

Forschung Wissenschaft

Technische Hochschulen in der heutigen Zeit — eine kritische Besinnung¹

Von HEINRICH ZOLLINGER

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Summary

The present position and prospective goals of Technical Universities (Institutes of Technology or Colleges of Science and Technology in the American and British nomenclature, respectively) are critically discussed on the basis of recent developments at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) in Zurich and in the context of the limits to growth of our modern society. The antagonism of breadth and depth is discussed in terms of the evolution of the human brain and in terms of BOHR's complementarity hypothesis, and extended to encompass the relationship between teaching and research in science and technology.

- «Technik für oder gegen den Menschen?» Das ist die Frage, die sich Angehörige der Eidgenössischen Technischen Hochschule am ETH-Symposium 1973 gestellt haben.
- «Grenzen des Wachstums» – ein Problem, das mit Methoden der modernen Forschung an einer andern Technischen Hochschule, dem Massachusetts Institute of Technology, in Angriff genommen worden ist². Dieses Problem ist heute im Munde vieler; bei manchen ist es sogar ins Bewußtsein eingedrungen.
- Andererseits geht an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich die Zahl der Studenten in den typisch technischen Disziplinen, den Ingenieurwissenschaften, aber auch in der Chemie und in den meisten andern Naturwissenschaften zurück.
- Weiter stellen wir fest, daß eine beträchtliche Zahl akademischer Institutionen, die sich früher stolz Technische Hochschulen nannten, ihren Namen gewechselt haben: Heute heißen sie Technische Universitäten oder einfache Universitäten!

Technik für oder gegen den Menschen, Grenzen des Wachstums, Rückgang der Zahl der Ingenieurstudenten, Abwendung vom Begriff Technische Hochschule – was steckt hinter diesen Problemen?

Lassen wir es vorläufig offen, ob wir nach dem Hintergrund oder nach den Wurzeln fragen!

Die Hauptsache ist das Fragen an sich. Der Außenstehende sieht im naturwissenschaftlich oder technisch ausgerichteten Wissenschaftler meist einen Menschen, der objektive Antworten, gesicherte Meßwerte als Symbole der menschlichen Erkenntnisse erarbeitet. Wo aber

liegen die Wurzeln der schöpferischen wissenschaftlichen Leistung?

Der Wissenschaftler stellt Fragen. Nicht nur zu Beginn, auch während und sogar am Schluß seiner Arbeit stehen Fragen, häufig sogar unerwartete, die unsern Blickwinkel öffnen, Fragen, die nicht nur den Wissenschaftler selbst, sondern auch – so hoffen wir – den Außenstehenden zur Tat drängen.

Die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Technik sind am ETH-Symposium 1973 eingehend und von mancher Warte aus zur Sprache gekommen. Es kann sich hier nicht darum handeln, die dort diskutierten Probleme hier zusammenfassend zu wiederholen³. Die Erkenntnis der Grenzen des Wachstums, an die unsere Zivilisation – vorläufig immer noch exponentiell zunehmend – stößt, war evident.

Ein freiwilliger Verzicht drängt sich auf, bevor er durch die Störung des biologischen und materiellen Gleichgewichts erzwungen wird. Verzichte sind nötig für den einzelnen wie für kollektive Einheiten politischer und wirtschaftlicher Art.

Es kann weder darum gehen, mit Akribie Fehler der Systemanalyse von FORRESTER, der Arbeiten von MEADOWS und des Klubs von Rom zu suchen, noch durch willfähige Auftragsforschungsinstitute optimistischere Zukunftsprognosen aufstellen zu lassen.

Zukunftsoptimismus ist nötig, aber ein solcher, wie ihn z.B. MARTIN LUTHER ausgesprochen hat: «Selbst wenn ich wüßte, daß die Welt morgen unterginge, würde ich heute einen Apfelbaum pflanzen.» Beherzigen wir diese Worte!

Hier geht es darum, die Stellung der Technischen Hochschulen in unserer heutigen Welt zu beleuchten und soweit als möglich zu den Wurzeln ihrer Aufgaben vorzustoßen.

Gehen wir von einigen aktuellen, scheinbar äußerlichen Fragen des Hochschullebens aus!

¹ Rektoratsrede am ETH-Tag 1973.

² Vgl. D.L. MEADOWS, D. MEADOWS, E. ZAHN und P. MILLING, *Die Grenzen des Wachstums*, Stuttgart 1972.

³ Sämtliche Vorträge werden in einem Band erscheinen, der vom Verlag Birkhäuser in Basel herausgegeben wird.

Voranmeldungen, Numerus clausus, Aufnahmeprüfungen, Losentscheid für Aufnahmen sind aktuelle Probleme mancher Fakultäten schweizerischer Universitäten. Sie sind Zeichen des Andranges zur höhern Bildung; sie machen die Überfüllung unserer Hochschulen offenbar. Die heutige Kritik an Struktur, Arbeit und Zielen der Hochschulen, die nie zuvor ein solches Ausmaß annahm, läßt zwar nur schwer verstehen, warum die Hochschulen dermaßen überfüllt sind.

In dieser Situation ist es merkwürdig, daß wir einen Stillstand oder sogar einen Rückgang des Interesses für einige – man darf wohl sagen – wesentliche Abteilungen unserer eigenen Hochschulen feststellen müssen. Wo sind die Ursachen dafür zu suchen?

Es ist wohl richtig, sich zunächst auf diejenige Studienrichtung zu konzentrieren, mit der man aus der eigenen Tätigkeit in der Industrie und an der ETH am besten vertraut ist, nämlich auf die Chemie; die Chemie, so wie sie an der ETH vertreten ist, mit ihren Übergängen zu den drei wichtigsten Nachbargebieten, zur Physik über die physikalische Chemie, zu den Ingenieurdisziplinen über die chemische Verfahrenstechnik und zur Biologie über Biochemie und Molekularbiologie.

Von zwei Tatsachen müssen wir ausgehen:

Wir stellen einmal fest, daß die Zahl der Chemiestudenten an der ETH in den letzten dreißig Jahren nur wenig zugenommen hat. Während dieser Zeit ist die Gesamtzahl der ETH-Studenten von 2000 auf 6000, d. h. auf das Dreifache, gestiegen. Der leichte und recht stetige Zuwachs der Chemiestudenten ist 1972 durch einen starken Rückgang von 140 auf 85 Studenten im 1. Semester unterbrochen worden. 1973 ist diese Zahl nochmals etwas kleiner geworden (79).

Der geringe Anstieg der Zahl der Chemiestudenten in den fünfziger und sechziger Jahren steht in merkwürdigem Gegensatz zum damaligen Bedarf der florierenden schweizerischen chemischen Industrie.

An den meisten unserer Ingenieurabteilungen sind die Verhältnisse nur insofern etwas anders, als nach starken Zunahmen in den fünfziger und sechziger Jahren die rückläufige Bewegung bereits einige Jahre früher eingesetzt hat als in der Chemie. Ob die Zunahme der Maschinen- und Elektroingenieurstudenten im Jahre 1973 signifikant ist, sei dahingestellt.

An der Abteilung für Naturwissenschaften, die im wesentlichen durch Biologie und Chemie mit all ihren Zwischengebieten sowie durch die Erdwissenschaften Geologie, Kristallographie-Mineralogie und Geographie geprägt wird, folgten einem steten Zuwachs in den letzten vier Jahren unregelmäßige Zu- und Abnahmen.

Was steht hinter diesen Bewegungen? Versuchen wir, der Frage *sine ira et studio* beizukommen! Es wäre wohl nicht richtig, den Rückgang zum vorneherein als bedauerlich oder gar anstößig zu bezeichnen, geschweige denn zu fordern, er sei um jeden Preis zu korrigieren.

Ausgerechnet in der heutigen Zeit, in der man sich mit den Grenzen des Wachstums der menschlichen Welt befaßt, wäre der Bezug einer solchen Ausgangsstellung fehl am Platz.

Man hört oft die Meinung, der Rückgang sei ein Zeichen dafür, daß die heutige junge Generation, geboren und aufgezogen in einer Welt des Wohlstandes, den Weg des geringsten Widerstandes gehe und deshalb einem streng geordneten Studium mit genau festgelegten Stundenplänen, Übungen und Prüfungen ausweiche.

Unseres Erachtens ist diese Feststellung mindestens in einer solchen Verallgemeinerung nicht richtig. Dazu einige Tatsachen: Die erwähnten Studienrichtungen beruhen alle auf der Mathematik und Physik. Sie gehören zu den Wissenschaften, die man im internationalen Hochschuljargon oft *hard science* nennt. *Hard science* stellt ohne Zweifel harte Anforderungen an jeden, der sich damit intensiv beschäftigt. Sicher sind die Anforderungen in anderen Hochschulstudien auch hart; im Unterschied zu den Natur- und Ingenieurwissenschaften erlauben sie aber wohl ein allmähliches Einlaufen und zeigen ihre Härte und ihre Schwierigkeiten erst, wenn man zu ihrem Kern vordringt. Das Meßbar-Quantitative der Natur- und Ingenieurwissenschaften zeigt sich hingegen schon am Anfang als Härte.

Daß die heutige Jugend nicht durchwegs diese Anfangsschwierigkeiten scheut, beweist die Abteilung für Mathematik und Physik der ETH – Gebiete, die wohl am ehesten mit *hard science* identifiziert werden können. Das Interesse für das Studium der Mathematik und Physik scheint bis jetzt kaum nachgelassen zu haben.

Analoges läßt sich auch von den Universitäten sagen: Trotz langem Studium und harten Anforderungen in den vorklinischen Semestern ist der Zudrang zum Medizinstudium heute größer als je zuvor.

Am ETH-Symposium 1973 wurden eine Reihe von Problemen diskutiert, mit denen sich die Menschheit als Ganzes sehr real auseinandersetzen muß. Es ist zu wünschen, daß viele Teilnehmer daraus für sich persönlich Konsequenzen ziehen werden. Der einzelne muß sich überlegen, wie er sein eigenes Können, seine persönlichen Talente zur Lösung der Probleme einsetzen kann.

Schauen wir wieder zunächst den Chemiker an. Dem Chemiker fallen in Zukunft wichtige und grundsätzlich verschiedene Aufgaben zu. In den vergangenen ersten hundert Jahren der modernen Chemie stand die Gewinnung neuartiger chemischer Verbindungen aus einem scheinbar unerschöpflichen Vorrat von Naturstoffen der anorganischen und organischen Welt im Vordergrund – das Ergebnis sind einige Millionen chemisch genau beschriebener Stoffe. In Hochschul- und Industrielaboratorien haben Forschungschemiker diese Verbindungen erstmals hergestellt. Sie wurden stolz und freudig begrüßt. Im Laboratorium lag das Primat; war das Laboratoriumspräparat einmal hergestellt, so sah man es fast als selbstverständlich an, daß es der Betriebschemiker in der Produktionsanlage auch in beliebig großen Mengen

herstelle. Die wesentliche Aufgabe des Betriebschemikers war wirtschaftlich-kaufmännischer Art: Produktionsmenge und -preis.

Gewiß, dieses Bild der industriellen Chemie ist gewaltig vereinfacht. Ausnahmen bestätigen nur die Regel. So wurden die Ammoniaksynthese von HABER und BOSCH ausgelöst durch die Knappheit an Stickstoffprodukten während des Ersten Weltkrieges; die Kohleverflüssigung von FISCHER und TROPSCH erhielt die entscheidenden Impulse aus dem Mangel an Erdöl im Deutschen Reich der Zwischenkriegszeit und aus den Autarkiebestrebungen der unseligen nationalsozialistischen Jahre. Knappheit und Mangel waren die Triebfedern jener Entwicklungen. Heute sehen wir ähnlichen Entwicklungen entgegen – nicht zuletzt auf Grund der systemanalytischen Arbeiten von FORRESTER am M. I. T.

Gibt es da nicht Arbeit für den Chemiker, der einen fachmännischen Beitrag für die Zukunft leisten möchte, – für den Chemiker, der seine Aufgaben nicht mehr in der bedenkenlosen Ausbeutung, sondern in einem optimalen Einsatz der Rohstoffe der Erde sieht, – für den Chemiker, der nicht mehr ungezählte neue Verbindungen herstellt, die man ohnehin nicht innert nützlicher Frist auf Verwendbarkeit prüfen kann (das ist heute der Fall in der pharmazeutisch-chemischen Industrie), – für den Chemiker, der Produkte und Herstellungsverfahren im Gegenteil nach allen Gesichtspunkten, nicht nur nach kommerziellen, optimiert? Daß er dabei Fragen des Umweltschutzes, der Haltbarkeit und Wiederverwendbarkeit beachtet, ist selbstverständlich.

Was hier kurz für die Chemie skizziert wurde, gilt mit grundsätzlich gleichem Ziel, aber in andern Problemkreisen und mit andern Methoden, für alle Ingenieurdisziplinen, aber auch für Biologie, Erdwissenschaften und Physik.

Wenn sich heute ein Maturand beispielsweise für das Studium als Kulturingenieur entschließt, weil er auf diesem Wege später einen persönlichen Beitrag zur Verbesserung des ökologischen Gleichgewichtes auf einem kleinen Teil der Erdoberfläche leisten möchte, so stellt dies – *pars pro toto* – der heutigen Jugend ein sehr hoffnungsvolles Zeugnis aus.

Eine ähnliche Motivierung liegt bei einem Architekturstudenten vor, der sich für neue, unserer Zeit angepaßte Siedlungsformen interessiert und deshalb bereit ist, alle die technischen Einzelheiten in Theorie und Praxis zu lernen, die der Fachmann zur Verwirklichung seiner Pläne braucht⁴.

Es ist die vornehmste Aufgabe der Dozenten, solche Studenten zu fördern. Wir wollen ihnen zeigen, daß sie sich zuerst ein solides Werkzeug in einem Gebiet erwerben müssen – sei es nun Kulturtechnik, Ökologie, Architektur oder Chemie, Maschinenbau, Tierzucht oder Biologie, um einige weitere Beispiele zu erwähnen. Dabei werden sie erkennen, wie alle diese Gebiete sich von den exakten Naturwissenschaften und ihrer quantitativ-messenden Denkweise ableiten.

Erst wenn dieser grundlegende Teil der Ausbildung gelungen ist, wird es möglich sein, komplexe Zusammenhänge von Gebieten aufzuzeigen und konstruktive Lösungen dafür auszuarbeiten. Es ist heute einfach, Mißstände unserer Zivilisation zu erkennen und an den Pranger zu stellen – es ist auch einfach, dafür einseitige Fachperspektiven und mangelnde Einsicht in interdisziplinäre Zusammenhänge verantwortlich zu machen. Es ist jedoch nicht einfach, Verbesserungsvorschläge zu entwickeln, die alle Aspekte der Einzelgebiete in sich konsistent und interdisziplinär, d. h. in Tiefe und Breite, widerspruchsfrei erfassen.

Tiefe und Breite: darauf werden wir am Schluß dieser Betrachtungen im Zusammenhang mit dem Begriff Interdisziplinarität eingehen.

Kommen wir auf die Frage der Studentenzahlen zurück! Es steht unseres Erachtens fest, daß die absolute Zahl der angehenden Studenten, die gewillt sind, ein bereits in den ersten Semestern anspruchsvolles, hartes Studium zu ergreifen, heute nicht kleiner ist als vor einem oder zwei Jahrzehnten. Die Gesamtzahl der Mittelschulabsolventen hat jedoch enorm zugenommen. Wir müssen die Bedenken mancher Mittelschullehrer ernst nehmen, wonach die enorme Zunahme der Schülerzahlen die Bildungs- und die Ausbildungsmission der Mittelschullehrer erschwert. Dies trifft besonders solche Lehrer, die ihren Beruf als echte Berufung auffassen. Sie müssen feststellen, daß die Identität Maturität = Hochschulreife für viele Mittelschulabsolventen die Gültigkeit zu verlieren droht. Diese fragwürdige, zahlenmäßig aber starke Gruppe von Mittelschulabsolventen findet man zwar später wohl nur zum kleineren Teil an Technischen Hochschulen, an den naturwissenschaftlich-philosophischen und den medizinischen Fakultäten der Universitäten. Direkt und indirekt führt diese Gruppe aber bei allen Fakultäten und Abteilungen zu einer Nivellierung nach unten.

Eine Antwort auf diese Entwicklung wäre eine Beschränkung der Studentenzahl an Technischen Hochschulen und Universitäten. Sie scheint aber nicht der richtige Weg zu sein, wenn wir an die Tatsache denken, daß in Maturklassen bis zu 40% der Schüler sich nicht oder noch nicht für ein Hochschulstudium entschließen können.

Es müssen und können jedoch Wege gefunden werden, um die berechtigte Forderung nach Chancengleichheit auf der Mittelschulstufe nicht dadurch zu erkaufen, daß eine große Zahl ungeeigneter Mitläufer mitgeschleppt werden muß. Sie belasten die Mittelschule über Gebühr. Zugegebenermaßen ist es ein politisch heißes Eisen. Es ist zu hoffen, daß sich die Räte in Bund und Kantonen nicht scheuen, es in naher Zukunft anzufassen. Auch hier gibt es Grenzen des Wachstums!

⁴ Vgl. dazu den Vortrag von M. BURCKHARDT an der STA-Tagung «Technik für den Menschen», 22. Februar 1974 in Zürich (erscheint in der *Schweizerischen Bauzeitung*).

Sicher dürfen wir den prozentualen Rückgang der Studenten technisch-naturwissenschaftlicher Disziplinen nicht einfach unbesehen hinnehmen. Wir sollten uns aber entschieden gegen das Primat rein quantitativer Überlegungen wenden: Wollen wir wirklich mehr technische Akademiker, ohne daß wir uns überlegen, ob sie auch gut qualifiziert sein werden? Wäre nicht ein Mehr an Format und an Profil einer größeren Zahl vorzuziehen – gerade für die auf uns zukommende grundsätzlich gewandelte innere und äußere Welt?

Gehen wir von diesem Gesichtspunkt aus auf Motivierungen für technisch-naturwissenschaftliche Berufe ein!

Heute bewegen technische Erfindungen und Entdeckungen den Menschen viel weniger, als dies vor fünfzig oder hundert Jahren der Fall war. Sie haben viel von ihrer Faszination verloren. Es gibt dafür wohl zwei Gründe: Erstens gibt es je länger desto weniger «Entdeckungen auf einen Schlag», d. h. Entdeckungen, bei denen eine geniale oder ingenieure Idee rasch und von einem einzelnen Menschen grundsätzlich verwirklicht werden kann. Heutige Entdeckungen haben eine lange Entwicklungsgeschichte mit Sackgassen komplexen, vom einzelnen kaum mehr überschaubaren Zusammenhängen. Zweitens sind wir dem Fortschritt, der Entdeckung gegenüber grundsätzlich skeptisch geworden. Die Erfahrung hat gelehrt, daß es kaum Entdeckungen gibt, die nicht Schattenseiten haben. Faszination ist jedoch für den jungen, begeisterungsfähigen Menschen eine Notwendigkeit!

Steht aber nicht ausgerechnet den technischen Berufen in Zukunft eine Mission offen, deren Entwicklung und Förderung ein vornehmstes Anliegen der naturwissenschaftlichen und technischen Hochschuldozenten sein könnte? Die Technik von morgen ist berufen, manche krankhafte Entwicklungen der menschlichen Zivilisation von gestern und heute zu heilen!

Dies setzt noch mancherorts ein Umdenken voraus. Nehmen wir als Beispiel den Umweltschutz in der chemischen Industrie! Er darf nicht als notwendiges und kostspieliges Übel betrachtet werden, sonst fühlt sich der Chemiker, der auf diesem Gebiet eingesetzt ist, ebenfalls als notwendiges Übel – und damit ist sein Elan, mit dem er sich einst für die Chemie begeisterte, zerstört!

Eigene Beobachtungen im Unterricht und in der Forschung lassen erkennen, daß das Interesse der Chemiker nicht nur für auf der Hand liegende Probleme des Umweltschutzes, sondern auch für komplexere Zusammenhänge technisch-chemischer Vorgänge vorhanden ist und weiter entwickelt werden kann. Themen wie Forschungsplanung und -management, Verantwortung des Chemikers gegenüber seinen Untergebenen u. ä. können und sollen bereits mit angehenden Chemikern, d. h. in einem Zeitpunkt, da ein Mensch noch sehr aufnahme- und begeisterungsfähig ist, behandelt werden⁵. Glücklicherweise gehört heute auch die Systemanalyse zum Unter-

richt der Chemie-Ingenieure. Bestimmt wird sie in zehn Jahren noch viel wichtiger sein, sofern man sie nicht als rein technisch-kaufmännisch ausgerichtetes Prozeß-optimierungsverfahren betrachtet.

Stoßen wir zum Kernpunkt meiner heutigen kritischen Besinnung vor!

Wir wollen versuchen, den Wurzeln des Selbstverständnisses Technischer Hochschulen in einer Zeit, die der Technik nicht mehr mit einem unkritischen Positivismus gegenübersteht, nachzugehen!

Zwei Ansätze, vorher nur kurz gestreift, mögen uns hier weiterhelfen:

1. Interdisziplinäre Zusammenhänge, ein Begriff, der erst in den letzten Jahren in den allgemeinen Sprachgebrauch aufgenommen wurde, der aber oft – zu oft – nur als leeres Schlagwort gebraucht wird.
2. Das unterschiedliche Interesse, das in den letzten drei Jahrzehnten bei der Studienwahl der Physik und der Chemie als nächstverwandten Disziplinen der Naturwissenschaften entgegengebracht wurde.

Beginnen wir mit dem zweiten Ansatz!

Hat sich die Jugend nach dem Zweiten Weltkrieg von den Möglichkeiten, die Kernenergie- und Festkörperphysik aufzeigten, wirklich stärker anziehen lassen als von den Entwicklungen der Chemie in der gleichen Zeit – Entwicklungen, von denen man sagen könnte, sie ständen unserem Körper viel näher, wenn wir etwa an Pharmazeutika oder Chemiefasern denken – Entwicklungen, die gerade in der Schweiz von einer einzigartig erfolgreichen Industrie mitgetragen wurden?

Nein, die Gründe müssen wesentlich tiefer liegen!

Schauen wir uns ganz kurz, summarisch die Entstehung der Chemie und der Physik von heute an! Die *experimentelle* Chemie begann 1772, als LAVOISIER die Bedeutung der Waage für die Untersuchung chemischer Reaktionen erkannt hatte. Für das *theoretische* Verständnis chemischer Verbindungen und Vorgänge waren die sechziger Jahre des 19. Jahrhunderts entscheidend: die Entdeckung des Periodensystems der Elemente, die Entwicklung des Begriffs der chemischen Valenz. Diese Marksteine ermöglichten den bis heute andauernden Bau eines Gebäudes von Millionen chemischer Verbindungen.

Der entsprechende Durchbruch des theoretischen Verständnisses der modernen Physik erfolgte in den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts mit der Quantenphysik. Die ETH war dabei mit der Voraussage eines der ersten Elementarteilchen, des Neutrinos, durch WOLFGANG PAULI (1931) beteiligt. Möge dies allen heutigen ETH-Angehörigen Ansporn sein, sich auch heute dafür einzusetzen, daß die ETH an der Front des Wissens steht.

Daß dieser Durchbruch in der Physik sechzig Jahre jünger, wenn man will moderner ist als derjenige in der Chemie, erklärt kaum die Einstellung der Maturanden

zu Physik und Chemie. Dem stehen schon die Nicht-Anschaulichkeit der Quantenphysik und die Schwierigkeit ihrer Darstellung auf der Mittelschulstufe entgegen. Wir wissen jedoch, daß die Quantenphysik nicht nur die Newtonsche Physik in einen größeren Zusammenhang gestellt hat, sondern daß sie auch die Grundlage, d. h. die Wurzeln der Chemie bildet.

Deutet dieses Interesse an der Physik nicht darauf hin, daß der aufgeschlossene junge Mensch, der die Zukunft vor sich hat, bewußt oder unbewußt die Wurzeln seiner Existenz sucht?

Hier können uns, weit ausholend, die Erkenntnisse der Biologen über die Evolution den Schlüssel zu einer möglichen Antwort geben⁶.

Die Evolution von Lebewesen und ihrer Organe, in Menschenaltern gemessen, geht sehr langsam vor sich. Überblicken wir die Entwicklung des Menschen seit den Prähomíniden, so dürfte der letzte wesentliche Schritt, der Übergang vom Nomaden zum Ackerbauer, in der frühen Steinzeit, also vor mindestens zehntausend Jahren, erfolgt sein.

Spätestens zu jenem Zeitpunkt hat der Mensch begonnen, mit dem Intellekt Leistungen zu vollbringen, die ihm ermöglichten, die Darwinschen Selektionsprinzipien mehr und mehr zu umgehen: Werkzeuge, Kleidung, Vorratshaltung, Behausung, Sprache, Technik, Wissenschaften wirken in diesem Sinne.

Die Grundlage dafür bildete wohl, wie die heutige Anthropologie und die Hirnforschung zu zeigen beginnen, die Hirnstruktur des Steinzeitmenschen. Diese ist von der unsrigen nicht wesentlich verschieden. Sie zeichnet sich vor allem durch große Funktionsreserven des Großhirns aus – Funktionsreserven, die uns heute z. B. bei Unfällen, bei denen Hirnteile verletzt werden, zugute kommen. Die Hirnforschung brachte weitere Anhaltspunkte dafür, daß das Großhirn und dessen assoziativ wirksamen Teile lernfähig sind. Gleichzeitig ergab sie jedoch, daß im Zwischenhirn Mechanismen wirken, die eine Voraussetzung für das Funktionieren des Großhirns sind. Sie steuern dessen Programmierung – um einen Ausdruck aus den Computer-Wissenschaften zu brauchen. Die Zwischenhirnmechanismen scheinen sich aber beim Einzelindividuum nicht veränderten Umweltbedingungen anzupassen. Sie können sich also nur sehr langsam, durch Evolution im Laufe vieler Generationen, ändern.

Evolutionenmäßig-biologisch gesehen unterscheidet sich unser Hirn, dies muß wiederholt werden, grundsätzlich nicht von dem unserer Vorfahren vor zehntausend Jahren.

Was heißt das nun? Es bedeutet, daß unser heutiges Hirn immer noch auf die *Umwelt* des Steinzeitmenschen abgestimmt ist.

Wie war diese Umwelt? Jener Mensch lebte in kleinen Verbänden – man mag Sippen oder Großfamilien sagen – von 20 bis 100 Menschen. Dies war sein Horizont, seine Welt!

Doch was ist unsere Welt? Es wäre übertrieben, zu sagen, daß unsere Welt aus den 3,6 Milliarden Menschen unserer Erde besteht – sicher ist es jedoch, daß wir in größeren Verbänden als 20 oder 100 Menschen leben!

Liegt nicht gerade hier die Wurzel des Unbehagens in unserer heutigen Zivilisation und Kultur? Müssen wir uns nicht fragen, ob wir einen Raum suchen, in dem wir uns verwirklichen können, daß dieser Raum aber kleiner ist als der, in dem wir auf Grund der «Organisationsformen» der Menschheit des 20. Jahrhunderts leben?

Es ist eine Tatsache, daß sich der Mensch in der modernen Gesellschaft einsam fühlt. Wird die subjektive Einsamkeit nicht immer bedrückender, je mehr sich die Großfamilie und die dörfliche Gemeinschaft auflösen? Entsprechen diese Gemeinschaften, die wir heute gerne als konservativ, traditionell bezeichnen, den zuvor erwähnten Verbänden von 20 bis 100 Menschen in der Steinzeit? Sind unsere heutigen Verbände nicht zwar meist effizient, aber doch zufällig zusammengesetzte und unpersönliche Organisationsstrukturen der Zivilisation? Müssen wir vielleicht in den uns Ältern unverständlichen Gruppenbildungen der letzten Jahre, den nach Indien ziehenden Hippies, verzweifelte Versuche erkennen, den unpersönlichen Zweck-Ziel-Verbänden zu enttrinnen? Sind das Reaktionen von seelisch nicht mehr beheimateten Menschen?

Der Leser wird sich vielleicht wundern, daß ein Chemiker solche Fragen stellt. Von einem Vertreter der technischen Wissenschaften erwartete man dies früher sicher nicht. Von einem Vertreter der exakten Naturwissenschaften nahm man üblicherweise an, er werde sich im allgemeinen höchstens über die Schwierigkeiten einer gemeinsamen Sprache mit Vertretern der «unexakten» Geistes- und Sozialwissenschaften auslassen.

Gewiß, der Typ des technischen und des Naturwissenschaftlers, dessen Sicht sich auf sein Laboratorium konzentriert, der darin aufgeht, existiert auch heute. Es gibt aber eine Reihe von Symptomen, daß das Zeitalter des reinen Intellektuellen dem Ende entgegen geht. Ein typisches Beispiel ist die aktive Auseinandersetzung vieler Wissenschaftler mit moderner Kunst. KARL SCHMID hat darauf und auf andere Anzeichen, wie sie vor allem in Europa zu beachten sind, in *Hochmut und Angst* hingewiesen. Mit Recht sagt er, daß diese Vorgänge zwei Jahrhunderte nach der Thronbesteigung der aufklärerischen Vernunft fällig sind⁷.

Aufklärung und Vernunft, ihr Beginn im 18. Jahrhundert – wer wird dabei nicht an LESSINGS *Nathan den Weisen* erinnern, an das erste große Zeugnis der Aufklärung im deutschen Sprachraum!

⁵ H. ZOLLINGER, *Chimia* 26 (1972) 179.

⁶ Gespräche mit Prof. Dr. K. AKERT und Arbeiten von Prof. Dr. H. KUMMER, Hirnforschungs- bzw. Zoologisches Institut der Universität Zürich, bildeten den Ausgangspunkt für die folgenden Gedanken.

⁷ KARL SCHMID, *Hochmut und Angst*, Artemis-Verlag, Zürich 1958, S. 155.

Lessing läßt Nathan sagen:

«Ein Mann wie du bleibt da
nicht stehen, wo der Zufall der Geburt
ihn hingeworfen, oder, wenn er bleibt,
bleibt er aus Einsicht, Gründen, Wahl des Bessern.»

«Einsicht, Gründe»: dafür treten auch wir im 20. Jahrhundert noch aus Überlegung und Überzeugung ein!

Doch «Zufall der Geburt»? Ist darin nicht ein Gegensatz angedeutet zu den vorher geäußerten Fragen nach den seelisch nicht mehr beheimateten Menschen, nach der Entwurzelung in der modernen Zivilisationsgesellschaft? Dürfen wir sogar noch weiter gehen und behaupten, daß ein Zufall der Geburt sich nicht mit den Gedanken über die Evolution des Menschen, insbesondere seines Hirnes, in den letzten zehntausend Jahren verträgt? Sind wir nicht berechtigt, zu vermuten, daß das Zeitalter der Aufklärung weder das Sensorium noch das Wissen über solche Zusammenhänge haben konnte, da das exponentielle Wachstum unserer Zivilisation im 18. Jahrhundert noch keinen Anlaß zu solchen Überlegungen bot?

Kurz – die Zeit scheint gekommen zu sein, daß wir Naturwissenschaftler und Ingenieure uns ganz bewußt mit dieser Art von Fragen befassen, solche Fragen in unser Bewußtsein aufnehmen und verarbeiten. Bewußtsein sei dabei klar und unmißverständlich im Sinne der Psychoanalyse definiert.

Wir müssen uns bewußt werden, daß eine Verwurzelung in der Tiefe nötig ist. «Verwurzelung in der Tiefe» steht aber im Gegensatz zu Fortschritt. Fortschritt drängt dynamisch in die Weite, in die Zukunft. Fortschritt führt zu sichtbaren Erfolgen.

Die japanische Kultur kennzeichnet Erfolg und Fortschritt mit dem Symbol des Fächers. Die Strahlen des geöffneten Fächers bedeuten die Zeit, vor allem die Zukunft; die nach außen immer größere Breite der Sektoren des Fächers symbolisieren für den Japaner, daß der Fortschritt und der Erfolg mit der Zeit immer größere Gebiete umfassen wird.

Mit der Zeit wird aber auch der Abstand zwischen den Strahlen größer; ihr Zusammenhang wird kleiner und kleiner. Der radiale Fortschritt führt zu einem Verlust an Gefühl für die Wechselwirkung der Teile.

Es gibt deshalb keine Riesenfächer in Japan – Fortschritt des Intellekts und bindende Mitte müssen im Gleichgewicht bleiben!

Auch an Universitäten und Technischen Hochschulen gibt es Gleichgewichte von Tiefe und Weite, Fortschritt und Mitte!

Man denke an Lehre und Forschung. Die das Zentrum umkreisenden bindenden Kräfte entsprechen der Lehre, die sich öffnende, radiale Wirkung des Intellekts der Forschung. Lebendig und stark sollen sie im Gleichgewicht zueinander stehen. *Echte* Fortschritte in der Forschung, aber auch in der Lehre sind sicher nur mit Tiefe und Weite, nicht aber mit Weite allein möglich.

Sind das jedoch nicht alles leere Worte? Erwartet nicht gerade die junge Generation konkrete Fakten?

Diese Frage bringt uns zurück zu den Naturwissenschaften, zur Physik im besondern. Unseren Studenten ist das *Dualitätsproblem* von Korpuskel und Welle aus der Physik bekannt. Sie wissen auch, mindestens im Prinzip, die Lösung, die HEISENBERG 1927 mit der Unschärferelation gab⁸. Danach können wir nicht gleichzeitig Impuls und Lage eines Elementarteilchens kennen. So ist z. B. jede Messung der Lage eines Elektrons mit Hilfe eines geeigneten Meßgerätes mit einem Impulsaustausch zwischen Elektron und Meßgerät verbunden. Je genauer die Lage des Teilchens ermittelt werden soll, um so größer ist dieser Austausch, desto unschärfer, unbestimmter ist deshalb die Aussage.

Heisenbergs Unschärfeprinzip gehört zur Physik, innerhalb dieser zur Quantenphysik.

Eine merkwürdige zeitliche Koinzidenz machte aber bereits 1927 klar, daß dem Unschärfeprinzip eine viel weiter gehende Bedeutung zukommt. Im selben Jahr berichtete NIELS BOHR⁹ erstmals über das, was er *Komplementarität* nannte und wofür HEISENBERGS Unschärferelation das beste Beispiel aus dem Gebiete der exakten Naturwissenschaften war. Nach Bohr «dient der Begriff der Komplementarität (zunächst einmal) als Symbol für die in der Atomphysik auftretende fundamentale Begrenzung unserer gewohnten Vorstellung einer von den Beobachtungsmitteln unabhängigen Existenz der Phänomene». Bohr ging aber sofort über den Rahmen der Quantenphysik hinaus und wies schon 1927 wie auch in spätern Arbeiten darauf hin, daß Komplementarität oft auch in der Analyse und Synthese von Erfahrungen besteht, die wir auf andern Gebieten menschlicher Erkenntnis machen, so in der Biologie, in der Ethnologie und in der Psychoanalyse.

Von grundlegender Bedeutung für das Erkennen komplementärer Vorgänge oder Situationen ist das, was man eine *ausschließende Dualität* nennen kann. Ein komplementäres Problem läßt sich nur dann vollständig erfassen, wenn es von zwei sich ausschließenden Standpunkten aus angegangen wird. Einfache Probleme hingegen kann man von beliebiger Seite, von links oder von rechts, angehen und erschöpfend beantworten.

NIELS BOHRs Komplementaritätsprinzip hat kaum die Breitenwirkung erlangt, die ihr gebührt. Gewiß, es waren nicht die Mindesten, die damit arbeiteten, an der ETH z. B. WOLFGANG PAULI auf dem Gebiet der Erkenntnistheorie¹⁰, KARL SCHMID für die Bildungsaufgabe des Gymnasiums von heute¹¹.

Ein Beispiel aus der Farbstoffchemie mag zeigen, daß der Komplementaritätsbegriff Bohrs an konkreten Problemen diskutiert werden kann. Zur Farbstoffchemie gehört ein Verständnis für das Phänomen der Farbe. Dies gilt besonders heute, wo Farbprezturen immer mehr mit Farbemissionsgeräten aufgestellt werden, die auf der Farbmatrik beruhen. Wir wissen, daß der Eindruck Weiß durch Kombination von drei geeigneten farbigen

Lichtern entsteht und daß farbloses Licht durch ein Prisma in die Spektralfarben zerlegt wird. Umgekehrt widerspricht es unserem Gefühl, daß im Weiß alle Spektralfarben enthalten sind: Weiß ist weder gelblich, rötlich, bläulich noch grünlich.

Diesem Gegensatz liegt GOETHES heftige Ablehnung von NEWTONS Farbenlehre zugrunde. Er führte ihn nicht nur zur Entwicklung einer eigenen Farbenlehre, sondern auch – im zweiten, sogenannten polemischen Teil der Farbenlehre – zu einer umfangreichen Diskussion, in der Goethe Newtons Versuche bis in alle experimentellen Einzelheiten kritisiert.

Newtons und Goethes Auffassung von Weiß schließen sich aus; sie sind komplementär zueinander.

Die neueren neurophysiologischen Erkenntnisse über die Verarbeitung von Lichtreizen in der Netzhaut des Auges, im Sehnerv und im Hirn haben ergeben, daß die physikalisch verständlichen photochemischen Vorgänge in der Netzhaut nach einem Dreifarbensystem erfolgen, daß diese Reize aber in den Ganglienzellen nach einem Gegenfarbenprinzip von drei Gegenfarbenpaaren Rot/Grün, Gelb/Blau und Weiß/Schwarz weiterverarbeitet werden¹². Psycholinguistische Farbbezeichnungenversuche, die wir an der ETH sowie mit Angehörigen außereuropäischer Sprachen durchführten, bestätigen grundsätzlich dieses Gegenfarbenprinzip. Sie zeigten aber gleichzeitig Komponenten, die nicht biologischen Ursprungs sein können, sondern von der kulturellen Umgebung der Versuchspersonen beeinflusst sind^{12, 13}. Der komplementäre Charakter von Farbreiz und -empfindung bleibt deshalb auch jetzt noch bestehen.

Faszination durch die Farbe könnte man die vielen Versuche seit LEONARDO DA VINCI nennen, in denen man der Farbenempfindung mit Farbkreisen, -kugeln, -kegeln, -doppelkegeln und andern Körpern, kurz mit *Symmetrie*, beizukommen versuchte. Eine Lösung war bis jetzt nicht möglich; sie wird es kaum je sein, sofern Farbe ein echt komplementäres Phänomen ist. Der Begriff *Symmetrie* selbst wurzelt vermutlich ebenfalls in einem komplementären Begriff. Der Mathematiker HERMANN WEYL verkündete auf unnachahmbar klare Weise den Triumph der *Symmetrie*, wonach es keinen innern Unterschied, keine Polarität zwischen Links und Rechts gäbe¹⁴. Der theoretische Nachweis der Nicht-Erhaltung der Parität symmetrischer physikalischer Vorgänge durch YANG und LEE sowie die experimentelle Bestätigung durch WU lassen aber vermuten, daß links/rechts doch ein echtes Dualitätsproblem ist¹⁵. Die große wissenschaftliche und praktische Bedeutung, die Symmetriefragen nicht nur in der Mathematik, sondern in wohl allen Natur- und technischen Wissenschaften zukommt, läßt es nicht an Gelegenheiten mangeln, auch hier auf die Wurzeln hinzuweisen und dadurch zum Nachdenken anzuregen.

Das Thema ließe sich weiterführen, etwa zur Frage der *Harmonie* in dem Sinne, ob bei ausschließenden Dualitäten ein übergeordnetes, umfassendes Drittes vor-

handen sei. So diskutierte kürzlich ein bekannter Genetiker, GUNTER STENT, die Entwicklungsgeschichte der Erkenntnis, daß Desoxyribonukleinsäure den genetischen Code aller Lebewesen bildet¹⁶. Er verglich die Tatsache, daß die erste Entdeckung durch AVERY im Jahre 1944 verfrüht war, mit PICASSO, der 1907 mit dem Gemälde *Demoiselles d'Avignon* seiner Zeit ebenfalls vorauseilte. Er glaubt hier im Strukturalismus des menschlichen Denkens und Fühlens ein übergeordnetes Prinzip zu sehen.

Solche Hypothesen sprengen jedoch Rahmen und Ziel von rein naturwissenschaftlichen oder technischen Vorlesungen. Unsere Aufgabe kann es nur sein, mit leicht erfassbaren konkreten Beispielen, etwa dem erwähnten Welle-Korpuskel- und dem Weiß-Problem, auf das Vorhandensein von ausschließenden Dualitäten hinzuweisen. Dies mag den Studenten anregen, über die Wurzeln unserer naturwissenschaftlich-technischen Fakten nachzudenken. Will er sich damit tiefer befassen, so sind dazu Vorlesungen und Kolloquien, vielleicht ein Selbststudium geisteswissenschaftlicher Disziplinen unumgänglich.

Kommen wir zum Schluß zu zwei Fragen zurück, die vorher kurz gestreift wurden. Zunächst die Feststellung, daß in der Physik der Rückgang der Studentenzahlen geringer ist als in den übrigen Natur- und technischen Wissenschaften. Könnte dies nicht das Ergebnis dessen sein, daß sich seit den fünfziger Jahren unbewußt die Nähe der grundsätzlichen Erkenntnisse der Quantenphysik aus den zwanziger Jahren bemerkbar macht?

Diese Vermutung, falls richtig, läßt sich getrost auf alle andern Disziplinen übertragen, insofern als auch in ihnen neben der Weite die Tiefe zu Wort kommen soll.

So aufgefaßt, besteht keine Gefahr, daß der ebenfalls erwähnte Begriff *interdisziplinär* zu breiter Oberflächlichkeit entartet. In einer Umkehrung von Weite und Tiefe kann ein Dozent gelegentlich in eine interdisziplinäre Weite gehen, wenn er sicher und fest in *einem* Gebiet der Forschung verwurzelt ist. Dies bewahrt ihn vor der Gefahr der Oberflächlichkeit. Nur der ist ihr unterworfen, der zuvor nirgends in die Tiefe ging.

⁸ W. HEISENBERG, *Z. Physik* 43 (1927) 172.

⁹ N. BOHR, Vortrag in Como am 16. September 1927, *Nature* 121 (1928) 580; vgl. K. M. MEYER-ABICH, *Korrespondenz, Individualität und Komplementarität*, Verlag Steiner, Wiesbaden 1965; vgl. auch N. BOHR, *Atomphysik und menschliche Erkenntnis I und II*, Verlag Vieweg, Braunschweig 1964 bzw. 1966.

¹⁰ W. PAULI, *Experientia* 6 (1950) 72.

¹¹ K. SCHMID, Fortschritt und Dauer, in *Zeitspuren*, Artemis-Verlag, Zürich 1967, besonders S. 70 ff.

¹² Literatur vgl. H. ZOLLINGER, *Vjschr. Naturforsch. Ges. Zürich* 118 (1973) 227.

¹³ H. ZOLLINGER, *Farbe* 22 (1973) 264.

¹⁴ H. WEYL, *Symmetrie*, Basel 1955.

¹⁵ C. N. YANG, The Law of Parity Conservation and other Symmetry Laws of Physics; T. H. LEE, Weak Interactions and Non-Conservation of Parity, Stockholm 1968.

¹⁶ G. STENT, *Sci. Amer.* 227 (1972) Nr. 6, S. 84.

An den Technischen Hochschulen sind wir dank unserem Fachwissen und -können in der Lage, Gefahren der technischen Entwicklung mit deren eigenen Werkzeugen, einer neuen Technik, zu bekämpfen. Voraussetzung ist der Wille der Dozenten und die Verwurzelung in der Tiefe. Dann wird es auch möglich sein, den an sich gesunden Oppositionswillen der jungen Generation auf konstruktive Ziele hinzuweisen. Die Jungen werden alsdann nicht mehr die ganze physische und intellektuelle Energie in Anklagen gegen die heutigen und gestrigen Zustände verpuffen, und der Verschleiß von Zeit

und Nervenkraft von vielen Dozenten, der damit verbunden ist, wird nicht länger andauern. Die Ereignisse der vergangenen Jahre seien allen Mahnung und Lehre zugleich!

Zum Schluß seien Worte zitiert, die einer der Größten, wenn nicht der Größte sagte, der Tiefe und Weite, Künstler und Ingenieur zu Beginn der rationalen Neuzeit in sich vereinigte, LEONARDO DA VINCI:

«Dove si grida, non è scienza» –

Wo man schreit, wächst keine Wissenschaft.