkeit über die wissenschaftlichen F-Ergebnisse, trotz Computer-Information u. dgl., ist erträglich durch die ebenso grosse Abnahme des wissenschaftlichen Wertes der einzelnen Arbeiten. Es ist – zu unser aller Vorteil – einfach nicht notwendig, die gesamte Literatur auf dem jeweiligen Fachgebiet zu kennen, weil nur wenig wirklich Wissenswertes veröffentlicht wird.

Diese Verallgemeinerung ist – wie alle – eine unzulässige und wird in Einzelfällen, die zu den Ausnahmen zählen, ad absurdum geführt. Vor allem ist es ja wohl so, dass die Übersicht über die Fachgebiete dadurch zu erhalten gesucht wird, dass diese in immer kleinere Wissenszweige geteilt werden, wodurch der allgemeine Zusammenhang aber noch mehr verloren geht.

Aus all dem ergibt sich nun die Frage: Wie kam es zu dieser Situation und könnte man daran etwas ändern? Das ist das eigentliche Anliegen dieses Beitrages. Dazu ist es notwendig auf F-Methodologie und F-Effizienz einzugehen.

2. Forschungs-Methodologie

Es ist überraschend einerseits festzustellen, wie wenig man selbst von diesen Fragen wusste, nachdem man bereits jahrelang mit Forschung befasst war und andererseits wie wenige Forscher sich um diese Fragen kümmern, obwohl sie in Summe sehr viel Geld für Forschung ausgeben. Kaum je wird doch – weder in F-Ansuchen oder Veröffentlichungen – die Frage nach der Methode gestellt. Irgendwann hatte man gehört, dass schon seit langem die «induktive Methode» des Forschens in den Wissenschaften üblich sei. Genauer darüber aber ist – zumindest von Natur- und Technik-Wissenschaftlern – selten zu hören.

Teilweise wird die Meinung vertreten, die Methoden der Forschung in den Naturwissenschaften würde sich von jenen in den Technik-Wissenschaften unterscheiden [5, 6].

Auf Grund der jedoch bereits getroffenen Feststellungen über den sachlichen Zusammenhang von Natur- und Technik-Wissenschaften wird hier von der Annahme ausgegangen, dass es keinen prinzipiellen Unterschied der Methoden geben könne.

Der Streit um die richtige Forschungs-Methodik, die Methodologie der Forschung, wurde neuerdings im

Jahre 1934 von einem jungen, damals völlig unbekanntem Wiener ausgelöst, der ein Buch mit dem Titel «Logik der Forschung» schrieb. Es war der heute weltbekannte Philosoph Karl Popper [7]. Dieses Werk ist so bemerkenswert, da es der 32-jährige unbekannt Popper mit diesem Buch übernahm, gegen die gesamte etablierte Wissenschaft anzutreten und deren Arbeitsmethode in Frage zu stellen. Man kann sagen, dass diese Frage mitbestimmend war für die Auslösung der Krise, in der sich die gesamte Wissenschaft heute – wenn dies auch der breiten Öffentlichkeit noch weitgehend verborgen geblieben ist – befindet.

Seitdem sind nun beinahe fünfzig Jahre vergangen, in denen die Diskussion vor allem unter Wissenschaftstheoretikern und Philosophen um die Methoden der wissenschaftlichen Erkenntnis – also auch die Methoden der Forschung – im Gange ist. Leider wird ein forschender Nicht-Fachmann von dieser Diskussion teilweise überfordert, da sich diese zunehmend in Spitzfindigkeiten, Details und unzählige Methoden-Abarten verliert, so dass von den Fachleuten jeder gegen jeden steht und immer ein Haar in der Suppe des anderen findet¹. Es wird daher, um zu praktischen Resultaten zu kommen, notwendig sein, sich nur um die grosse Linie zu kümmern. Daher sollen im folgenden nur die induktive und die deduktive Methode verglichen und danach einige der neuesten Ansichten zu den F-Methoden gebracht werden.

Wie vergleichen sich nun die induktive Methodik, die auf Sir Francis Bacon (1561–1626) zurückgeht, und die deduktive Methode, die von Sir Karl Popper (geb. 1902) für das wissenschaftliche Arbeiten gefordert wird?²

Um diesen Vergleich anstellen zu können, ist es notwendig, die Tätigkeit des wissenschaftlichen Forschers zu definieren. Popper schreibt dazu folgendes:

«Die Tätigkeit des wissenschaftlichen Forschers besteht darin, Sätze oder Systeme von Sätzen aufzustellen und systematisch zu überprüfen; in den empirischen Wissenschaften sind es insbesondere Hypothesen, Theoriensysteme, die aufgestellt und an der Erfahrung durch Beobachtung und Experiment überprüft werden.»

Das Grundproblem der Forschung ist dann die Frage: Wie erlangt der Mensch Erkenntnis? Dieses Problem geht natürlich weit über den Rahmen der Forschung in den Natur- und Technik-Wissenschaften hinaus. Soweit es jedoch diese betrifft, stehen sich im Prinzip, wie bereits erwähnt, zwei Methoden gegenüber: die induktive und die deduktive Methode. Bei der Induktion schliesst man bekanntlich vom Einzelnen auf das Ganze; d. h. von besonderen Sätzen, die z. B. Beobachtungen, Experiment usw. beschreiben, auf allgemeine Sätze, auf Hypothesen, Theorien.

¹ Paul Feyerabend sprach von diesem Streit sehr treffend von einem Frosch-Mäuse-Krieg [8].

² Selbstverständlich haben sich sehr viele Wissenschaftler seit Bacon mit der Methodenfrage beschäftigt; im letzten Jahrhundert vor allem die Physiker E. Mach und L. Boltzmann. Es ist jedoch nicht möglich, alle hier anzuführen.

Seit Francis Bacon, der sich gegen die scholastische Methode der Wissenschaften wandte, die ohne irgendwelche Experimente zu den Erkenntnissen der Naturwissenschaften zu gelangen versuchte, hauptsächlich auf Basis des Studiums der Bibel und der Schriften des Aristoteles, war die induktive Methode in den Wissenschaften unbestritten.

H. Reichenbach schrieb zur Verteidigung der induktiven Methode noch 1930: (zitiert in [7])

«... dieses Prinzip entscheidet über die Wahrheit wissenschaftlicher Theorien. Es aus der Wissenschaft streichen zu wollen, hiesse nichts anderes, als die Entscheidung über Wahrheit und Falschheit der Theorien aus der Wissenschaft herauszunehmen. Aber es ist klar, dass dann die Wissenschaft nicht mehr das Recht hätte, ihre Theorien von den willkürlichen Gedankenschöpfungen der Dichter zu unterscheiden.»

Demgegenüber führt nun Popper das logische Argument der Unmöglichkeit induktiven Schliessens an. Als Beispiel führt er an, dass noch so viele Beobachtungen von weissen Schwänen nicht den Satz erlaube, dass alle Schwäne weiss seien.

Popper konnte auch zeigen, dass selbst eine induktive Wahrscheinlichkeitslogik, wie jede andere Form der Induktionslogik, entweder zu einem unendlichen Regress oder zu einem Apriorismus führt.

Wie sieht nun Popper den Wissenschaftsprozess? (vgl. Abb. 1). Popper geht davon aus, dass der Wissenschaftsprozess aus zwei Teilen besteht:

- 1) Das Aufstellen von Theorien (Problem der Entwicklung)
- 2) Die Überprüfung derselben (Problem der Rechtfertigung)

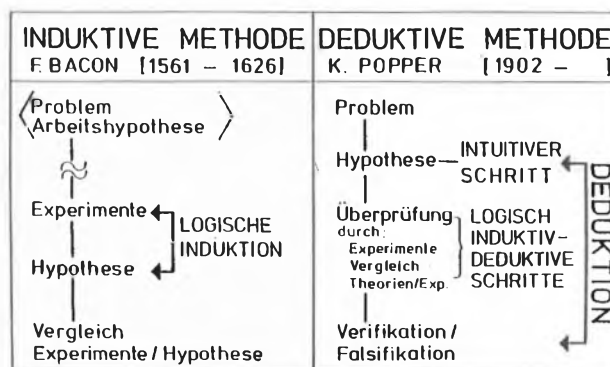


Abb. 1: Theorien der Wissenschaft – Bacon/Popper

Die erste Hälfte dieser Tätigkeit ist nach Popper einer logischen Analyse weder fähig noch bedürftig. An der Frage, wie es vor sich geht, dass jemandem etwas Neues einfällt, also dass er kreativ ist, hat wohl die empirische Psychologie Interesse, nicht aber die Erkenntnislogik, schreibt Popper. Es ist also Popper's Auffassung, die heute allgemein anerkannt wird (vgl. Stegmüller S. 21 in [20]), dass es eine logische, rational nachkonstruierbare

(vgl. Abb. 2). Die Anwendung auf ein praktisches Beispiel aus der Biokinetik nach A. Moser [19], wird in Abb. 3 gegeben.

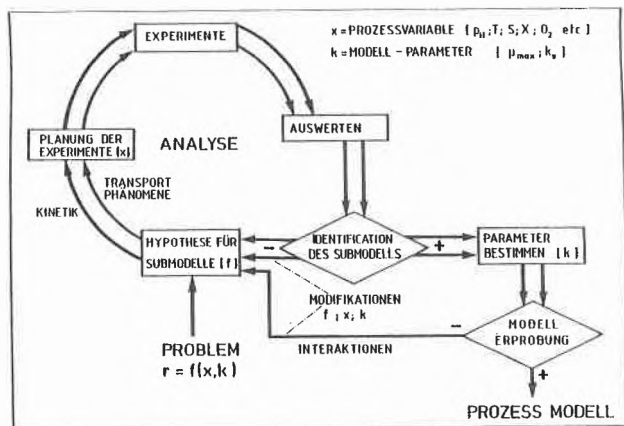


Abb. 3: Anwendung der deduktiven Methode am Beispiel der Biokinetik nach A. Moser [18]

Darüberhinaus kann man aber weiter die Abfolge der induktiven und deduktiven Schritte im F-Prozess und deduktiven Schritte F-Prozess als kybernetisches System eines Lernprozesses sehen (vgl. Abb. 4) [10].

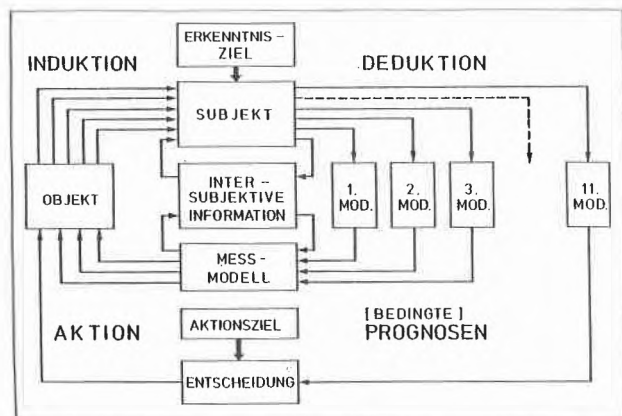


Abb. 4: Kybernetisches Modell des Erkenntnisgewinnes nach H. Millendorfer

Man wird also im F-Prozess sowohl induktive als auch deduktive Schritte annehmen müssen und beide in dauernder Wechselwirkung z. T. verwoben mit intuitiven Schritten sehen. Auf Grund dieser Erkenntnis kommt Paul Feyerabend, ein kritischer Wissenschaftstheoretiker, dann zu folgenden Schlüssen, indem er die Problematik auf die Spitze treibt [8].

1) Die Wissenschaft ist wesentlich ein anarchistisches Unternehmen; der theoretische Anarchismus ist wesentlich menschenfreundlicher und eher geeignet zum Fortschritt anzuregen, als «Gesetz- und Ordnungs-Konzeptionen»¹.

¹ Gemeint sind Induktivismus bzw. Deduktivismus

2) Das wird sowohl durch eine Untersuchung historischer Episoden als auch eine abstrakte Analyse des Verhältnisses von Denken und Handeln gezeigt. Der einzige Grundsatz, der den Fortschritt nicht behindert, lautet: «Anything goes (Mach, was du willst).»

Feyerabend will bewusst provokativ sein, um seine Kritik klar herauszuarbeiten. Sicherlich geht er in seine Formulierungen – wenn sie auch wissenschaftlich begründet sind, was nicht bestritten wird – zu weit. Man könnte im Anschluss an den Titel seines Buches: «Wider den Methodenzwang – Skizze einer anarchistischen Erkenntnistheorie» formulieren:

Die wissenschaftliche Arbeitsweise sollte ohne Methodenzwang, aber nicht ohne Systematik und Methode erfolgen. Sicherlich aber haben die Diskussionen im «Kuhn-Popper'schen Frosch-Mäuse-Krieg» auch für den praktizierenden Forscher wesentliche neue Erkenntnisse gebracht, die er sich vorteilhaft zunutze machen sollte. Die Popper'sche Methodik scheint von der systematischen Vorgangsweise her eine sehr sinnvolle. Sie muss aber – wie sich an praktischen Forschungsproblemen gezeigt hat [11] – als eine Kombination induktiv-deduktiver Schritte gesehen werden, die eher dem kybernetischen Modell entsprechen. Trotzdem hat das Popper'sche Modell grossen, vor allem didaktischen Wert, da es den Forscher dazu veranlasst, seine Arbeitshypothese zu formulieren¹.

3. F-Effizienz

Die Effizienz einer Forschung zu beurteilen, ist ein schwieriges Unterfangen, und es gibt wenig Arbeiten über dieses Problem. Überlegt man sich, welche Faktoren Einfluss auf den F-Prozess haben könnten, dann kann man die folgenden anführen:

- 1) Die Methodik, mit der die Forschenden an die Probleme herangehen
- 2) Die Kreativität, welche die Forschenden einbringen
- 3) Die Organisationsform, in der die Forschenden tätig sind
- 4) Der Entwicklungszustand des Wissensgebietes, in welchem die Forschenden tätig sind.

ad 1

Dieses Problem wurde bereits eingehend im vorigen Abschnitt behandelt.

ad 2

Kreativität ist neben der F-Methode der bestimmende Faktor für die Persönlichkeit des Forschenden und für den Erfolg oder Misserfolg einer Forschergruppe. Krea-

¹ Nicht uninteressant vom Prinzip her ist die von einer Berliner F-Gruppe vorgeschlagene *Evolutions-Strategie*, die mit Zufallsgeneratoren Versuchsbedingungen auf statischer Basis erarbeitet und dann ähnlich dem Darwin'schen Prinzip der Selektion ungünstige Varianten ausscheidet. Über die Anwendbarkeit dieser F-Methode ist ausser einer anfänglichen Darstellung [21] nichts bekannt geworden.

tivität lässt sich schwer erfassen; es ist aber sicher, dass kaum ein Zusammenhang zwischen Kreativität und Intelligenz (z. B. gemessen durch einen Intelligenz-Koeffizienten) besteht.

Auch kann man nicht sagen: Der Kreativitäts-Ausstoss ist direkt proportional der Zahl der Mitarbeiter, da die Kreativität sehr persönlich bestimmt wird. Hier ist jedoch sicher zwischen den Kreativitätsanforderungen in der Grundlagenforschung, in der angewandten Forschung und bei der Entwicklung zu unterscheiden. Entwicklung ist zumeist Teamarbeit und besteht in der Ausarbeitung bestimmter bereits vorgegebener Probleme. Hier wird eine Vergrößerung der Zahl der Mitarbeiter sicher einen positiven Einfluss haben, da mehr Fleiss als Kreativität notwendig ist, während bei der Grundlagenforschung die Vergrößerung der Forscheranzahl einen positiven Einfluss möglich macht, aber nicht sicherstellt.

Wovon ist nun – glaubt man – Kreativität abhängig? Die übliche Stufenfolge im Kreativitätsprozess wird von den Psychologen mit den folgenden Schritten angegeben:

- 1) Vorbereitung
- 2) Inkubation
- 3) Inspiration
- 4) Verifikation
- 4) Kommunikation

Reid [12], der das Problem der Kreativität gründlich studierte, kommt zu dem Schluss, die wichtigsten Eigenschaften für eine kreative Persönlichkeit seien:

Inneres Vertrauen und
rastloses Bemühen, wobei die

beste Möglichkeit Kreativität zu entdecken, dann gegeben sei, wenn jemand schon in der Vergangenheit bewiesen habe, kreativ zu sein. Die a priori Vorhersage zukünftiger Kreativität, z. B. bei Studenten, sei nicht möglich. Intelligenz-Koeffizienten-Methoden machten keine Voraussage von Kreativität möglich, sobald ein Intelligenz-Minimal-Wert (I. Q. > 120) überschritten sei. Der gesamte Schulungsprozess von der Volksschule bis zur Universität sei eher kreativitäts-feindlich, da dieser auf die Vermittlung von reproduzierendem Wissen abgestellt sei. Kreativität ist ein irrationaler, intuitiver, antilogischer Vorgang des Unterbewusstseins. Am besten kann dieser Vorgang daher stattfinden, wenn die Person entspannt ist, keinem Stress unterliegt und «ohne zu denken» die unterbewusst laufenden Gehirnvorgänge sozusagen sich selbst finden lässt.

Reid ist mit den Psychologen der Meinung, dass Kreativität grösstenteils gen-dominiert sei und man daher keine kreativen Personen erziehen könnte. Man sollte aber den potentiell-kreativen Menschen die Möglichkeit geben, sich zu entwickeln. Dazu scheint es notwendig,

- 1) die Kreativität bzw. Verständnis für deren Bedeutung bei den Lehrern zu wecken
- 2) die Ausbildungssysteme weniger auf Lernwissen und mehr auf die eigene Erarbeitung von Wissen (z. B. Projekt-Studium) aufzubauen.

ad 3

Die besten Forscher können durch eine schlechte Organisation, in der sie arbeiten, unproduktiv gemacht werden. Eine zu grosse, bürokratische Organisation ist für kreative Forschung sicher nachteilig. Das Bestreben geht daher dahin, in grossen Organisationen die Existenz und die Vorteile von kleinen F-Einheiten zu simulieren, die keiner bürokratischen Koordination und Leistungskontrolle unterworfen sind. Auf diese Weise wird den Forschern grössere Freiheit und Initiative in der Verfolgung persönlicher Neigungen erlaubt. Es ist eine offenkundige Tatsache, dass die Leistungsfähigkeit einer Forschergruppe umgekehrt proportional zu ihrer Grösse ist. Je kleiner eine F-Gruppe ist, desto mehr ist die Individualität der Mitglieder gesichert, desto grösser ihre relative Freiheit und damit die Möglichkeit, bewusst Verantwortlichkeit zu übernehmen [13].

ad 4

Zuletzt ergibt sich die schwierige Frage: Wie soll oder kann man F-Effizienz feststellen, wie kann sie beurteilt werden?

Die naheliegende Antwort ist: Man messe den F-Aufwand und vergleiche diesen mit dem F-Ergebnissen, d. h. man könnte einen F-Effizienz-Faktor (FEF) wie folgt definieren:

$$\text{FEF} = \frac{\text{F-Ergebnisse}}{\text{F-Aufwand}}$$

Die Schwierigkeit bei der Erstellung dieses Faktors liegt in der objektiven Beurteilung von Aufwand und Ergebnissen. Zahlreiche Versuche, z. B. die Zahl der Veröffentlichungen, den «citation-Index», oder den wirtschaftlichen Ertrag zu definieren, haben nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Forschung, ein kreativer Prozess, ist also nicht rein rational erfassbar bzw. seine Auswirkungen sind nur schwer messbar. Weder die Gleichung: Je mehr F-Aufwand, desto grösser die F-Ergebnisse, noch die Beziehung: je mehr Forscher, desto grössere und bessere F-Ergebnisse, ist zutreffend. Forschung, insbesondere Grundlagenforschung, ist ein kreativer, vornehmlich subjektiver und stark vom Organisationsklima abhängiger Prozess. Wie sollte man diesen steuern, kann man ihn steuern, wie beurteilen?

Im folgenden wird vorgeschlagen die F-Effizienz besser zu gestalten, indem man die in der Forschung Tätigen besser

- einerseits a) über F-Methodologie und
andererseits b) über die Entwicklungsphasen einer Wissenschaft-

also über Wissenschaftsgeschichte und Theorie – informiert und damit indirekt, d. h. vom Subjekt her, den F-Prozess effektiver gestaltet. Dazu einige Hinweise.

Am Anfang der Überlegungen steht die Frage: Wie entwickelt sich die Wissenschaft? Stimmt es, dass es ein lineares Ansteigen von wissenschaftlichem Wissen gibt, d. h. die Beziehung gilt: je mehr Forschung, desto mehr Wissen, je mehr Wissen, desto grösser der wissen-

schaftliche Fortschritt [22]. Stimmt es, dass wir immer mehr über die Natur, den Menschen, die Welt wissen, bis wir schliesslich alles wissen werden?

Diese Ansichten wurden lange Zeit insbesondere von den Wissenschafts-Positivisten vertreten und sind auch heute noch hier und da zu hören. Wissenschaftlich, also von den Wissenschaftswissenschaften her, sind sie heute überholt. Man glaubt zu wissen, dass wissenschaftliches Wissen nicht linear akkumuliert werden kann, sondern eher in der Form einer biologischen Wachstumskurve (vgl. Abb. 5) von einem Wissensniveau, einem Paradigma, zum nächsten ansteigt. Diese Theorie, von Thomas S. Kuhn, Professor für Wissenschaftsgeschichte und Wissenschafts-Soziologie an der Universität Princeton, aufgestellt, hat die Vorstellungen über die Entwicklung der Wissenschaften seither stark verändert und wesentlich beeinflusst. [14].

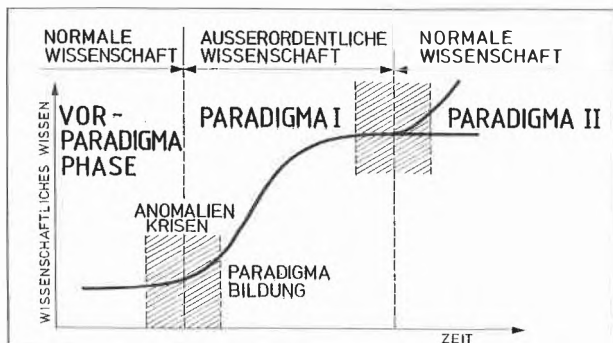


Abb. 5: Entwicklung der Wissenschaft nach Th. S. Kuhn

Was folgt aus einer derartigen Hypothese? Unter der Annahme, die von Kuhn erstellte allgemeine Hypothese sei auch für Einzelgebiete und Einzelwissenschaften gültig, eine Annahme, die man in speziellen Beispielen z. B. den Grundoperationen in der Verfahrenstechnik leicht selbst überprüfen kann, folgt: Wenn wissenschaftliches Wissen sich in der Form einer Wachstumskurve entwickelt, so ist anzunehmen, dass auf Grund der Definition des F-Effizienz-Faktors

$$FEF = \frac{\text{F-Ergebnisse}}{\text{F-Aufwand}}$$

für die verschiedenen Entwicklungsphasen eines Wissensgebietes das Verhältnis von F-Aufwand zu F-Ergebnis variiert, d. h. der FEF verschiedene Werte annimmt. Dieser wird in stark vereinfachter und sehr verallgemeinerter Form ausgedrückt

- in der lag-Phase – kleiner als Eins
- in der log-Phase – grösser als Eins

und in der stagnierenden Phase wieder kleiner als Eins werden (vgl. Abb. 6).

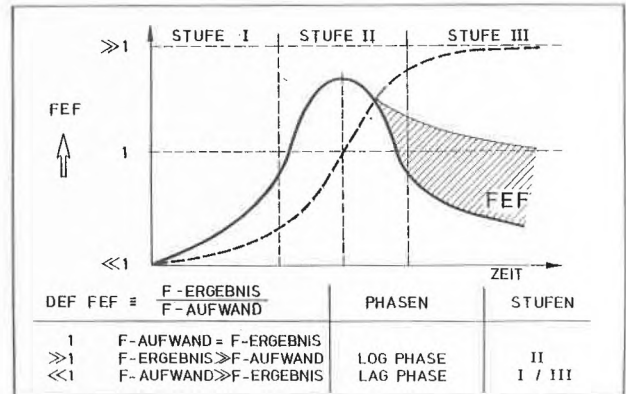


Abb. 6: Der Forschungs-Effizienz-Faktor

Die Kosten des F-Aufwandes werden, unter ähnlichen stark vereinfachten Annahmen, voraussichtlich ein starkes Ansteigen verzeichnen, wie dies in Abb. 7 gezeigt ist.

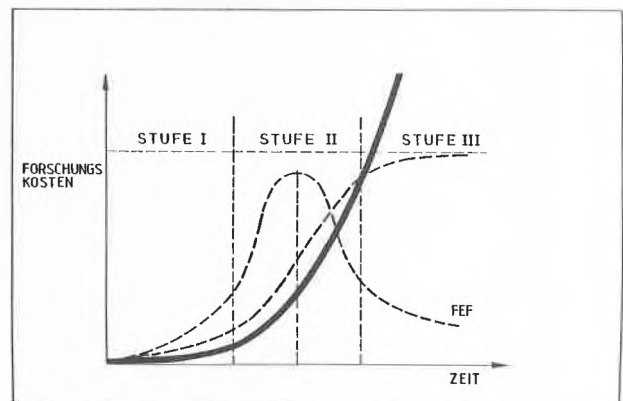


Abb. 7: Anstieg der F-Kosten

Was folgt aus diesen Annahmen, die selbstverständlich nur als eine sehr grob vereinfachte Darstellungsform dieser Vorgänge angesehen werden sollen? Das wichtigste – der jeweilige Forscher und die eine F-Projekt beurteilenden Gremien sollten sich Klarheit darüber verschaffen, in welchem Teil der Entwicklung eines Wissensgebietes gearbeitet wird. Auf diese Weise können von vornherein die Aussichten eines F-Projektes auf Erfolg wesentlich besser umschrieben werden. Forschung erscheint also

1) besonders interessant in der lag-Phase (Stufe I) eines Wissensgebietes. Die F-Kosten sind gering, die Aussicht auf Erfolg aber ist auch relativ gering, da das Risiko Neues zu finden, gross ist. Es ist das eigentliche Gebiet der Grundlagenforschung. Daher scheuen sich viele – zu viele – Wissenschaftler wirklich neue Arbeitsgebiete anzugehen. Es ist einfacher, die ausgetretenen Pfade der Wissenschaft zu wandeln, auf denen sich einfacher der Erfolg einstellt. Auch die «scientific community» akzeptiert neue Wege nur zögernd. Eine derartige konservative

Einstellung ist prinzipiell nicht falsch, da es Neues sorgfältig zu prüfen gilt. Andererseits neigt der Wissenschaftler und damit auch die Wissenschaft mit dieser Einstellung zu dogmatischer Erstarrung. *Max Planck* schreibt dazu in seiner Biografie [15]:

«Eine neue wissenschaftliche Erkenntnis pflegt sich nicht dadurch durchzusetzen, dass die wissenschaftlichen Gegner überzeugt werden, sondern dadurch, dass diese aussterben und die neue Generation von vornherein die neue Sicht akzeptiert.»

Immer wieder wird dieser Vorgang bestätigt gefunden. Dabei fehlt es nicht an Hinweisen von weitsichtigen Wissenschaftlern, auch den «ausser-normalen» Wissenschaften eine Chance zu geben. Nur von dort ergeben sich die wirklich neuen Erkenntnisse.

2) Stufe II – die logarithmische Wachstumsphase des Wissens ist die erfolgreichste. Hier werden die meisten Veröffentlichungen und öffentlichen Anerkennungen zu verzeichnen sein.

3) Stufe III – die Erstarrungs- und Stagnationsphase ist die kritischste. Hier gilt es zu entscheiden – lohnt es sich weiter zu forschen oder soll man abbrechen? Der Aufwand ist gross, die Erfolgsaussicht gering, wenn nicht aus der Stufe III eine neue Stufe I, d. h. ein neues Paradigma, entsteht. Das ist jedoch niemals auszuschliessen.

Abschliessend soll noch kurz auf das Problem der Möglichkeiten der F-Steuerung eingegangen werden, das sowohl politisch als auch wissenschaftlich ein aktuelles Thema ist. Vor einigen Jahren gab es in der BRD einen Streit um die Möglichkeiten und Notwendigkeiten einer F-Steuerung von aussen – durch den Staat, bzw. durch die F-Förderungsgremien. Auf der einen Seite standen die Befürworter einer F-Steuerung, die sogenannten «Finalisierer» [16] auf der anderen diejenigen, die die «Freiheit der Forschung», glaubten verteidigen zu müssen [17].

Es würde zu weit führen hier näher auf dieses Problem einzugehen. Man kann aber feststellen, dass F-Steuerung einerseits notwendig ist, um die F-Kosten zu beherrschen, andererseits politisch gefährlich ist, da ideologische Einflüsse keineswegs auszuschliessen sind. Der Streit in der BRD scheint derzeit verstummt zu sein. Beigelegt kann er nicht sein, da die Probleme nach wie vor anstehen.

4. Schlussfolgerungen

Versucht man die Ergebnisse der angestellten Überlegungen zusammenzufassen und einige Schlüsse daraus zu ziehen, so kann man folgendes feststellen:

1) Für die allgemeine Situation, den Stand von F + E betreffend, könnte man wünschen, dass von seiten der Forschenden – also vor allem der Universitäten und von F-Instituten – nicht vorrangig die Forderung nach grösseren finanziellen Mitteln in den Vordergrund der Belange und Probleme wissenschaftlicher Forschung gestellt würde, sondern auch der kritischen Prüfung der F-Effizienz und F-Methodologie grösseres Augenmerk

gewidmet würde. Beispiele zeigen, dass in den «scientific communities» nur ein unzureichendes Verständnis für die Möglichkeiten und Notwendigkeiten einer optimalen Forschung bestehen.

2) Die *Feyerabend'sche* These: «Anything goes» als Basis für eine F-Methodologie zu erstellen, ist auf der einen Seite grossteils dem entsprechend, wie die F-Situation von den Forschenden her gehandhabt wird. Andererseits ist es offensichtlich, dass diese Anweisung – wie *Feyerabend* selbst sagt: anarchistisch – also chaotisch – wirkt und als Folge daher einer optimalen Verwendung von F + E-Geldern nicht entsprechen kann. Man wird daher guttun, in der F-Methodologie von einer Kombination induktiv/deduktiver F-Schritte auszugehen, wie sie der von *Popper* vorgeschlagenen allgemeinen F-Methode entspricht, wobei sicher kein Methodenzwang angebracht sein kann, der eher hemmend auf die F-Situation wirken würde, da verschiedene F-Situationen auch unterschiedliche F-Strategien und demnach F-Methoden verlangen.

3) Es ist eine Trivialität zu sagen: Die Forschung lebt von den Forschern. Trotzdem sollte man sich vergegenwärtigen, dass diese das Produkt unserer Schulen und der Lehrer sind, die sie dort finden. In zweifacher Weise wird hier ein bedeutender Einfluss auf die allgemeine F-Situation ausgeübt:

- a) durch die Art der Ausbildung der Schüler und Studenten
- b) durch die Art der akademischen Standards, wie diese von den Universitäten gehandhabt werden.

Wie *Reid* [12] aufzeigt, ist ein Grossteil unserer Ausbildungssysteme – in Ost und West – kreativitäts- und damit forschungsfeindlich, wobei bedrückend ist festzustellen, dass die jüngsten Massnahmen zur Schulreform an Gymnasien – etwa in der BRD, in England und in Österreich – diese Tendenz eher verstärken als abbauen. Die Attraktivität alternativer Schulsysteme z. B. der *Waldorf*-Schulen ist nicht zuletzt auf diese Situation zurückzuführen.

Weiters sind die akademischen Standards der Universitäten nicht darauf abgestimmt den Forscher-Nachwuchs in geeigneter Weise heranzubilden. Hier wird zu sehr auf Quantität und zu wenig auf Qualität geachtet. Sowohl bei Habilitationen als auch bei Berufungen von Professoren an Universitäten, ist es vor allem die Zahl von Veröffentlichungen und weniger deren Qualität, die gewertet wird. Demzufolge ist das «publish or perish», das dann zu einer nicht mehr zu verarbeitenden Flut von Veröffentlichungen führt, ein unglücklicher Wertungs-Massstab.

Aus diesem Grunde sollte mehr als bisher darauf geachtet werden, dass Übersichtsarbeiten und Zusammenfassungen grösseres Gewicht erhalten und neben den ursprünglichen eigenen Arbeiten an Wert gewinnen. Das gilt besonders auch für die Abfassung von Büchern. Zahlreiche Wissensgebiete wie z. B. in der Verfahrenstechnik das Gebiet der Grundoperationen oder die Reaktionstechnik streben einer Finalisierung zu. In solchen Fällen ist es wünschenswert, zusammenfassende Darstellungen der

relevanten Ergebnisse und des Standes des Wissens in Buchform zu geben. Hierauf sollte man von seiten der Universitäten achten und den jüngeren Wissenschaftlern entsprechende Aufgaben stellen.

In weiterer Folge gehört zu diesem Problemkreis einerseits die Koordination der F-Ziele und F-Aufgaben zwischen Industrie und Universitäten und zwischen den verschiedenen Ländern andererseits. Immer wieder ist man überrascht zu sehen, wie viel gearbeitet wird und wie wenig Bedeutung der Auswertung, Verwertung und der Koordination dieser Arbeiten gegeben wird. Auf manchen Gebieten, die sich wie breit angelegte Autobahnen ausnehmen, überstürzen sich die Arbeiten und auf anderen, vor allem neuen und schwierigen Gebieten findet man keine Unterlagen. Mit eine Ursache für diese Situation ist auch die teilweise konservative, dogmatische Einstellung der Wissenschaftler, auf die bereits hingewiesen wurde. Es wäre also notwendig, mehr «ausser-normale» Forschung zu betreiben. Der Wissenschaftstheoretiker *Wolfgang Stegmüller* sagt über diese «ausser-normale» Forschung das folgende [18]:

«Der Mensch, welcher ausserordentliche Forschung betreibt, ist darum in viel stärkerem Masse dem Risiko ausgesetzt, von der Umgebung verkannt zu werden, als derjenige, welcher sofort sichtbare Lösungen im Rahmen der wissenschaftlichen Tradition bringt. Es ist sogar denkbar, dass der relative Erfolg einer Theorie gegenüber einer anderen erst im Rückblick, nämlich zu einer Zeit erkannt wird, da auch diese Theorie bereits wieder verdrängt ist. All das legt aber nicht Zeugnis ab von der Irrationalität im Verhalten «wissenschaftlicher Revolutionäre», sondern zeigt bloss, dass die Gefahr für einen Spinner gehalten zu werden oder für einen Querkopf, der nichts Rechtes zustande bringt, eines der typischen Berufsrisiken der ausserordentlichen Forschung ist.»

Damit kommen wir letztlich zur Frage nach den F-Zielen. Wer soll, wer kann diese vorgeben? Die Gesellschaft – eher nein. Die «scientific community» – zum Teil sicher ja. Der Forscher? Eigentlich ja. Dieser sollte die erste Instanz sein zu sagen, was er forschen will, zumindest soweit es sich um kreative Forschung handelt. Dort aber trifft ihn dann zum Teil die Ablehnung der scientific communities, wenn er neue, nicht erschlossene F-Wege geht oder neue F-Ziele anstrebt. Die scientific community lehnt diese dann teilweise als unwissenschaftlich ab. So können wir also abschliessend feststellen, dass der F-Prozess in vielfacher Weise verbessert werden könnte. Es ist aber meine tiefe Überzeugung, dass wesentliche Verbesserungen sowohl in der F-Methodologie und F-Effizienz als auch in der Darstellung der F-Ziele – nur aus der Gemeinschaft der Forschenden kommen können und nicht von aussen dieser aufgezwungen werden sollten. Dazu wäre aber ein grösseres Interesse der Wissenschaftler und Forscher für den Wissenschaftsprozess an dem sie teilhaben, notwendig und wünschenswert.

Referenzen

- 1 *H. Rumpf*: Gedanken zur Wissenschaftstheorie der Technik-Wissenschaften; VDI-Z. 111 (1969) Nr. 1, 2–9.
- 2 *M. Molzahn* und *D. Wolf*: Destillation, Absorption und Extraktion – Gibt es noch F-Aufgaben? Chem. Ing. Techn. 53, 768 (1981).
- 3 *H. Brauer* und *H. Zlokarnik*: Revolution statt Evolution in der Forschung, VT-Verfahrenstechn. 15, 74 (1981).
- 4 *F. Tenbruck*: Anatomie der Wissenschaft, zur Frage einer anderen Wissenschaft; S. 89–99 in O. Schatz: Brauchen wir eine andere Wissenschaft? Salzburger Humanismusgespräche 1980; Styria.
- 5 *K. Hübner*: Von der Intentionalität der modernen Technik, Sprache im technischen Zeitalter, 25, 27 (1968). Prof. Hübner führt folgende Stufen in einem kybernetisch gesehen technischen Entwicklungsprozess auf:
 - 1) Das technisch Gegebene und seine Formalisierung
 - 2) Mathematische Modelle
 - 3) Die Logik
 - 4) Variation und Kombination
 - 5) Strukturbeschreibung
 - 6) Verwendung von Naturgesetzen
 - 7) Intensionale Analyse gesetzter Zwecke
 - 8) Fortgang zu einem System derselben usf.
 Hübner schreibt:
 «Neue Regelkreise lassen sich so teils empirisch, teils a priori gewinnen, man wagt sich in das Unbekannte vor.»
 Die von *K. Hübner* vorgetragene Sichtweise entspricht im grossen und ganzen der im vorliegenden Vortrag gebrachten. Hier wird aber im Gegensatz zu *Hübner* keine Unterscheidung zwischen der Methode der Natur- und Technik-Wissenschaften getroffen, weil eine solche sachlich nicht gerechtfertigt erscheint.
- 6 Schreiben von Prof. *G.G. Haselden* vom 12.11.81. Er schreibt:
 “Research in engineering normally involves in its most significant areas, an inventive step. The number of such steps need only to be quite small because each leads to a great deal of development and elucidation. The achievement of such a step arises when a person of fertile mind chances on a situation which suggests a new synthesis. Systematic attempts to generate such innovations are seldom effective and generate more paper than progress”.
 Auch die Meinung von *G. Haselden*, der man zustimmen kann, wird durch das vorgetragene System einer Methodologie erfasst.
- 7 *K. Popper*: Die Logik der Forschung, J. C. B. Mohr, Tübingen.
- 8 *P. Feyerabend*: Wider den Methodenzwang. Skizzen einer anachistischen Erkenntnistheorie. Suhrkamp-Verlag, 1977.
- 9 *J. Eccles*: The Philosophy of *Karl Popper* in The Library of Living Philosophers. P. A. Schilpp, 1974.
- 10 *J. Millendorfer*: Die Metaebenen der dritten wissenschaftlich-technischen Revolution. Habilitationsschrift TU-Graz, 1982.
- 11 z. B. 1) Suche nach neuen Arbeitsmedien für Wärmepumpensysteme
 2) Entwicklung einer Entwurfsmethode für Extraktionsapparate
F. Moser, H. Husung und *H. Pointner*: Veröffentlichung in Arbeit.
- 12 *R. C. Reid*: Creativity as applied to Graduate Engineering Education, CEP, June 1981, 23–25.
- 13 *H. Hinterhuber*: Die Qualität der Innovation in der modernen Industriegesellschaft, Techniken der Zukunft, Juni 1974; Vogel Verlag Würzburg.
- 14 *Thomas S. Kuhn*: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Suhrkamp-Verlag.
- 15 *Max Planck*: Wissenschaftliche Selbstbiografie in Physik; Abhandlungen und Vorträge, Bd. III. Braunschweig 1958; S. 374–401.
- 16 *G. Böhme*: In Theorien der Wissenschafts-Geschichte, Hrg. *W. Diederich*, Suhrkamp-Verlag 1978.

- 17 *G. Radnitzky* Hrsg.: Die politische Verantwortung der Wissenschaft; Hoffmann und Campe; 1976.
- 18 *W. Stegmüller*: Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie, Bd. II, S. 532, A. Körner Verlag, Stuttgart 1975.
- 19 *Anton Moser*: Bioprozesstechnik Berechnungsgrundlagen der Reaktionstechnik biokatalytischer Prozesse; Springer, Wien, 1981.
- 20 *W. Stegmüller*: Das Problem der Induktion: Hume's Herausforderung und moderne Antworten in *H. Lenk* (Hrsg.) Neue Aspekte der Wissenschaftstheorie, Vieweg 1971.
- 21 *I. Rechberg*: Evolutionsstrategie, Frommann-Holzboog-Verlag 1973.
- 22 *O. Neurath*: Wege der wissenschaftlichen Weltauffassung in *H. Schleichert* (Hrsg.) Logischer Empirismus – der Wiener Kreis, W. Fink Verlag, München 1974.