

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société
Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
= Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 149 (1969)

Vereinsnachrichten: Sektion für Logik und Philosophie der Wissenschaften

Autor: [s.n.]

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

17. Sektion für Logik und Philosophie der Wissenschaften

Sitzung der Schweizerischen Gesellschaft für Logik und Philosophie der
Wissenschaften

Samstag, 4. Oktober 1969

Präsident: Prof. Dr. E. WALTER, Tumbelenstrasse 72, 8330 Pfäffikon ZH
Sekretär: Hans IKLÉ, Im Rhyner, 8712 Stäfa

1. J. FLECKENSTEIN (Basel/München) – *Basels mathematisches Jahrhundert der Leibnizschen Philosophia naturalis*

Eine der bekanntesten Stellen im Kreuzgang des Basler Münsters ist der Epitaph von JAKOB BERNOULLI mit der logarithmischen Spirale, welche zwar der Steinmetz nur im Spezialfall der Archimedischen eingemeisselt hat, mit dem Epigramm «Eadem mutata resurgo». JAKOB BERNOULLI als ehemaligem Lizentiaten der Theologie war sicherlich die altgnostische Lehre von der *Αποκατάστασις παντῶν* bekannt, und wir sind fast versucht zu glauben, dass sie NIETZSCHES Genius, dessen naturwissenschaftliches Interesse nicht gering war, in diesem oft besuchten Sanktuarium sein baslerisches Trauma und Thaumata zum Hymnus Zarathustras von der ewigen Wiederkehr des Gleichen mitinspirierte.

Die erste Entdeckung einer KLEINSchen *W*-Kurve, welche gegenüber allen projektiven Transformationen invariant bleibt, ist sicherlich nicht Jakobs grösste mathematische Leistung; es ist bezeichnend, dass er eine einfache mathematische Symbolik für ein um so tieferes philosophisches Wissen benutzt. Johann dagegen benutzt eine wesentlich naivere Symbolik für die Titelvignette seiner Opera Omnia: den bellenden Hund unter seiner grössten mathematischen Leistung an der Zykloide «Supra Invidiam», nämlich des Neides seiner mathematischen Zeitgenossen.

Johann konnte unmöglich mit dem bellenden Hund seinen Bruder gemeint haben; wenn überhaupt einer, dann musste Johann um die tiefere Genialität seines Bruders gewusst haben, der weit über der Misera plebs academica der damaligen Provinzuniversitäten stand. Nicht nur, weil Johann von dem zwölf Jahre älteren Bruder die LEIBNIZsche Infinitesimalrechnung überhaupt erst gelernt hat, sondern weil er mehrmals erleben musste, dass ihm Jakob öffentlich den Meister zeigte, wenn es um die prinzipiellen Probleme des LEIBNIZschen Kalküls ging, den Johann freilich oftmals eleganter und allgemeiner anzuwenden wusste als Jakob selbst. Kein Geringerer als ERNST MACH hat in seiner «Geschichte der Mechanik» den berühmten mathematischen Streit der beiden Brüder, welcher sich eben an der Johannschen Zykloide entzündete, als den Antagonismus der beiden mathematischen Begabungen, der intensiv-kritischen und der universell-formalistischen, erkannt, der, wenn er in der eigenen Brust

eines Mathematikers stattfindet, den säkularen Genius erzeugt, sonst aber, auseinanderklaffend und auf zwei verschiedene ungleichmässig verteilt, zum offenen Kampf auflodert. So jedoch hat uns das Schicksal nicht zwei halbhatzige Mathematiker geschenkt, sondern zwei Hälften, welche zusammengefügt eben einen Mathematiker vom Range eines GALILEI und vielleicht NEWTONS darstellen, so dass wir Epigonen nicht mehr die Wahl zwischen den beiden zu treffen, sondern nur noch die Aufgabe haben, ihr Opus gemeinsam in würdiger Form darzustellen.

Die Zyklode Johannis ist zweifellos die mathematische Schicksalskurve des 17. Jahrhunderts, wie der Kreis die antike Mathematik charakterisiert. «*Omnia e circulo*» war die Maxime der antiken Geometrie; aber die Griechen wussten schon, dass die Zyklode durch Abrollen eines Kreises entsteht, und in der Epizykeltheorie des PTOLEMÄUS war sie ja die kosmische Kurve der Planetenbahnen. Aber die antike Mathematik war nicht imstande, jener Schleifenkurve Flächeninhalt zu bestimmen: Dies leistete erst das Barockzeitalter. An dieser noch halbantiken Kurve erprobten die Mathematiker des 17. Jahrhunderts ihre analytische Kraft. GALILEI eröffnete den Reigen; doch kam auch er noch nicht prinzipiell aus dem Rahmen der Archimedischen Infinitesimalmethoden heraus, indem er durch blosses Auswägen einer zyklodischen Zylinderscheibe auf den dreifachen Inhalt des erzeugenden Kreises beim Abrollen auf einer Geraden schloss. Erst komplizierte geometrische Infinitesimalmethoden führten bei ROBERVAL, PASCAL, FABRI u. a. zur strengen mathematischen Bestimmung des Zyklodeninhaltes, ja sogar zur Bestimmung des Inhaltes von Zyklodensegmenten: eine neuzeitlich differenzierte antike Mathematik hatte gewissermassen die von ARCHIMEDES für Kreis und Kegelschnitte allgemein entwickelten Methoden noch bis für die Zyklode weiterentwickeln können.

Den Vogel hat bei diesen Infinitesimalmethoden an der Zyklode HUYGHENS abgeschossen. GALILEI hatte schon das seinen Zeitgenossen als paradox erscheinende Resultat abgeleitet, dass ein Körper längs eines Kreisbogens schneller herunterfällt als auf der den Kreisbogen begrenzenden Sehne, obwohl doch diese Sehne die kürzeste Verbindungslinie zwischen den beiden Endpunkten der Fallbewegung ist. HUYGHENS konnte nun das noch frappantere Resultat erzielen, dass auf dem Zyklodenbogen Tautochronismus herrscht, das heisst, von welchem Ausgangspunkt man auf einem Zyklodenbogen auch einen Körper herunterfallen lässt, immer ist die Fallzeit dieselbe, eine Konstante, unabhängig von der Zyklodenbogenlänge. Wenn man also zwischen zwei symmetrischen Zyklodenbögen ein Pendel schwingen lässt, so ist die Schwingungszeit konstant, nämlich unabhängig von der Amplitude; denn es war ja gerade HUYGHENS, der den differentialgeometrischen Satz bewiesen hatte, dass die von einer Zyklode abgewickelte Kurve (Evolute) wieder eine Zyklode ist.

Damit hatte HUYGHENS die erste richtige Pendeluhr gefunden, welche konstant in allen Amplituden schwingt: Im *Horologium Oscillatorium* von 1659 konstruiert er nicht nur das erste Chronometer, sondern setzt auch die Differentialgeometrie der Kurven auseinander – ein klassisches

Werk von der barocken Einheit zwischen mathematischer Forschung und technischer Gestaltung. Übrigens hatte JAKOB BERNOULLI dann später bei der Spirale die analoge Eigenschaft gefunden: die Evolute seiner Spirae mirabilis ist wieder eine Spirale.

Mit der HUYGHENSSchen Pendeluhr geht die himmlische Kalenderchronologie in die technische Chronometrie über: Zum ersten Male war die Menschheit von den periodischen Erscheinungen im Kosmos als Basis der Zeitmessung unabhängig geworden – in der Tat verschwanden im 18. Jahrhundert die Sonnenuhren fast völlig, und die Gnomonik, einstmals eine der wichtigsten astronomischen Disziplinen, sank zu einer blossen Liebhaberei von Instrumentensammlern herab. Die Zeiteinheit konnte durch die Länge des Sekundenpendels auf die Längeneinheit zurückgeführt und damit alle astronomischen Koordinaten auf die gleiche Stufe der Beobachtungspräzision gebracht werden. Mathematiker, Physiker und Astronomen waren sich der revolutionären Bedeutung der Pendeluhr bewusst – es dauerte ja auch nur ein paar Jahre, und schon fand OLE RÖMER durch die Messung der Verfinsterungszeiten der Jupitertrabanten die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit, ohne freilich alle Konsequenzen dieser Entdeckung vorausszusehen. Die Antike und das Mittelalter kannten nur den endlichen geschlossenen Kosmos, in welchem sich das Licht mit unendlicher Geschwindigkeit ausbreitet – die neue Physik hat den unendlichen Kosmos, in welchem sich das Licht mit endlicher Geschwindigkeit bewegt. Es war die Pendeluhr, welche die Türe zur modernen Experimentalphysik aufgeschlossen hatte.

Der faszinierenden Eigenschaft des Tautochronismus der Zykloide fügte nun JOHANN BERNOULLI am Ende des «Grand Siècle», des 17. Jahrhunderts, noch eine andere, nicht weniger staunenswerte Eigenschaft zu: den Brachystochronismus. Man war nach dem oben besprochenen GALILEISchen Theorem geneigt zu glauben, dass die Kurve schnellsten Falles, also kürzester Fallzeit zwischen zwei Punkten, der Kreisbogen sei – doch JOHANN BERNOULLI fand, dass dies wiederum die Zykloide ist. Er war kaum durch HUYGHENS' und LEIBNIZENS Vermittlung Professor in Groningen geworden, als er 1697 «allen Mathematikern des Erdkreises» das Problem der Brachystochrone öffentlich stellte. Nur die Kenner der Infinitesimalrechnung vermochten – wie zu beweisen Johann beabsichtigte – die Aufgabe zu lösen: NEWTON, LEIBNIZ, JAKOB BERNOULLI und Johanns Adept und Mäzen, der Marquis de l'Hôpital. Johann selbst hatte das Problem durch eine geniale optisch-mechanische Analogie gelöst, die es ihm ermöglichte, mit einer einfachen Extremal Betrachtung auszukommen, wie sie seit DESCARTES und FERMAT üblich war. Aber diese geniale «Metabasis eis allo genos» – Johann muss Anleihen bei der Optik machen (FERMATsches Prinzip) – verhindert ihn zu erkennen, dass sein Problem der Brachystochrone, sobald man nach der Maxime der Reinheit der Methode direkt an die Aufgabe herantritt, viel allgemeinere Betrachtungen verlangt als die Bestimmung von Extremalpunkten einer Kurve, nämlich die Bestimmung von Kurven selbst, welche Extremaleigenschaften besitzen, das heisst die Variationsrechnung. Diese hat nun nicht Johann,

sondern an der Zykloidenbrachystochrone Jakob geschaffen. Vielleicht hat Johann nicht einmal gewusst, wie sehr er sich gerade im Sinne MACHS selber zeichnet, wenn er sich mit seiner Zykloide identifiziert; sicherlich war seine Lösung für das spezielle Problem die eleganteste, aber sie führt nicht allgemein weiter. Jakob erarbeitet mühsam allgemeine Methoden und stösst substanziell schon zur EULER-LAGRANGESchen Differentialgleichung für Extremalkurven vor, ohne freilich die analytische Form derselben zu erreichen. Johann gelangt zwar gegen Ende seiner mathematischen Laufbahn – aber nur auf Umwegen und gewissermassen erst post festum – zur allgemeinen Variationsmethode – aber er hat bezeichnenderweise seine diesbezüglichen Abhandlungen erst nach dem frühen Tode von Jakob (1705) publiziert. Als nämlich Jakob 1701 in der «*Analysis magni problematis isoperimetrici*» den Schlussstein zum Streit mit seinem Bruder und den Grundstein zur Variationsrechnung legte, war die Niederlage Johanns total geworden. Auf Johanns freche Herausforderung mit der Aufgabe der Brachystochrone hatte Jakob, der seinen Bruder zur Genüge kannte, mit der Lösung 1697 eine Gegenaufgabe gestellt: Unter allen Kurven gleicher Bogenlänge, welche zudem noch eine Nebenbedingung erfüllen, diejenige zu finden, welche maximalen Flächeninhalt dabei begrenzt, eine Aufgabe, welche den Kreis des antiken Zenodoros, geeignet verallgemeinerte. Johann ging in die Falle – er gab sofort eine Lösung anhand mechanischer Analogiebetrachtungen. Triumphierend antwortete Jakob in aller Öffentlichkeit, er kenne jemanden, welcher 50 Dukaten stifte, falls Jakob darin irre, wenn er angebe, welche Methode Johann angewendet habe, und der 100 Dukaten stifte, wenn Jakob nicht nachweisen könne, dass die Methode Johanns falsch sei, und der sogar 200 Dukaten stifte, wenn Jakob nicht die richtige Lösung angeben könne. Dieser «*Nonnemo*» war nicht irgendein anonymer Basler Cliquenbruder Jakobs, sondern war Jakob selbst. Der gut gezielte Giftpfeil Jakobs hatte den fernen Bruder in Holland fast zu Tode getroffen: Die Beschwerden Johanns nahmen derartige Formen an, dass die wissenschaftlichen Journale den beiden Brüdern – beide Mitglieder der Pariser Académie des Sciences – bezüglich des isoperimetrischen Problems gesperrt wurden.

Ein unwürdiges – und trotz allem gut gemischten und dosierten Gift – kein baslerisches Schauspiel; denn der «*Appel au public*» ist wohl das Unbaslerischste, was es gibt. Der Streit der beiden Brüder erscheint eher als ein Atavismus flandrischer Rauflust, den die beiden von ihrem Grossvater aus Antwerpen als Erbgut mitbekommen haben mögen. Wir werden diesen Charakterzug bei Johann zwei Dezennien später an einem geeigneteren Objekt wiedererkennen.

Trotz allem darf Johanns Lösungsmethode des Problems der Brachystochrone nicht unterschätzt werden: Johann war sich der weitgehenden Analogie zwischen Optik und Mechanik bewusst und war damit der erste Mathematiker vor Sir HAMILTON, wenn er schreibt «*ces deux spéculations, prises de deux si différentes parties des Mathématiques, celles que sont la Dioptrique et la Méchanique, ont entre elles une liaison absolu-*

ment nécessaire et essentielle». Ob freilich diese Antizipation Johanns bis zu HAMILTON selbst reicht, ist zweifelhaft, aber es wäre durchaus denkbar, dass BERNOULLIS Brachystochrone HAMILTON als ersten englischen Mathematiker angeregt hat, den LEIBNIZschen Differentialoperator statt des NEWTONSchen Fluxionszeichen zu benutzen. Und selbst wenn HAMILTON in der direkten Folge von LAGRANGE gestanden hätte, als er die Optik mechanisierte und durch Einführung der kanonischen Koordinaten die Mechanik optifizierte – so wäre er auf alle Fälle in der EULER-BERNOULLISchen Tradition geblieben, als er in der Strahlenoptik erstmals das EULER-MAUPERTUISsche Prinzip zum HAMILTONSchen verallgemeinerte. Schon dieser Piemontese LAGRANGE gab mit dem Variationssymbol der EULERSchen Analysis erst die letzte formale Vollendung – und es ist mehr als ein blosser historischer Zufall, dass LAGRANGE EULERS Nachfolger als Präsident der mathematischen Klasse der friderizianischen Akademie wurde. O. SPIESS hat vor zwei Dezennien anlässlich der Basler Universitätsreden den Gedanken weitergesponnen, was wohl passiert wäre, wenn Jakob ebenfalls das patriarchalische Alter Johanns erreicht hätte – nun, Johann wäre wohl in Groningen geblieben und hätte dort eine Mathematikerschule herangebildet, welche bei der engen Nachbarschaft zu England wohl schon recht bald die britischen Mathematiker dazu gebracht hätte, den LEIBNIZschen Kalkül anzuwenden. Bekanntlich fallen die englischen Mathematiker, selbst so bedeutende wie TAYLOR und MACLAURIN nach dem Tode NEWTONS während des ganzen 18. Jahrhunderts gegenüber der kontinentalen Mathematikergarde BERNOULLI – EULER – LAGRANGE – LAPLACE, um nur die allerersten zu nennen, nicht ins Gewicht, und dies nicht zuletzt, weil sie infolge des Prioritätsstreites zwischen NEWTON und LEIBNIZ, der nur politisch mit dem Siege NEWTONS endete, die LEIBNIZsche Infinitesimaloperatorenrechnung ablehnten. Erst HAMILTON, Direktor der Sternwarte in Dublin, erschloss England diesem Kalkül, das sogleich im 19. Jahrhundert auch in der Analysis wieder eine führende Stelle einnahm. Doch dies war nun über ein Jahrhundert nach jenem denkwürdigen Jahr 1705, welches für Basel säkulare Bedeutung erhalten sollte: der Tod Jakobs machte den einzigen mathematischen Lehrstuhl für den Schwiegersohn des Ratsherrn FALKNER frei. Johann kam nicht nur als Professor irgendeiner Lehrkanzel nach Basel zurück – er wurde der Nachfolger seines von einem hektischen Fieber zu früh dahingerafften Bruders; die Universität hatte diejenige Persönlichkeit gefunden, um «Basilea inclyta» zum Organisationszentrum der neuen Infinitesimalmathematik des 18. Jahrhunderts zu machen.

Diese Infinitesimalrechnung ist nun nicht etwa irgendeine unter den mathematischen Disziplinen, wie etwa die Kombinationsrechnung innerhalb der Arithmetik, sondern sie ist diejenige mathematische Disziplin, welche überhaupt erst ermöglicht, Zustandsänderungen in der Natur in Formeln zu fassen. Erst mit der Infinitesimalrechnung ist mathematische Physik möglich, jene Wissenschaft, welche schon ARISTOTELES als prinzipiell unmöglich erklärt hatte. Denn dem Meister der antiken Philosophie schien es nicht erlaubt, vermittelt der festen Figuren und Zahlen der

Mathematik die Veränderungen in der Phänomenwelt der Physik begrifflich zu erfassen: mit anderen Worten, eine Mathematik variabler Grössen erschien als ein Widerspruch in sich selbst.

Mit der mathematischen Physik aber ist rationelle Technik und damit überhaupt erst die moderne Zivilisation möglich. Mit Recht betrachteten deswegen die Historiker das 17. und 18. Jahrhundert als die Jahrhunderte der Grundlagen der Neuzeit. Damit wird Basels mathematisches Jahrhundert nicht zu einem Jahrhundert besonderen mathematischen Denksports – das 18. Jahrhundert der Aufklärung ist das mathematische Jahrhundert überhaupt: Basels mathematisches Jahrhundert ist zugleich das mathematische Jahrhundert in Basel.

Darum hängen mit Recht in der alten Aula unserer Alma mater nicht die Bilder der titanischen Begründer, die beiden Brüder BERNOULLI, an zentraler Stelle, denn sie gehören doch mehr oder weniger noch dem Grand Siècle des Barocks an, sondern zentral hängen nur die Bilder der beiden Söhne Johanns, des leiblichen Sohnes Daniel und des geistigen Sohnes EULER. Mit sicherem Instinkt wurden diese zum Wächter des Katheders besonderer akademischer Anlässe damals in Basel erkoren, obwohl EULER gewissermassen illegal dort verewigt ist, denn er war nie, infolge der Ungunst des Loses, Professor in Basel. Daniel freilich, ein BERNOULLI und nicht bloss ein Riehener Pfarrerssohn, konnte von der Petersburger Akademie nach bloss 8jähriger Tätigkeit nach Basel zurückkehren. Daniel, der Physiker, und EULER, der Mathematiker, sind als Erben des Geistesgutes von Johann zweifellos die besseren Repräsentanten unseres mathematischen Jahrhunderts als der Lehrer selbst.

Man ist fast versucht zu glauben, dass das mathematische Gewicht dieser vier Basler noch grösser als das von NEWTON oder GAUSS ist; auf alle Fälle wird man zugeben müssen, dass es keine Stadt der Welt gibt, welche an originalem mathematischem Gewicht Basel übertrifft, wenn man das Territorium der Republik und des Kantons Baselstadt als Einzugsseinheit nimmt. Und diese Stellung verdankt Basel nicht etwa den besonderen mathematischen Chromosomen der Refugiantenfamilie BERNOULLI, sondern der Kongenialität Jakob BERNOULLIS mit LEIBNIZ.

Johann war dagegen schon seit 1705 und erst recht nach NEWTONS Tod (1724) der «praeceptor mathematicus Europae»; über vier Dezennien prägte er in dem engen schulmeisterlichen Rahmen einer damals schon fast dreihundert Jahre alten Universität der damaligen Mathematik seinen oder genauer gesagt den LEIBNIZschen Stempel auf. DANIEL BERNOULLI und EULER konnten «extra muros Basilienses» als illustre Akademiker wirken. Verstanden aber hat die LEIBNIZsche Infinitesimalmetaphysik nur der älteste von allen: JAKOB BERNOULLI. Johann hingegen hat den LEIBNIZschen Differentialkalkül, sowohl durch eigene Beiträge als auch noch mehr durch seine didaktische Begabung, zur vollen Reife gebracht. Freilich hat schon er den LEIBNIZschen Infinitesimalkalkül cartesisch missverstanden; bezeichnenderweise schreibt sein Adept, der Marquis DE L'HÔPITAL, im ersten Lehrbuch der Differentialrechnung, welches – wie nun SPIESS definitiv nachgewiesen hat – in Wirklichkeit von JOHANN BERNOULLI stammt,

für die Differentialrechnung «Calcul des différences». Unbekümmert um die logischen oder gar metaphysischen Grundlagen des LEIBNIZschen Kalküls, nahm Johann alle möglichen Gebiete in Angriff: Er übertrifft an Quantität in den gedruckten Abhandlungen Jakob um das Doppelte und in der gelehrten Korrespondenz um das 50fache. Er greift damit schon EULER vor, der mit seinen 80 Quartbänden die grösste mathematische Quantität in der Mathematikgeschichte hinterlassen hat. Er schrieb mehr Mathematik als BALZAC Romane und mehr Mathematik als KARL MAY Schundliteratur. Dazu kommen 25 Quartbände der BERNOULLI-Edition – diese dreistellige Zahl von Quartbänden, auf welche wir sogar mit Ausschluss von LAGRANGE kommen, zeigt deutlicher als alle Worte die Berechtigung des Titels unseres Vortrages. Es ist klar, dass unsere Stadt heute nicht mehr in der Lage ist, allein die Last einer textkritischen Edition aller dieser Basler Werke zu übernehmen, eine Last, die nämlich sonst von den grossen nationalen Akademien getragen wird, welche Gremien uns bis anhin selbst auf eidgenössischer Ebene noch fehlen. Eine internationale Kooperation, insbesondere mit den entsprechenden Akademiekommissionen, ist nicht zu umgehen. Trotzdem haben wir die Verpflichtung, mindestens die Archive der EULER- und BERNOULLI-Kommission und die Organisationszentren der Edition in Basel festzuhalten. Die Gefahr einer Verzettlung und damit Zerstreuung der Edition in das Ausland unter dem Schlagwort der Internationalität der Wissenschaft ist gross, vor allem, wenn das Bewusstsein dafür verlorengeht, dass nicht nur die Werke der literarischen, sondern auch die Werke der wissenschaftlichen Klassiker das grösste Kleinod darstellen, über welches eine Nation überhaupt verfügen kann. Der Kult der Mathematikerfamilie BERNOULLI ist keine Angelegenheit der Basler Lokalgeschichte, sondern ein ernstes Anliegen der Mathematikgeschichte überhaupt. Für EULER hat schon seit einem halben Jahrhundert die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft in Zusammenarbeit mit den entsprechenden internationalen Gremien das Ihrige geleistet, indem der Abschluss der 60 Quartbände der gedruckten EULERSchen Werke vor der Türe steht. Auch für die textkritische Edition der etwa 20 Bände EULERSche Korrespondenz und Manuskriptentwürfe, Tagebücher, Gutachten usw. dürfen wir guter Hoffnung sein, da die Zusammenarbeit mit der EULER-Kommission der russischen Akademie der Wissenschaften gesichert ist. Die Internationalisierung der BERNOULLI-Edition würde dagegen dem historischen Faktum widersprechen, dass alle Mitglieder der Mathematikerfamilie BERNOULLI ihr Wesentliches «intra muros Basilienses» geleistet haben. Die Hälfte des zu edierenden Materials fällt allein auf JOHANN BERNOULLI; nachdem es in den letzten Jahren gelungen ist, die gewaltige Korrespondenz JOHANN BERNOULLIS, welche vor fast zwei Jahrhunderten JOHANN III BERNOULLI an die Stockholmer Akademie verkauft hatte, wieder für unsere Universitätsbibliothek zurückzuerwerben, befindet sich das Editionsmaterial fest in Basler Hand. Freilich liegen die Originale der Briefe Johans an LEIBNIZ – übrigens die grösste Korrespondenz, welche der grösste wissenschaftliche Briefwechsler aller Zeiten LEIBNIZ mit einem anderen Gelehrten geführt hat – in der

Niedersächsischen Landesbibliothek zu Hannover, ebenso die meisten Originale der Abhandlungen Johanns in dem Archiv der Pariser Akademie; diese Institutionen haben jedoch ebensowenig Interesse wie wir an einem internationalen Ausverkauf der Edition.

Der reine Mathematiker könnte sich allerdings auf den Standpunkt stellen, dass sich der enorme Aufwand einer solchen kalkülischen Edition kaum lohnt, da die Mathematik der Epoche von LEIBNIZ bis LAGRANGE die Infinitesimalrechnung nur im Kindeszustand darstellt, da ihr die strenge logische Begründung, welche sie erst seit CAUCHY erhalten hat, völlig fehlt. Dem ist entgegenzuhalten, dass die Mathematik jener Epoche sich als eine «Ars inveniendi» fühlte und nicht wie die moderne reine Mathematik als eine «Ars demonstrandi». Bezeichnenderweise ist das letzte Werk mit dem Titel «Methodus inveniendi» nämlich «lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti», die Variationsrechnung von EULER aus dem Jahre 1748. Die Variationsrechnung gestattet aber, nicht nur die Aufgaben der Mechanik auf mathematische Prinzipien überhaupt, sondern auf Optimalprinzipien zurückzuführen, indem Gottes Weisheit die Natur unter allen möglichen Bewegungen, welche den dynamischen Bedingungen genügen, nur diejenige ausführen lässt, welche mit einem Minimum an beispielsweise Energie, Aktionsverbrauch usw. verknüpft ist. Damit schliesst sich das Band dieser noch in Metaphysik eingebetteten Mathematik von LEIBNIZENS *Ars combinatoria* von 1666, wo der mathematische Gottesbeweis, freilich nur für den Gott der Mathematiker, geführt wird, über die *Ars conjectandi* von JAKOB BERNOULLI aus dem Jahre 1687, wo durch Begründung der mathematischen Statistik das soziale Leben der menschlichen Gesellschaft in Formeln greifbar wird, zu EULERS «Methodus inveniendi» von 1748, wo Gottes immanente Weltvernunft durch die Variationsprinzipien der Mechanik verherrlicht wird. Schliesslich ist PLATONS *Logos* die Essenz des christlichen Credo – und vielleicht sind es doch die Mathematiker, welche am meisten um den *Deus absconditus* wissen.

In dieser grossen Reihe fehlt freilich JOHANN BERNOULLI, der sonst ein Meister der dialektischen «Metabasis eis allo Genos» gewesen ist, durch welche sich ja die *Ars inveniendi* auszeichnet. Es ist nicht zufällig, dass EULER ausdrücklich an JAKOB BERNOULLI wieder anknüpft und nicht an den Vermittler der LEIBNIZ-BERNOULLISCHEN Mathematik, an Johann. Freilich versteht EULER LEIBNIZENS Philosophie überhaupt nicht mehr: Gegen die Monstruositäten der LEIBNIZSCHEN Monadenlehre verfasst er grimmige Streitschriften, vergessend, dass LEIBNIZ wie PLATON zu den ganz Grossen gehört, welche sich eine eigene Metaphysik ersinnen, um ihre neue Mathematik zu rechtfertigen.

Die neue Mathematik LEIBNIZENS aber ermöglicht eine neue Perspektive Gottes: Präziser noch als NIKOLAUS CUSANUS vermag LEIBNIZ den christozentrischen Panentheismus mit seiner Monadenlehre zu beschreiben. JAKOB BERNOULLI hat es begriffen. Von ihm stammen die herrlichen Distichen, mit denen er seine vier grossen Thesen über die unendlichen

Reihen einleitet, welche sich wie ein roter Faden durch sein mathematisches Opus ziehen:

«Ut non finitam seriem finita coerces
summula, et in nullo limite limes adest:
Sic modico immensi vestigia Numinis haerent
corpore, et in angusto limite limes abest.
Cernere in immenso parvum, dic, quanta voluptas!
In parvo immensum cernere, quanta, Deum!»

Dieser theologisch-metaphysische Schimmer ist bei Johann völlig verblasst. Er zielt sogleich auf die physikalischen Anwendungen des Kalküls ab: Er findet den analytischen Ausdruck für das Prinzip der virtuellen Verschiebungen, das später D'ALEMBERT den Übergang von der analytischen Statik zur analytischen Dynamik ermöglicht. Er nutzt den LEIBNIZschen Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie schon weidlich und geschickt in seinen späten Arbeiten über Hydromechanik, Himmelsmechanik und auch in der Stosstheorie aus. Ist Jakobs einziges grösseres separates – übrigens noch postum erscheinendes – Werk die «Ars conjectandi», so ist entsprechend und bezeichnend Johanns einziges die «Manœuvre des vaisseaux». Man ist fast versucht, an diesen beiden Werken die mathematische Kraft der beiden zu vergleichen. Doch wäre dies nicht gerecht: Johanns Beiträge auch zur reinen Mathematik sind nicht unerheblich. Der Exponentialkalkül, die BERNOULLISCHE Form der TAYLORschen Reihe, lineare Differentialgleichungen erster Ordnung, Additionstheorem der elliptischen Funktionen, Kreisteilung und die Integration der rationalen Funktionen sind Leistungen, mit denen er für immer seinen Namen auch in die Geschichte der Mathematik eingetragen hat. Wesentlich mehr freilich hat sich sein Name schon zu Lebzeiten in das Bewusstsein der Zeitgenossen eingepägt als der heroische Kämpfer in der Schlacht um die Priorität zwischen NEWTON und LEIBNIZ, wo sich der Basler Mathematiker nun in voller flandrischer Rauflost zeigt. Allein wie HORATIUS COCLES – so schildert ihn FONTENELLE im Eloge der Pariser Akademie – erwehrt er sich der ganzen Meute von englischen Mathematikern, die NEWTON hintereinander vorgeschickt hat, um die Überlegenheit seiner Fluxionsrechnung zu zeigen. Einzeln und miteinander werden sie alle erledigt, bis JOHANN BERNOULLI allein auf dem Schlachtfeld als Sieger übrigbleibt. LEIBNIZ hatte die Newtonianer schon mit dem Problem der Orthogonaltrajektorien geärgert; als dann TAYLOR eine sehr verzwickte derartige Gegenaufgabe stellte, löste sie Johann direkt in aller Allgemeinheit. KEILL glaubte Johann treffen zu können, als er das Problem der ballistischen Kurve stellte, welches NEWTON nur im einfachen Fall eines linearen Widerstandsgesetzes zu lösen vermochte. Auch hier gab Johann sofort die Lösung für den allgemeinen Fall, freilich nur durch numerische Integration: Aber er ist hiemit zum Vater der mathematischen Ballistik geworden. Überhaupt gelang es ihm, NEWTON im zweiten Buche seiner

Prinzipien, welches ja fast ausschliesslich der Widerlegung der Cartesischen Wirbeltheorie vermittelst der Durchrechnung von Bewegungsformen im widerstehenden Mittel gewidmet ist, etliche Versehen nachzuweisen. NEWTON versuchte kurz vor seinem Tode Versöhnungsschritte, indem er einen Keil zwischen LEIBNIZ und BERNOULLI zu treiben begann: Johann wurde als grosser Mathematiker anerkannt, nicht aber der philosophische Scharlatan LEIBNIZ. Einen gewissen Erfolg muss NEWTON dabei erzielt haben: Johann liess später in der von ihm besorgten Ausgabe seines Briefwechsels mit LEIBNIZ alle Passagen streichen, die ihn damals insofern kompromittierten, als er sich zu sehr mit LEIBNIZ identifizierte.

Die drei Grossen unserer Mathematikerfamilie: Jakob, Johann und Daniel, entsprechen ziemlich genau drei Epochen: der noch ungebrochene Barockgeist beim ersten, die von P. HAZARD so brilliant gezeichnete «Crise de la conscience européenne» um die Jahrhundertwende bei Johann und der vorrevolutionäre Pessimismus der späten Aufklärung bei Daniel. Diesen Epochen entspricht der Übergang der philosophischen Mathematik zur mathematischen Physik und Technik. Daniel ist zweifellos der Modernste; dennoch benötigen auch seine, insbesondere physikalischen Schriften einen besonderen Kommentar; denn die physikalischen Begriffe sind erst viel später der Analysis unterworfen worden als die der Mathematik. Da schon Jakob sich als mathematischer Physiker versucht, ist es klar, dass der erste des meisten Kommentars bedarf, um seine Deduktionen für den heutigen Mathematiker erst lesbar zu machen. Gleich Jakob einem nebelverhüllten Gipfel, so erscheint Daniel wie ein verschlossener Tresor versteckter zukunftsweisender Ansätze. Johann allein liegt mit seinem dynamischen und extravertierten Charakter mit allem Licht und Schatten relativ offen vor uns. Er selbst entschuldigt gewissermassen die kleinen Mängel, welche sein grosses Leben fast zwangsläufig begleiten müssen, wenn er sein Tagebuch mit den Worten beginnt:

«1667 die 27 July styli veteris Samstags $\frac{1}{4}$ nach 11 Uhr vormittags in dem Zeichen der Fischen, bin ich Johannes Bernoulli allhier zu Basel an das liecht dieser Welt gebohren und allso die Zahl der Sünder, denen Gott gnädig seyn wolle, vermehrt...»

2. MAGDALENA AEBI (Küsnacht) – *Die Logik Hegels und ihre Auswirkungen*

Die Logik HEGELS – sie heisst «Dialektik» – hat in unseren Tagen eine welthistorische Bedeutung erhalten, da sie die «wissenschaftliche» Grundlage der Revolutionstheorie des Marxismus-Leninismus bildet und damit die Grundlage der politischen Praxis der kommunistischen Staaten. Nach dieser Theorie – dem Marxismus-Leninismus – verläuft sowohl die Weltentwicklung wie speziell die Entwicklung der Menschheitsgeschichte nach «dialektischen» Gesetzen: dem «Umschlagen» jedes positiven Zustandes (der «Thesis») in seine eigene Zerstörung oder Aufhebung (die «Antithesis»), worauf sich aus Thesis und Antithesis eine «Synthesis», ein neuer positiver Zustand bilden soll. Die Geschichte verläuft also in

einer Serie von Umstürzen, und durch diese Umstürze allein («permanente Revolution») ist bereits der Fortschritt gesichert.

Nach LENIN¹ ist die Dialektik «die Erkenntnistheorie HEGELS und des Marxismus». Er definiert geradezu: «der Marxismus, *das heisst* die dialektische Logik»². Der historische Materialismus ist «die Dialektik der Gesellschaft». STALIN nennt die Dialektik «die Seele des Marxismus»³. Nach THEIMER⁴ ist die Dialektik «der mystische Zentralbegriff des Marxismus». Nach dem Nachwort zur 2. Auflage des «Kapitals» von Marx schliesst die Dialektik «in dem positiven Verständnis des Bestehenden zugleich auch das Verständnis seiner Negation, *seines notwendigen Untergangs*, ein»; sie ist «ihrem Wesen nach kritisch und revolutionär». Für ENGELS⁵ war die Dialektik «seit Jahren unser bestes Arbeitsmittel und *unsere schärfste Waffe*».

Das System HEGELS kann nicht aus sich selbst verstanden werden, und auch die Struktur der Dialektik erklärt sich aus den Arbeiten KANTS und FICHTES. Das HEGELSche System ist eine Fortbildung von FICHTES Wissenschaftslehre, und diese eine Weiterbildung von KANTS «transzendentaler Deduktion der Kategorien» in der Kritik der reinen Vernunft. KANT glaubte dort – infolge einer Sachverwechslung – ableiten zu können, dass das Ich des Menschen, indem es entsteht, die Gesetze der Natur erschafft; es «schreibt der Natur das Gesetz vor»⁶. Die beiden Sachen, die KANT verwechselt, sind *die zufällige Synthesis* der Wahrnehmung, die dank dem Gedächtnis – der «*reproduktiven* Einbildungskraft» – entsteht und durch welche das Ich sich bildet (es bildet sich dank der Einheit des Gedächtnisses) – und die «Synthesis nach Begriffen» der geometrischen oder arithmetischen Konstruktion, die in der konstruierenden Phantasie – der «*produktiven* Einbildungskraft» durchgeführt wird, und dank der ein «*Mannigfaltiges nach Begriffen*» – z. B. im Mannigfaltigen des Raumes – zustande kommt, so der Kreis oder das Dreieck, das wir in der Phantasie konstruiert haben⁷. Infolge dieser Verwechslung schliesst KANT, dass das Ich, indem es sich bildet, eine «Einheit nach Begriffen» im *Mannigfaltigen der Erfahrung* produziert, von welchen Begriffen (den sog. Kategorien) die Gesetze der Natur abhängen. Durch Dazwischenschalten eines extra angefertigten Systems von Urteilen schliesst er darauf, dass jene «Einheit nach Begriffen» in 12facher Art vorkommt: als seine 12 Kategorien, welche ihrerseits den Gesetzen der NEWTONSchen Physik zugrunde liegen. Somit ist das Ich «der Urheber der Gesetze der Natur»; es produziert diese Gesetze im Mannigfaltigen der Erfahrung.

FICHTE betont⁸, dass er die Argumentation KANTS *nicht durchdrungen*

¹ Philos. Nachlass, Berlin 1949, S. 288

² LENIN, Sämtliche Werke, Moskau 1949, Bd. 26, S. 162

³ Projekt Programm 1948, S. 316; vgl. BOCHENSKI, Dialectic, Bern 1956, S. 87

⁴ Der Marxismus, Bern 1950

⁵ FEUERBACH, Dietz-Verlag, Berlin 1951, S. 8

⁶ Kritik der reinen Vernunft, 1. Aufl., S. 125, 126, 127; 2. Aufl., S. 159, 163f.

⁷ Vgl. dazu M. AEBI, Kants Begründung der «Deutschen Philosophie», Basel 1948. 2. Aufl. in Vorbereitung.

habe, aber dass er KANTS Resultat *aus affektiven Gründen* übernehme. Er wünscht nämlich zu beweisen, dass das Ich von den Objekten der Welt unabhängig sei, die Welt im Gegenteil *vom Ich abhänge* und durch das Ich produziert werde. Dieser Nachweis gelang ihm zwar nie, aber sein Programm wurde von SCHELLING und HEGEL übernommen. Da das «absolute Ich» FICHTE die Welt nach Form und Inhalt *produzieren* sollte, nannte SCHELLING es «das Absolute» oder Gott, und HEGEL nennt es den absoluten Geist.

Bei KANT sollte das Ich durch sein Entstehen – einen zeitlichen Vorgang – die Gesetze der Natur produzieren. Bei FICHTE sollte das «absolute Ich» dadurch, dass es sich «setzt», d. h. dadurch, dass es *entsteht*, das Objekt und damit die Welt nach Materie und Form produzieren. Bei HEGEL erzeugt der «absolute Geist» durch sein Entstehen die Logik, die Natur und die Geschichte, und er entsteht letztlich wiederum als Ich, nämlich als das Ich des Philosophen.

Der Grundplan aller dieser Systeme – auch der vielfachen Systemansätze SCHELLINGS – ist also in der transzendentalen Deduktion der Kategorien in KANTS Kritik der reinen Vernunft gegeben; die erwähnten Systeme stellen nur eine Erweiterung dieser Deduktion dar, die ihrerseits auf einer Sachverwechslung beruht.

Aber diese Deduktion ermöglichte einen gewaltigen Machttraum des Ich, der im System HEGELS seinen Höhepunkt erreicht.

Die HEGELSche *Dialektik* ist in der Wissenschaftslehre FICHTES vorgebildet. FICHTE wünscht das Objekt nach Form und Materie aus dem «absoluten Ich» abzuleiten. Dieses Ich «setzt sich selbst», und zwar *ohne* dass ihm noch irgendein Objekt gegeben wäre; es soll dieses Objekt ja erst produzieren. – Hier ist schon zu sagen, dass dieses Ich *nicht konstruierbar* ist. Es soll ein Subjekt sein, das noch keine Objekte hat, also ein Bewusstsein *von nichts*. Ein solches Bewusstsein aber *verschwindet*; es kann gar nicht existieren. – Das Sich-selbst-Setzen des Ich heisst bei FICHTE «Thesis»⁹. Aber nun soll aus diesem Ich das Objekt abgeleitet werden. FICHTE denkt sich dieses Ich also zunächst als aufgehoben. Das heisst «Antithesis». Aber nun hat FICHTE das Resultat = Null, er hat also sein Ziel nicht erreicht. Nun denkt er sich das Ich als «teilweise gesetzt», teilweise aber aufgehoben. Dies heisst «Synthesis»¹⁰. An die Stelle des «teilweise aufgehobenen» Ich, d. h. des «teilweise gesetzten Nicht-Ich», sucht nun FICHTE das Objekt unterzuschieben, was ihm aber nie gelingt.

Die Operationen FICHTES hängen ihrerseits offenbar ab von KANTS Kategorien der «Qualität»: Realität, Negation und Limitation, wobei, wie im ganzen Kategoriensystem, je die dritte Kategorie die «Vereinigung» der ersten mit der zweiten sein sollte. – Dies ist der erste konstruktive Ansatz, der dem Aufbau der HEGELSchen Dialektik zugrunde liegt – wie HEGEL selbst betont.

⁸ 2. Einl. in die Wissenschaftslehre, Ausg. Medicus, III, 54

⁹ FICHTE, Ausg. Medicus, I, 309

¹⁰ I, 307

Was aber bei FICHTE ein Pröbeln war, und zwar ein Pröbeln des Philosophen, der die Ableitung des Objektes aus dem Subjekt zustande zu bringen sucht, soll bei Hegel eine «Selbstbewegung des Begriffs» sein. *Der Begriff selbst* soll zur Antithesis und dann zur Synthesis werden, und der Philosoph behauptet, diesem Werden nur zuzuschauen.

In Wirklichkeit wird *der Anschein* einer Veränderung des Begriffs und also eines «Werdens» durch *Beziehungs- und Begriffsverwechslungen* produziert. So wird der Übergang von der «Thesis» zur «Antithesis» jedesmal durch eine *Beziehungsverwechslung* bewerkstelligt. Ein beliebiger Begriff wird mit einem ihm *positiv entgegengesetzten Begriff* verglichen, und es wird konstatiert, dass er *nicht* dieser von ihm *verschiedene Begriff* ist. Daraus wird geschlossen, dass er – *nicht er selbst* ist. Was also von einem Begriff in bezug auf einen *von ihm verschiedenen Begriff* gilt, wird behauptet von dem Begriff *in bezug auf sich selbst*. Es findet *Beziehungsverwechslung* statt. So ist der Begriff des *Seins* ein sehr allgemeiner Begriff¹¹. Er ist also nicht – *etwas Bestimmtes*, er ist nicht ein spezieller Begriff. Daraus folgt, dass er *nicht er selbst* ist. Er hebt sich selbst auf und ist das *Nichts*. – Und dies soll beweisen, dass der Begriff «sich bewegt».

Jeder Begriff also, der nicht *ein von ihm verschiedener Begriff* ist, hat nach HEGEL «die Negativität an sich»; er hat die Eigenschaft der Negativität, d. h. er ist *seine eigene Negation* oder Aufhebung.

Diese «Negativität», sagt HEGEL, «*macht den Wendungspunkt der Bewegung des Begriffs*» aus (5, 342). Sie ist «die dialektische Seele».

Ebenso ist ein Begriff, der verschieden *von einem andern Begriff* ist, verschieden *von sich selbst*; er hat «die Verschiedenheit an sich». Das Etwas, das, gegenüber einem Andern, «das Andere» dieses Andern ist, ist eben damit «*das Andere seiner selbst*»; es hat «die Andersheit an sich».

HEGEL spricht so, als ob «Negativität», «Verschiedenheit», «Andersheit» einem Begriff an sich zukämen; er verwechselt die Relation mit der Eigenschaft, das zweistellige Prädikat mit dem einstelligen. «Nicht x seiend», «verschieden von...», «anders als...» erscheinen als «Negativität», «Verschiedenheit», «Andersheit», also als *Prädikate*. Das ist so, als wollte man sagen: Karl ist der Vater seines Sohnes. Er ist also *der Vater seiner selbst*, er hat «die Vaterheit an sich».

Der Übergang der Thesis zur Antithesis ist also bewerkstelligt durch *Beziehungsverwechslung* bzw. die Verwechslung der Relation mit dem Prädikat. Nach ARISTOTELES macht das die «*fallacio secundum quid et simpliciter*» aus, die Verwechslung dessen, was vom Subjekt *in bestimmter Beziehung* gilt, mit dem, was vom Subjekt selbst gilt.

Der Übergang von der «Antithesis» zur «Synthesis» hingegen, vom non-A oder der Aufhebung des A zur «Synthesis», einer angeblich positiven Vereinigung von A und seiner Aufhebung wird – wie schon TRENDELLENBURG, SIGWART, RICKERT und andere bemerkt haben – bewirkt durch die Verwechslung des non-A, der blossen Negation oder «Aufhebung» von A, mit dem *positiven Gegensatz zu A*, einem B, C, D usw. gegenüber A.

¹¹ HEGEL, Wissenschaft der Logik, Ausg. Glockner, 4, 87ff.

So ist das Nicht-Sein nicht Nichts, sondern *Werden*, also *positives, sich veränderndes Sein*; das Sein, die Thesis, wird als «Werden» «näher bestimmt». Die Negation des Werdens ist nicht Nicht-Werden, sondern *Vergehen*, also ein *Werden besonderer Art*, das sich mit dem Werden vereinigt zum *Dasein*.

Die Negation eines Begriffs, d. h. dessen angebliche Aufhebung – sagt HEGEL –, ist «*der höhere, reichere Begriff als der vorhergehende* – der negierte, also die Thesis –, «denn er ist um dessen Negation *oder (!)* Entgegengesetztes reicher geworden; enthält ihn also» (die Thesis), «aber auch *mehr als ihn (!)* und ist die Einheit seiner und seines Entgegengesetzten (!) (4, 51). – Dies ist natürlich nur der Fall, wenn *nicht von der Negation* – der blossen Aufhebung des Begriffs – die Rede ist, sondern vielmehr von einer *positiven Bestimmung*, die dem Begriff *zugesprochen* wird, so der *Veränderung*, die dem Sein dann zugesprochen wird, wenn es als *Werden*, d. h. sich veränderndes Sein, bezeichnet wird.

Was also in der angeblichen Negation zur Thesis – A – hinzukommt, ist nicht *ihre Aufhebung*, das non-A, sondern ein das A *näher bestimmender* Begriff, d. h. ein von A verschiedener, aber positiver Begriff. Es liegt also – beim Übergang von der Antithesis zur Synthesis – *Verwechslung* des non-A, der Negation, mit der *positiven Opposition*, einem B, C, D usw. gegenüber A vor. Nur in diesem Fall «bereichert sich» der angeblich negierte Begriff durch eine neue Bestimmung.

So verschwindet das Sein nicht durch seine Selbstaufhebung, sondern es wird ein Sein *besonderer Art*, nämlich sich veränderndes Sein oder Werden. Das Negative des Etwas (4, 134) ist nicht Nicht-Etwas, sondern *das Andere*, also etwas Positives, dem Etwas Entgegengesetztes. Das Etwas selbst, als *das Andere des Andern*, erhält eine positive Bestimmung. Es hat damit «die Andersheit an sich» und wird «das Andere seiner selbst», damit *das Sich-Verändernde*.

«Die physische Natur» ist *nicht* der Geist; sie ist «das Andere des Geistes». Damit ist sie *nicht sie selbst*, nämlich «das Andere an ihr selbst» und damit «das Ausser-sich-Seiende» in den Bestimmungen des Raumes (!), der Zeit (!), der Materie (!). Sie ist also Beliebiges als «nicht sie selbst», d. h. als «das Andere ihrer selbst» (ibid.).

Es kann also an die Stelle des non-A ein beliebiger *positiver Gegensatz zu A* untergeschoben werden, d. h. ein von A *positiv verschiedener Begriff*, der das A «näher bestimmt». Die Thesis wird so in der Synthesis «konkreter»; sie *bereichert sich*.

Die «Negativität» macht deswegen den «Wendungspunkt der Bewegung des Begriffs» aus (5, 342), weil an ihre Stelle ein *positiv entgegengesetzter Begriff* untergeschoben wird, durch den der Ausgangsbegriff sich «bestimmt». Das «Allgemeine» «bereichert und verdichtet sich» somit durch sein «dialektisches Fortgehen» (5, 349).

Fragt man nun, *nach welchen Richtungen* die untergeschobenen positiven Gegensätze zum Ausgangsbegriff ausgesucht werden, so sagt HEGEL (5, 3), er habe in der Logik «*vorgefundenes, verknöchertes Material in Flüssigkeit zu bringen*» gehabt.

HEGEL kann sich also nach vorgefundenen Wissenschaften – der Logik, Ontologie, Physik, dem Recht, der Geschichte, der Theologie usw. richten und die Begriffe, die er auseinander « abzuleiten » wünscht, ohne weiteres « dialektisch » miteinander verknüpfen, denn durch Beziehungs- und Begriffsverwechslungen kann man ableiten, was man will aus was man will. Eine *Sachbindung* liegt bei dieser Methode nicht vor, also auch gar keine Sach-Erkenntnis.

Aber allerdings hat der Philosoph bei diesem Vorgehen ein Gefühl der Allmacht, da er *vom Sachgehalt der Dinge unabhängig wird*. Nach HEGEL entspricht das Prinzip der Dialektik « der Vorstellung von der Macht Gottes », und es gilt « in allen besonderen Gebieten und Gestaltungen der natürlichen und geistigen Welt » (8, 193). Die « Idee », die sich dialektisch entwickelt, ist « insofern ewige Schöpfung, ewige Lebendigkeit und ewiger Geist ».

Hier ist noch zu bemerken, dass HEGEL die psychische Funktion und das dieser Funktion *Gegebene* nicht unterscheidet (vgl. 4, 88; 5, 342). Der « absolute Geist », durch dessen Entwicklung sich die Logik, die Natur und die Geschichte bilden sollen, heisst auch « der Begriff » oder « die Idee ». « Begriff » steht also auch für *das Begreifende*, « Idee » für das, was Ideen hat.

So kann ein beliebiger Begriff, z. B. der des Seins, durch seine dialektische Entwicklung zu beliebigen Begriffen der Logik werden, dann zur Natur und zur Geschichte, bis er im Ich des Philosophen als « absoluter Geist » endlich « zu sich selbst kommt », d. h. entsteht. Das Entstehen das *Ich des Philosophen* und damit des « absoluten Geistes » erscheint also sozusagen als der Endzweck der Entstehung von Natur und Geschichte.

Diese Dialektik ist angeblich nur die Analyse dessen, was der Begriff in sich enthält. Sie ist « absolutes Wissen »; unabhängig von jeder Erfahrung. Und sie stellt ohne Weiteres « die Geschichte Gottes » dar, das Werden Gottes, das sich erst im Ich des Philosophen vollendet. Gott entsteht also genau genommen erst *als Ich des Philosophen*.

Dieses System mag einen nicht mehr zu übertreffenden Machttraum des Ich, d. h. des Philosophen, darstellen. Aber es ist ein System von Sachunterschiebungen. Es hat überhaupt keinen Erkenntniswert.

Sofern die Theorie des Marxismus-Leninismus eine Anwendung der HEGELschen Dialektik darstellt, ist sie reine Illusion. Es kommt ihr nicht der geringste Erkenntniswert zu. Übrigens wird in der gesamten marxistischen Literatur die Negation – der sog. « Widerspruch » – *nicht unterscheiden* von der positiven Opposition, d. h. dem blossen positiven *Gegensatz*. Dadurch allein werden beliebige Begriffsunterschiebungen möglich. Dementsprechend muss denn auch das Bekenntnis zu dieser Theorie durch Zwangsmassnahmen gesichert werden; der präzisen Analyse unterworfen, löst sich ihre systematische Grundlage in Sachverwechslungen auf.

3. A. MERCIER (Berne) – *La modalité du jugement comme notion-clef de la théorie de la connaissance*

Résumé. Il y a deux modalités de la connaissance: L'une procède par jugement, la seconde évince le jugement. Cette dernière est de nature

mystique et mène à l'appréhension des valeurs divines; elle ne connaît qu'un mode.

La première, dite modalité du jugement, se scinde en trois modes selon le rapport qui s'établit entre le sujet et l'objet: – le mode objectif de la science lorsque le sujet acquiert la plus grande indépendance possible envers son objet dans le but de la démarche de la valeur de vérité – le mode subjectif de l'art lorsque le sujet se soumet à la plus grande dépendance possible vis-à-vis de son objet dans le but de la recherche de la valeur de beau – et le mode communautaire de la morale où sujet et objet sont en prise réciproque dans le but de la promotion du bien. Le pur jugement logique, qui n'atteint à aucune valeur positive, ne joue dans le système de la connaissance qu'un rôle strictement restreint, à l'intérieur du raisonnement formel de l'entreprise objective de la science; il ne permet à lui seul de promouvoir aucune valeur positive véritable, principalement parce que les valeurs sont d'ordre empiriques. Il lui correspond des démarches analogues dans les autres entreprises cognitives. Notre travail présente l'argumentation détaillée du schéma ci-dessus et explique pourquoi il convient d'appeler «modalité du jugement» une notion beaucoup plus large que ce qu'entendent les logiciens purs par ce terme.

4. EMIL J. WALTER (Zürich) – *Kurzbericht über das Internationale Symposium über «Relations between Science and Technology» in Bratislava vom 22. bis 26. September 1969*

Am 22. September sprach der Berichterstatter an einer Tagung der tschechoslowakischen Philosophen in Harmonia bei Bratislava über das Thema «Erkenntnistheoretische Bedeutung von Reiz- und Wahrnehmungswelt und das System der Wissenschaften». Es handelte sich um Gedankengänge, welche von unserer Gesellschaft seinerzeit an der Jahresversammlung der SNG in Biel diskutiert worden sind. Da die marxistischen Philosophen der ČSSR sachlich weitgehend mit den Lehrmeinungen der analytischen Philosophie des Westens übereinstimmen, war die Diskussion lebhaft und aufschlussreich. Am Internationalen Symposium der «World Federation of Scientific Workers» vom 22. bis zum 26. September in Bratislava nahmen über 100 Gelehrte aus den Ost- und Weststaaten teil. Es wurden in zwei Sektionen

a) Die Rolle der Wissenschaft in der Entwicklung der Gesellschaft und der Technologie

b) Soziale und ökonomische Faktoren, welche die Beziehungen von Wissenschaft und Industrie national und international beeinflussen

über 30 Referate vorgetragen und zum Teil kritisch besprochen. Der Berichterstatter sprach über «Die Zukunft des technischen und wissenschaftlichen Fortschrittes» auf Grund gewisser skeptischer, durch die Geschichte der Naturwissenschaften nahegelegter Überlegungen, die teilweise anerkannt, denen aber zum Teil auch heftig widersprochen wurde.

Sonntag, 5. Oktober 1969

Symposium über «Grundbegriffe und Probleme der Kybernetik (Steuerungslehre)»

1. Referent PROF. DR. E. BILLETER (Institut für Automation an der Universität Freiburg)

Die Kybernetik kann als eine noch junge Wissenschaft betrachtet werden, die vor rund 20 Jahren von NORBERT WIENER, einem Mathematiker und Logiker, ARTURO ROSENBLUETH, einem Physiologen, sowie MANUEL SANDOVAL VALLARTA, einem Physiker, eingeführt worden ist. Die Bezeichnung Kybernetik ist allerdings schon älter, wurde sie doch vom Physiker AMPÈRE verwendet, der damit die Kunst der Staatsführung bezeichnete. Der Vorschlag AMPÈRES geriet dann allerdings in Vergessenheit, und erst WIENER, ROSENBLUETH und VALLARTA haben ihn wieder eingeführt. Der Name stammt bekanntlich aus dem Griechischen und bedeutet «Steermann».

Damit ist auch schon die Wissenschaft umschrieben, die mit Kybernetik bezeichnet wird. Sie untersucht die Steuer- und Regelungsvorgänge in lebenden Organismen und Maschinen. Dabei ist zwischen den Funktionen des Steuerns und Regels zu unterscheiden. Von einer *Steuerung* spricht man bekanntlich, wenn die Ausgangswerte eines Systems die Eingangswerte nicht beeinflussen. Eine *Regelung* besteht aber dann, wenn der Ausgangswert eines Systems mit einem Sollwert verglichen wird und wenn die festgestellte Differenz, sofern sich eine solche einstellt, zur Beeinflussung des Eingangswertes herangezogen wird. Nach DIN 19226 ist die Regelung ein Vorgang, bei welchem eine physikalische Grösse, die Regelgrösse, fortlaufend erfasst und durch Vergleich mit einer anderen Grösse (Sollwert) im Sinne einer Angleichung an diese beeinflusst wird. Bei der Regelung handelt es sich also um einen geschlossenen Wirkungskreislauf (feed-back), während die Steuerung durch einen offenen Wirkungskreislauf gekennzeichnet ist. Die Kybernetik befasst sich nun, neben Steuerungsvorgängen, vor allem mit Regelungsvorgängen. Bei der Steuerung wird der Gleichgewichtszustand von äusseren Kräften, bei der Regelung aber durch innere Kräfte zu erhalten versucht.

Ein solcher Regelvorgang besteht beispielsweise beim aufrechten Gang eines Menschen. Hier besagt der Sollwert, dass der Körper sich aufrecht zu halten hat. Bei jedem Schritt wird nun die Lage des Körpers mit diesem Sollwert verglichen. Wird eine Abweichung festgestellt, so werden gewisse Muskeln aktiviert, die dieses Ungleichgewicht beheben sollen. Diese Korrekturen erfolgen unbewusst und sehr rasch. Dass aber der aufrechte Gang nicht einfach zu verwirklichen ist, wird dann offenbar, wenn der Vergleich des Sollwertes mit dem Ausgangswert (jeweilige Körperlage nach einem Schritt) durch irgendwelche Gründe (Krankheit, übermässiger Alkoholgenuss usw.) erschwert oder sogar verunmöglicht und wenn die entsprechende Mitteilung an die Muskeln verlangsamt ist.

Diese Erscheinungen lassen sich vor allem bei lebenden Organismen beobachten. Doch sie beschränken sich nicht ausschliesslich auf solche Organismen, sondern bestehen auch für die unbelebte Materie, wie zum Beispiel Maschinen. Einen berühmten Regelvorgang stellt der Zentrifugalregler bei der Dampfmaschine dar, der im Jahre 1788 von JAMES WATT konstruiert worden ist. Der Drehzahlregler nach WATT besteht aus zwei Fliehkewichten, die sich auf einer Welle befinden. Diese ist mit einem Dampfkessel derart verbunden, dass sie sich bei zunehmendem Dampfdruck schneller dreht als bei niedrigem Druck. Mit den Fliehkewichten ist nun ein Gestänge verbunden, das bei rascher Rotation der Welle (hoher Dampfdruck) und folglich auch der Fliehkewichte die Dampfzufuhr drosselt und bei langsamer Rotation der Welle, d. h. bei kleinem Dampfdruck, die Dampfzufuhr erhöht.

Es hat sich nun gezeigt, dass solche Regelvorgänge in der organischen und anorganischen Welt sehr häufig auftreten. Die technische und mathematische Darstellung solcher Regelvorgänge geschieht auf Grund der *Regeltechnik*. Obwohl die Regeltechnik für die Erklärung und Durchleuchtung von Regelvorgängen sehr wichtig ist, stellt sie doch nur ein Hilfsmittel der Kybernetik dar. Kybernetik ist also nicht der Regeltechnik gleichzusetzen. Diese Unterscheidung wird verständlich, wenn man bedenkt, dass die Regeltechnik die Regelvorgänge mathematisch zu erfassen und technisch darzustellen versucht, ohne jedoch der Ursache und den Grundlagen solcher Regelvorgänge nachzugehen. Mit dieser Aufgabe befasst sich nun hauptsächlich die Kybernetik.

Es galt hier zuerst, von den Erscheinungsformen solcher Regelvorgänge zu abstrahieren und diese Vorgänge in ihrer allgemeinen Art zu erfassen. Zu diesem Zwecke wurde in der Kybernetik auf einen Ausdruck gegriffen, der eingangs schon genannt worden ist. Den lebenden Körper wie auch die Maschine betrachtet man hier als etwas grundsätzlich gleichartiges und bezeichnet sie ganz allgemein als *System*. Damit ist eine Grundlage der Kybernetik gefunden, nämlich die Systemtheorie. Als System im kybernetischen Sinn bezeichnet man eine komplexe Verbindung von Elementen. Jedes System besteht also aus Teilstücken, den Elementen, die untereinander in Verbindung stehen und sich gegenseitig beeinflussen. So besteht also das System «menschlicher Körper» aus Teilstücken, wie beispielsweise dem Kopf, den Armen, Beinen usw. Diese Teilstücke des Systems stehen unter sich in Verbindung. Sie können überdies wiederum als Systeme betrachtet werden, die ihrerseits wiederum aus Teilstücken, zum Beispiel den Zellen, bestehen. Oder andererseits besteht das System «Verbrennungsmotor» aus Teilstücken, wie beispielsweise Nockenwelle, Zündkerzen, Ventilen, die untereinander in bestimmter Weise verbunden sind. Auch hier kann man diese Teilstücke als Systeme betrachten, die wiederum aus Teilstücken bestehen; diese Unterteilung kann weitergetrieben werden.

Die einzelnen Teilstücke eines Systems hängen in bestimmter Weise zusammen. Dieser Zusammenhang ist aber oft nicht bekannt. Bekannt ist dann lediglich die Folgeerscheinung dieses Zusammenhanges. Dies

kann man sich durch das folgende Beispiel deutlich machen. Es sei ein geschlossener Behälter gegeben, auf welchem sich zwei Drucktasten befinden. Wird eine dieser Tasten betätigt, so erscheint auf der Seitenwand des Behälters eine gerade Zahl zwischen 0 und 9, wird die andere Taste gedrückt, so wird eine ungerade Zahl zwischen 0 und 9 angezeigt; drückt man aber beide Tasten gleichzeitig, so leuchtet ein rotes Licht auf. Diese Maschine kann nun als ein System betrachtet werden, das aus den Teilstücken der beiden Tasten, dem Behälter und dem Lichtsignal besteht. Diese Teilstücke stehen offenbar in einem gewissen Zusammenhang zueinander, der aber nicht bekannt ist. Was im Behälter bei der Betätigung der Drucktasten vorgeht, ist unbekannt. Man kann allerdings Annahmen darüber treffen. Den Behälter bezeichnet man in der Kybernetik als «Black-box» oder Dunkelkammer¹.

Ein kybernetisches System, das etwas komplexer ist, führt ASHBY an [1]. Er führt hier einen Brief an, der folgenden Wortlaut hat:

«Mein lieber Freund!

Vor einiger Zeit habe ich dieses alte Haus gekauft, das von zwei Gespenstern verhext ist, die sich durch wüsten Gesang und sardonisches Gelächter kundtun. Aus diesem Grund ist es kaum bewohnbar. Es besteht jedoch Hoffnung, denn durch Versuche habe ich herausgefunden, dass das Verhalten dieser Gespenster bestimmten Gesetzmässigkeiten folgt, die zwar undurchschaubar, aber unfehlbar sind. Das Verhalten dieser Gespenster kann nämlich durch mein Orgelspiel oder durch das Verbrennen von Weihrauch beeinflusst werden.

In jeder Minute ist dieses Verhalten entweder hörbar oder still, ohne Unterschied in der Intensität der Geräusche. Das Verhalten während der folgenden Minute hängt genau davon ab, was während der vorhergehenden Minute geschehen ist, nämlich:

Das gesangliche Verhalten in der folgenden Minute dauert wie in der vorhergehenden Minute weiter an (Gesang oder Stille), es sei denn, es wurde Orgel gespielt ohne gleichzeitiges Gelächter. In diesem Falle ändert sich das Verhalten ins Gegenteil (vom Geräusch zur Stille oder umgekehrt).

Was das Gelächter betrifft, so wird es erschallen oder nicht, in Übereinstimmung damit, ob Gesang ertönte oder nicht, sofern Weihrauch verbrannt wurde (in diesem Falle ahmt das Gelächter das Singen eine Minute später nach). Wurde jedoch kein Weihrauch verbrannt, so wird das lachende Gespenst das Gegenteil davon tun, was das singende Gespenst tat.

In dieser Minute, während welcher ich den Brief schreibe, höre ich das Lachen und den Gesang gleichzeitig. Sage mir bitte, welche Tätigkeiten

¹ Sehr oft findet sich dafür aber auch der Ausdruck «schwarzer Kasten». Diese Bezeichnung erscheint mir unglücklich, da sie eigentlich aussagt, dass der Kasten schwarz ist. Die Farbe des Kastens oder Behälters ist aber, wie das angeführte Beispiel gezeigt hat, gleichgültig. Wichtig ist, dass das Innere des Behälters für den Kybernetiker dunkel ist wie in einer Dunkelkammer.

bezüglich des Weihrauches und der Orgel ich unternehmen muss, um die Geräusche für immer zum Verschwinden zu bringen.»

Soweit der Text des Hilferufes eines von Gespenstern bedrängten Menschen an seinen Freund. Auch hier handelt es sich um ein System, das durch eine Eingabe (Orgelspiel, Verbrennen von Weihrauch), eine Ausgabe (Gelächter, Gesang oder beides) und durch die unbekannte Begründung der Gesetzmässigkeit zwischen dem Verhalten der Gespenster und der Eingabe gekennzeichnet ist. Dieses Teilstück des Systems wird man als Dunkelkammer bezeichnen, und wir versuchen herauszufinden, was in dieser Dunkelkammer vor sich geht. Die Kenntnis dieser Vorgänge in der Dunkelkammer ermöglicht es dem Kybernetiker, eine Eingabe, d. h. ein Verhalten zu empfehlen, durch welches die gespenstischen Erscheinungen aufgehoben werden.

Damit nun die einzelnen Teilstücke des Systems zusammenwirken können, muss ein Austausch von Mitteilungen oder Informationen zwischen diesen Teilstücken angenommen werden. Dieser Informationsaustausch wickelt sich nun nach bestimmten Regeln und Gesetzmässigkeiten ab, die in der Informationstheorie herausgearbeitet werden. Eine zweite wichtige Grundlage der Kybernetik ist also – neben der Regeltechnik – die Informationstheorie.

Die Elementeneinheit in der Informationstheorie ist das *Zeichen*. Dieses verweist auf etwas. Zeichen sind beispielsweise Buchstaben, Ziffern, Punkte im Morsealphabet. Werden nun Zeichen nach einem bestimmten Code zusammengestellt, so ergeben sich daraus *Signale*. Dieses besteht folglich aus einer Kombination von Zeichen. Das Signal muss nicht für jedermann verständlich sein. Übermittelt es aber etwas Verständliches, so wird es zur *Nachricht*. Während das Signal einen physischen Tatbestand (Kombination von Zeichen) darstellt, trifft dies für die Nachricht nicht zu. Das Signal kann eine Nachricht übertragen, braucht es aber nicht. Wenn nun das Signal eine Nachricht überträgt, so vermittelt sie die in der Nachricht begriffene Information. Es ist allerdings vorausgesetzt, dass der Empfänger der Information eine solche erwartet; in diesem Falle bedeutet die Nachricht für den Empfänger etwas. Erwartet der Empfänger aber keine Information, so enthält die Nachricht für ihn keine Information. Der Begriff der Information ist nun nicht nur für die Informationstheorie, sondern auch für die Kybernetik ein zentraler Begriff.

In einem System werden nun Informationen übertragen. Dabei stellen sich drei Probleme, nämlich:

- technisches Problem: die Genauigkeit der Zeichenübertragung;
- semantisches Problem: die Genauigkeit der Bedeutungsübertragung der Zeichen;
- pragmatisches Problem: die Wirksamkeit der Beeinflussung des Empfängers.

Wir haben nun die beiden wichtigsten Grundlagen der Kybernetik aufgezeigt, nämlich die Regeltechnik und die Informationstheorie. Die Regeltechnik ist vor allem hinsichtlich der in komplexen Systemen stets auftretenden Regelkreisen bedeutsam. Die Informationstheorie ihrerseits bezieht sich auf den Informationsfluss in solchen Systemen. Die Kybernetik befasst sich nun nicht nur mit der Erklärung bestimmter Zustände komplexer Systeme, sondern auch mit dem Übergang von einem Zustand in einen anderen. Dabei ist der erstrebte Zustand vorgegeben, im Gegensatz beispielsweise zur statistischen Theorie der MARKOV-Prozesse, wo die Übergangswahrscheinlichkeiten gegeben sind, und wo die Wahrscheinlichkeit gesucht wird, einen bestimmten erstrebten Zustand zu erreichen. Diese Betrachtungsweise ist deutlich aus dem Beispiel mit den beiden Gespenstern hervorgegangen, wo der erstrebte Zustand durch das Verstummen des Lachens und das Aufhören des Gesanges gekennzeichnet war. Die Frage bestand darin, wie dieser Zustand erreicht werden könne.

Diese Fragestellung trifft man in vielen Wissenschaftsgebieten an. So kann sich das Problem stellen, einen bestimmten Blutdruckzustand oder aber ein bestimmtes Firmenziel zu erreichen. Von dieser Seite her betrachtet, sind verschiedene Anwendungsgebiete der Kybernetik zu unterscheiden. So spricht man von medizinischer, biologischer, volkswirtschaftlicher, betriebswirtschaftlicher, technischer Kybernetik usw. Es handelt sich hier um Anwendungsgebiete der Kybernetik, in welchen bestimmte kybernetische Untersuchungsmethoden besonders entwickelt worden sind. Dieser praktischen Kybernetik steht die theoretische oder mathematische Kybernetik gegenüber. Diese bezweckt, die Grundgesetze kybernetischer Betrachtungsweise in mathematische Form zu kleiden. Auf diesen Gebieten leisten die Gruppen- und die Graphentheorie besonders gute Dienste.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet der Kybernetik soll hier noch gesondert erwähnt werden. Es handelt sich um den Einsatz der Kybernetik in der elektronischen Datenverarbeitung. Diese ist ohne Kybernetik nicht denkbar, sei es, weil die Computer nach kybernetischen Prinzipien aufgebaut sind, sei es, weil auch die Programmierungstechnik solcher Geräte in massgeblicher Weise kybernetischen Grundprinzipien folgen. Jedes Programm kann nämlich als eine Übersetzung oder Transformation eines Zustandes in einen anderen betrachtet werden. Der Ausgangszustand ist durch die Gesamtheit der zu verarbeitenden Informationen, die als Zeichen (z. B. Lochpositionen auf einer Lochkarte) anfallen, gekennzeichnet. Der erstrebte Zustand besteht aus den gesuchten Resultaten einer bestimmten Verarbeitung. Diese stellt nun das Bindeglied zwischen Ausgangs- und Endzustand (Gesamtheit der Resultate) dar, welches als Dunkelkammer dieses Verarbeitungssystems aufgefasst werden kann. Das Programm stellt nun eine Deutung der Vorgänge in der Dunkelkammer dar. Symbolisch lässt sich dieser Vorgang folgendermassen darstellen:



T bezeichnet hier die Transformation, d. h. die Deutung der Vorgänge in der Dunkelkammer, also das Programm; A bedeutet den Ausgangs- und E den Endzustand. Der Ausgangszustand A besteht, wie schon erwähnt, aus den zu verarbeitenden Informationen $J_i (i=1, 2, \dots, n)$ und der Endzustand aus den Resultaten $R_j (j=1, 2, \dots, m)$. Nun ist es möglich, dass der Vektor R_j wiederum der gleichen Transformation T , d. h. dem gleichen Programm, unterworfen wird. Dadurch ergibt sich das folgende kybernetische Modell:

$$T \begin{array}{l} \downarrow \\ A \quad E_1 \quad E_2 \quad \dots \quad E_{k-1} \\ E_1 \quad E_2 \quad E_3 \quad \dots \quad E_k \end{array}$$

in dem E_1, E_2, \dots, E_{k-1} Endzustände mit verschiedenen Zwischenresultaten bedeuten. Andererseits ist es möglich, dass diese Zwischenresultate anderen Verarbeitungen bzw. Programmen T_1, T_2, \dots unterworfen werden. Dadurch ergibt sich das folgende Modell:

$$T_1 \begin{array}{l} \downarrow \\ A \\ E_1 \end{array} \qquad T_2 \begin{array}{l} \downarrow \\ E_1 \quad \dots \\ E_2 \end{array}$$

oder kompakter dargestellt:

	J_1	J_2	\dots	J_n	$(=A)$
	X_1	X_2	\dots	X_n	$(=X)$
T_1	R_1	R_2	\dots	R_n	$(=E_1)$
T_2	R'_1	R'_2	\dots	R'_n	$(=E_2)$

In diesem Modell tritt zuerst der Vektor $A=(J_1, J_2, \dots, J_n)$ an die Stelle des variablen Vektors $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Dieser nun bestimmte Vektor X wird der Transformation T_1 unterworfen und erzeugt den Resultatenvektor $E_1=(R_1, R_2, \dots, R_n)$. Dieser tritt nun an Stelle von X und erfährt die Transformation T_2 . Es springt der Vektor $E_2=(R'_1, R'_2, \dots, R'_n)$ heraus, der wiederum an die Stelle des Vektors X tritt, usw. Dieses kybernetische Modell ist das allgemeine Schema einer digitalen Datenverarbeitungsanlage, wie sie heute in sehr vielen Universitäten und Firmen unter der Bezeichnung Computer eingesetzt werden.

Von dieser digitalen Rechenanlage ist der Analogrechner zu unterscheiden, der zur Darstellung bestimmter technischer und physikalischer Prozesse verwendet wird. Das kybernetische Modell einer solchen Anlage unterscheidet sich grundsätzlich von jenem einer Digitalanlage. Der Analogrechner kann kybernetisch folgendermassen dargestellt werden:

	J_1	J_2	\dots	J_n	$(=A)$
	X_1	X_2	\dots	X_n	$(=X)$
T	Y_1	Y_2	\dots	Y_n	$(=Y)$
	R_1	R_2	\dots	R_n	$(=E_1)$
	R'_1	R'_2	\dots	R'_n	$(=E_2)$

Hier bezeichnet $Y=(y_1, y_2 \dots y_n)$ den variablen Resultatenvektor. Zuerst tritt hier wiederum der Vektor A an die Stelle von X . Dieser wird durch die Transformation T verarbeitet und geht in den variablen, nunmehr aber bestimmten Vektor Y über. Bei einem ersten Rechendurchgang ist dieser Vektor Y gleich E_1 . Dieser tritt nun an die Stelle von X und wird durch die gleiche Transformation T verarbeitet. Das Resultat erscheint auf Y . Bei diesem zweiten Durchgang ist Y gleich E_2 , usw.

Der Unterschied zwischen diesen beiden kybernetischen Modellen ist augenfällig. Im ersten Falle (Digitalrechner) sind viele Programme T möglich; im zweiten Falle (Analogrechner) aber ist nur ein Programm T zu verwirklichen. Der Digitalrechner kann also als programmflexibel, der Analogrechner aber als programmstarr bezeichnet werden².

Nachdem versucht worden ist, den Begriff der Kybernetik und dessen Tragweite kurz zu schildern, stellt sich doch die Frage nach den Ausbildungsmöglichkeiten auf diesem Gebiete. Es soll deshalb abschliessend versucht werden, kurz auf dieses Problem hinzuweisen. Eine spezielle Fachausbildung in Kybernetik gibt es meines Wissens in Europa noch nicht. Auf diesem Gebiete haben die USA und die UdSSR einen Vorsprung, weil dort die grundlegende Bedeutung der Kybernetik auf vielen Wissensgebieten erkannt worden ist. Diese Erkenntnis finden wir zuerst in den USA, wo WIENER sie am MIT (Massachusetts Institute of Technology) vertreten hat. In der UdSSR wurde die Kybernetik zuerst als bourgeoise Wissenschaft ignoriert. Erst seit einigen Jahren hat man auch dort ihre Bedeutung erkannt und sogar ein Ministerium für Kybernetik errichtet. Während in den USA die Kybernetik an vielen Universitäten und technischen Hochschulen gepflegt wird, haben sich in der UdSSR zwei Schwerpunkte herausgebildet, der eine in Moskau, der andere in Kiew.

In Europa wird die Kybernetik noch von oben herab betrachtet und als Pseudowissenschaft abgetan. Man begründet diese Einstellung damit, dass sie noch zu sehr amorph ist. Dies mag wohl stimmen, doch haben alle Wissenschaften in ihrer Jugendzeit eine solche Phase durchgestanden. Gleichwohl beginnen sich hier und dort einige, vorerst noch schüchterne Versuche anzukündigen. So wird die technische Kybernetik an der Technischen Hochschule in Karlsruhe gepflegt. Auch in der Schweiz sind hier Ansätze zu nennen, so an der Universität Freiburg/Schweiz, wo am Institut für Automation und Operations Research die Kybernetik hinsichtlich der elektronischen Datenverarbeitung besonders gepflegt wird. Hier wird auch versucht, die kybernetischen Seiten des Operations Research aufzuzeigen, wie das seit jüngster Zeit auch in Grossbritannien versucht wird. Dass die wissenschaftlichen Grundlagen der elektronischen Datenverarbeitung, d. h. die Informatik oder Computerwissenschaften, in vermehrtem Masse an Universitäten und technischen Hochschulen gepflegt werden sollten, dürfte nunmehr anerkannt sein. Zur Erkenntnis,

² Diese kybernetischen Überlegungen sind im folgenden Buch weitergeführt: BILLETTER, ERNST P.: Der praktische Einsatz von Datenverarbeitungssystemen (3. Aufl., Springer-Verlag, Wien 1968).

dass dies aber ohne eine gründliche Ausbildung in Kybernetik Stückwerk bleiben muss, hat man sich leider noch nicht durchgerungen. Es ist zu hoffen, dass sich auch hier die Zustände bessern werden.

LITERATUR

1. ASHBY, W. ROSS: An Introduction to Cybernetics. Chapman and Hall, London 1957, S. 60/61.

2. H. TITZE (Wettingen) – *Gedanken über den Informationsbegriff*

Die Informationstheorie spielt im Zusammenhang mit der Kybernetik eine grosse Rolle. Kybernetische Maschinen, also die Computer, verarbeiten ja Informationen. In der Alltagssprache heisst Information eine Unterrichtung, eine Erhöhung des Wissens. Dies gehört zum geistigen Bereich. Bei kybernetischen Maschinen besteht die Information aus der Eingabe, die eine Lochkarte oder ein Lochstreifen sein kann. Alles ist hierbei physikalisch, nur die Form der Eingabe hat eine Bedeutung, die der eingebende Mensch, nicht die Maschine weiss. Dass die Maschine nun diese Information verarbeiten kann, also aus der eingegebenen Information eine neue entwickeln kann, hat Anlass zu Spekulationen gegeben.

Bekannt ist der Ausspruch NORBERT WIENERS: «Information ist Information, weder Materie noch Energie». Hieraus wird abgeleitet, obwohl dies WIENER gar nicht gemeint hat, dass die Information neben Materie und Energie zu stellen ist. Sie hätte nicht nur eine eigene Bedeutung, sondern wird darüber hinaus als physikalischer Grundbegriff aufgefasst, der neben den Grundbegriffen Materie und Energie gleichwertig bestehen soll. Information wäre dann ebenso wie diese ein «Prinzip» physikalischer Vorgänge. CL. E. SHANNON, der als der «Erfinder» des technisch-physikalischen Ausdruckes «Information» gilt, ist vorsichtiger. Er erwähnt nichts von einem «Prinzip», sondern er betont im Gegenteil ausdrücklich, dass der technische Begriff der Information gegenüber dem Alltagsgebrauch eingeschränkt worden sei. Er unterscheidet den technischen vom semantischen und pragmatischen Gebrauch. C. F. V. WEIZSÄCKER stellt die Information eindeutig als eine «eigene Wirklichkeit» neben Materie und Energie. Ebenso wie sich in der modernen Physik Materie als Energie oder umgekehrt erwiesen hat, könne sich auch Information einmal als Energie erweisen. Information als den Anfang des Weltgeschehens überhaupt gibt J. PETERS an, wenn er meint, dass das Bibelwort «im Anfang war das Wort» als «am Anfang war die Information» aufgefasst werden müsse. Hier wird das griechische Logosprinzip als Informationsprinzip gedeutet. Nach PETERS ist aber Information nichts Drittes, sondern immer an Materie und Energie gebunden, sie sei ein Mass von deren Ordnung, wobei Ordnung als ein Mass der Seltenheit aufzufassen sei.

Philosophisch ist die Ansicht GOTTHARD GÜNTHERS von besonderer Bedeutung. Er setzt die Information als dritte Grösse zu der klassischen Zweiteilung von Geist und Materie. Bisher war Information nur geistig

gedacht, sie bestand nur zwischen einem Ich und einem Du und umkehrt. Nun gibt es aber Information auch in der Maschine. Information wird physikalisch aufgefasst und dadurch messbar. Das «Es» wurde «ansprechbar». Eine Reflexion gebe es nicht nur zwischen Ich und Du, sondern auch zwischen Ich und Es. Er stellt die Information als Reflexion zwar nicht gleichwertig neben Materie und Energie, sondern als «primordiales Konstruktionselement» vor jedes Seiende, womit der Gegensatz von Materie und Geist «dialektisch» aufgehoben werde. GÜNTHER erkennt die Information als Ordnungsprinzip, das Materie und Energie «moduliert». Information könne wesensmäßig nicht neben Materie und Energie gestellt werden. Es ist klar, dass bei der Verschiedenheit der Auffassungen auch Kritik laut geworden ist. Einige Physiker und Techniker stehen Spekulationen skeptisch gegenüber, so BRILLOUIN und neben SHANNON auch WEAVER, die den Informationsbegriff auf den technischen Gebrauch beschränken. Von seiten der Philosophen kritisiert S. MOSER insbesondere die Dreier-Metaphysik GÜNTHERS. Information in der Maschine sei nur Beziehung zwischen Signalen, sie könne als «Struktur» nicht ein drittes Prinzip sein, da Struktur mehr als Information sei. G. SCHISCHKOFF wehrt sich dagegen, dass geistige Funktionen auf den nur technischen Begriff der Information zurückgeführt werden könnten. Die Beziehungen zwischen Bewusstsein und Maschine seien nicht einfach physikalische Vorgänge. Hier greift er besonders STEINBUCH an, der zu solchen Ansichten neigt.

Diese kritischen Bemerkungen sind Anfänge, und es ist erforderlich, sie zu vertiefen und genauer zu begründen. Dies soll im folgenden am Informationsbegriff durchgeführt werden.

Definition der Information

Die Information muss entsprechend der heutigen Lage von seiten der Techniker und Philosophen definiert werden. Der Techniker braucht den Informationsbegriff für seine Maschinen, der Philosoph muss ihn aus dem Gebrauch in der Alltagssprache und der Psychologie, wo die technische Definition nicht ausreicht, zu definieren versuchen. Es ist klar, dass diese beiden Definitionen gegenseitig widerspruchsfrei sein müssen.

Ursprünglich heisst «Information» einfach «Einformung», wobei unter Form die Struktur zu verstehen ist. Sie ist Gestaltung, Ordnen irgendwelchen Stoffes im allgemeinen Sinne. Stoffe sind dann auch Sätze, die geordnet über etwas «informieren». Als Formen ungeordneten Stoffes ist die Beziehung von Stoff und Form schon bei ARISTOTELES zu finden. Nach C.E. SHANNON entspricht dem Mass der Information die Wahl einer Nachricht aus mehreren endlichen Möglichkeiten einer Nachrichtenmenge. Es werden dabei zwei Zustände verglichen, nämlich der Zustand, bei welchem die Möglichkeit mehrerer Nachrichten besteht, also ein zwar ungeordneter, aber wahrscheinlicher Zustand, und der Zustand, bei dem eine dieser Nachrichten gegeben ist, also ein in bestimmter Weise geordneter, aber unwahrscheinlicher Zustand. Die Information ergibt sich als

die Änderung des Ordnungszustandes und der Wahrscheinlichkeit vor und nach der Information.

Der Ausdruck «Information» ist zuerst im englischen Sprachgebiet gebraucht worden. Er bedeutet hierbei zweierlei, nämlich einmal die erhaltene Nachricht als Endzustand und den Vorgang der Mitteilung der Nachricht. Im Deutschen bezeichnet man mit Information in der Alltagssprache aber meist eher den Endzustand, während der Vorgang besser eine Informierung genannt werden sollte. Auf die Dynamik der Informierung wird zuwenig geachtet. Mit Information sollte besser der Zustand als Informationsgehalt und mit Informierung der Vorgang, das Erhalten von weiteren Informationsgehalten bezeichnet werden. Informationsgehalt ist dann eine Menge von Nachrichten. Informierung ist die Differenz des Informationsgehaltes zweier Zustände.

- Die technische Definition der Information ist der Vergleich zweier Zustände mit verschiedener Wahrscheinlichkeit möglicher Nachrichten.

Im allgemeinen Sprachgebrauch bezieht sich der Informationsbegriff auf Geistiges. Informieren ist Übermitteln von Nachrichten als Kenntnissen. Der zu Informierende erweitert durch eine oder mehrere Nachrichten seine Kenntnisse. Information ändert das Wissen. Wissen ist dabei eine Menge von Nachrichten, die im Gedächtnis ruhen, also unbewusst sind und durch das Bewusstsein bewusst gemacht werden können. Der Bezug auf das Bewusstsein ist also vorhanden, dagegen wird – zunächst wenigstens – der Bezug auf einen physikalischen Vorgang nicht berücksichtigt.

- Die philosophische Definition der Information ist die Änderung, meist Mehrung des Wissens als Menge von Nachrichten.

Vergleicht man beide Definitionen, so beschränken beide den Informationsbegriff auf verschiedene Gebiete. Bei der philosophischen Definition wird nur das Geistige, bei der technischen nur das physikalische berücksichtigt. Sie ergänzen sich gegenseitig ohne Widerspruch. Der Bezug auf die Wahrscheinlichkeit scheint dieser Behauptung entgegenzustehen. Er ist aber erforderlich, weil die technische Definition von Wertungen, Bedeutungen und Urteilen absehen muss. Andererseits kann man keine zahlenmässigen Zuordnungen erhalten, wenn man solche qualitativen Begriffe berücksichtigt. Sinn und Bedeutung überformen Zufall und Wahrscheinlichkeit. Technisch ist Information ein Mass, und zwar ein Mass der Ordnung, der Seltenheit als negativer Wahrscheinlichkeit. Philosophisch wird durch die Bedeutung und den Sinn ein finaler Zug eingebracht, der die Wahrscheinlichkeit gewissermassen überbrückt.

Phänomenologie der Information

Um ein klareres Bild über das Wesen der Information zu erhalten, müssen die Erscheinungsformen unter Weglassung aller Vorurteile, Wünsche und bisherigen Interpretationen untersucht werden. In Anleh-

nung an die von E. HUSSERL entwickelte phänomenologische Methode wird versucht, hiedurch einen klareren Begriff von der Information zu erhalten.

Es muss gefragt werden, was sich beim Informieren abspielt.

Ein Geber gibt eine Nachricht ab. Ein Empfänger erhält die Nachricht. Zwischen beiden besteht ein Kanal, der die Nachricht übermittelt. Geber, Kanal und Empfänger zusammen bilden den Informationsfluss. Dies erinnert an den kausalen Vorgang, der als Energiefluss aus einer Ursache und einer Wirkung besteht, wobei die Ursache auf einen ersten Zustand wirkt, der sich als Wirkung in einen zweiten Zustand wandelt. Der Geber bei der Information wirkt über einen Kanal auf den Empfänger, der sich aus einem ersten Zustand in einen zweiten wandelt. Der Kanal muss hierbei die Nachricht ebenfalls empfangen und gibt sie dann weiter, ähnlich wie eine Kausalkette aus Wirkungen besteht, die selbst wieder Ursachen für weitere Wirkungen sind. Der Kanal ist eine Informationskette. Wie bei jedem kausalen Vorgang jede Ursache bewirkt sein muss und jede Wirkung selbst wieder eine Ursache ist, so ist auch beim Informationsfluss jeder Geber einmal selbst irgendwie Empfänger gewesen und jeder Empfänger kann Information als Geber weitergeben.

Der Informationsfluss soll nun an der Maschine, am Lebewesen als vegetabilem Gebilde und als geistigem Wesen untersucht werden.

Die Maschine

Bei der Maschine ist der Geber der Eingabestreifen (Lochkarte u.ä.) dessen Markierungen (Löcher) einen Vorgang in der Maschine auslösen. Die Struktur der Transistoren und Magnetkerne wird dadurch geändert. Diese Änderung löst Vorgänge aus, die sich bis zum Ausgabestreifen erstrecken. Die Eingaben und Ausgaben enthalten Information. Die Eingabe macht der Mensch, der die Löcher entsprechend einem die Information enthaltenem Code geordnet hat. Diese Ordnung wird der Maschine gegeben. Das Gleichgewicht wird dadurch gestört. Die Maschine läuft, bis ein neues Gleichgewicht entsteht, bei dem der Ausgabestreifen mit bestimmter Struktur abgegeben wird. Die Anordnung der Löcher liest der Mensch, der weiss, was sie bedeutet. Der Mensch ist also immer der eigentliche Informationsgeber und -empfänger. Die Maschine ist nur Kanal. Der Lochstreifen ist die Ursache dafür, dass die Maschine arbeitet und als Wirkung etwas ausgibt. Die Maschine ändert ihren Zustand infolge der Eingabe. Die Ähnlichkeit mit einem kausalen Vorgang ist überraschend. Das Geistige liegt ausserhalb der Maschine. Geistige Information ist nur beim eingebenden und ablesenden Menschen vorhanden, der sich vorher zurechtgelegt hat, was die Anordnung der Löcher oder sonstigen Signale bedeuten soll. Auch wenn diese Bedeutung nicht da wäre, würde sich die Maschine in genau gleicher Weise verhalten.

Es sei nur noch erwähnt, dass auch das sogenannte Modell der Aussenwelt, das auch als Gedächtnis bezeichnet wird, nur eine bestimmte Anordnung von erregten Magneten und Transistoren ist.

Die Eingabe eines bestimmten Ordnungszustandes erhöht den Ordnungszustand der Maschine. Dieser Ordnungszustand entspricht dann dem technischen Begriff des Informationsgehaltes. Er ist die Unwahrscheinlichkeit, dass ein solcher Zustand von allein eintreten kann. Dass dies möglich ist, liegt daran, dass der Mensch gewissermassen als Schöpfer final diesen Ordnungszustand herstellt. Dieser Zustand kann sich im Gleichgewicht halten, ohne zu zerfallen, weil die physikalischen Kräfte in der Maschine sich gegenseitig ausgleichen und ausregeln (Gleichgewicht der Kräfte).

- Die Maschine ist auch als Informationsverarbeiter nur Kanal, sie arbeitet logisch-kausal determiniert.

Das körperliche Lebewesen

Man spricht beim Wachstum von der Erbinformation; diese ist ein bestimmter Ordnungszustand besonderer Moleküle und Zellen, der Chromosomen und Gene. Diese wirkt als Auslösekausalität für die weitere Entwicklung. Sie ist eine Tendenz zur Zweckmässigkeit. Diese ist bedingt durch die Struktur der Erbträger. Bereits KANT hat dies gewusst, der von der Epigenesis als genetischer Präformation spricht. Dies ist genau das, was man heute als Erbinformation bezeichnet. Sie ist ein hochgeordneter Zustand, der sich auszugleichen sucht. Der finale Zug in der Biologie entsteht also durch diese «Präformation» als Grad einer hohen Ordnung. Die Entwicklung der Lebewesen geht in Richtung zur höheren Ordnung. Diese zeigt sich darin, dass die Eigenschaften der entwickelten Lebewesen sich vermehren, obwohl bei physikalischen und physiologischen Vorgängen die Tendenz zum Verfall vorwiegt. Dieser Verfall wird durch die Erbinformation dadurch verhindert, dass das Lebewesen Gegenkräfte zur Erhaltung des Lebens beschaffen muss: Nahrungsaufnahme, Atmung sind solche Vorgänge, die die vorhandene Ordnung erhalten oder beim Wachstum erhöhen sollen. In diesem Sinne kann man Nahrungsaufnahme auch als Informationsaufnahme im Sinne der technischen Information ansehen.

Das Lebewesen eignet sich eine solche Information selbst an. Das Lebewesen ist daher nicht nur Kanal wie bei der Maschine, sondern auch Informationssucher. Die Vorgänge im Lebewesen ohne äussere Einflüsse erfolgen genau so kausal wie bei der Maschine. Als abgeschlossenes System wird im Lebewesen die Ordnung geringer. Es hat die Tendenz zu verfallen. Ordnung kann nur durch Aneignung äusserer weiterer Ordnung aufrechterhalten werden. Daher muss das Lebewesen Nahrung zu sich nehmen.

Das Lebewesen kann von der Maschine dadurch unterschieden werden, dass es sich selbst (intentional) Information suchen muss. Die Information wirkt als Ordnungserhöhung, als Auslösekausalität und als Ausgleich gegen eine Verfallstendenz.

- Das nur körperliche Lebewesen kann auf Grund von Reizen sich selbst Information als Ordnungszustand holen und damit der Verfallstendenz entgegenwirken.

Das geistig-seelische Lebewesen

Während beim rein vegetabilen System der Körper sich Information nur unbewusst auf Grund von Reizen, Trieben und Instinkten holt, so tritt beim Geistig-Seelischen das Bewusstsein mit freiem Willen dazu. Der Mensch und auch das höher entwickelte Tier bestimmen selbst den Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme. Sie können sogar willentlich Nahrung verweigern (Hungerstreik). Die unbewusste, genau geregelte Nahrungsmenge kann durch das Geistige ungenau werden (Schlankheitsfimmel, Genussucht). Der Vorgang des «Informierens» als Erhöhung des Ordnungszustandes wird freier bestimmt und selbständiger vollzogen. Dies geht nur, wenn man um diese Vorgänge weiss. Das Hungergefühl informiert – diesmal im philosophischen Sinne – das Bewusstsein, und dieses handelt dann frei nach eigener Bestimmung, ob, wie, wo und wann der Hunger gestillt werden soll. Dieses «Wissen um» ist nicht nur einfach eine Menge an Information, sondern mehr, es ist ein Zusammenfügen mit dem Ichbewusstsein, das ohne Freiheit nicht möglich ist, so dass der physikalisch-physiologische Vorgang aufgelockert, sogar ausgesetzt oder in entgegengesetzte Richtung verkehrt werden kann.

Im geistigen Bereich ist Information auch Mitteilung, Erhalt von Nachrichten. Dies geschieht *auch* wie bei der Maschine durch entsprechende Neuronenerregungen und Speicherungen im Gehirn (Gedächtnis). Aber es kommt das «Wissen um» dazu. Man weiss die Bedeutung. Der Geist kann unterscheiden, ob eine Signalfolge (als Sprache) sinnvoll ist oder nicht. Der Mensch weiss, was er verarbeitet. Er kann darüber hinaus selbst informieren. Er kann echter Informationsgeber sein. Wenn er eine neue Erkenntnis weitergibt, so ist er der Informationsgeber. Seine Sprache oder Schrift ist Kanal und immer etwas Physikalisches, nämlich akustische oder optische Wellen, die selbst nicht wissen, was die Worte bedeuten, und nur durch Konvention geistiger Lebewesen im Geiste der Menschen etwas bedeuten. Weil diese Konvention innerhalb der Menschen besteht, kann der Hörer die Information verstehen. Der Kanal ist nicht einmal Träger der geistigen Information, sondern gibt nur einen bestimmten mehr oder weniger wahrscheinlichen Ordnungszustand weiter. Nur der Mensch weiss Bedeutung und Sinn. Dies geht über das Physikalische hinaus, obwohl es an solches gebunden ist. Ohne Tätigkeit der Neuronen und sonstigen Gehirnzellen gibt es kein Wissen. Aber die Bedeutung des «Wissen um» ist mehr als Materie und Physik. Es tritt dazu, ohne aber selbständig existieren zu können. Die geistigen Vorgänge entsprechen der philosophischen, die damit verbundenen körperlichen Vorgänge der technischen Definition. Beim Geistigen tritt das Ich dazu, das Wissen um sich selbst oder, wie HEGEL es nennt, die «Reflexion in sich» als «reine Freiheit».

Man könnte es unter Einordnung in den Informationsbegriff auch «Information von sich selbst» nennen. Dieses reine Ich ist nur Geist, der aber nie allein in Erscheinung treten kann. Es ist immer an ein Etwas gebunden. Es ist gewissermassen prästabiliert mit nichtgeistigen Vorgängen, wenn diese bewusst sind.

- Das geistig-seelisch-körperliche Lebewesen kann bewusst seine Informationserhöhung bestimmen und kann geistige Information als «Wissen um» ohne Rücksicht auf die Nützlichkeit erwerben.

Kennzeichen der Information

Aus dem in kurzen Zügen abgeleiteten Erscheinungsbild der Information kann man nun einige gemeinsame Kennzeichen herauslesen, die auf das Wesen der Information hinweisen.

1. Die Information ist ein Vorgang.
2. Die vollzogene Informierung erzeugt einen Zustand höherer Ordnung, der sich wieder auszugleichen versucht, wenn er nicht durch Regelungen oder weitere Information aufrecht erhalten wird.
3. Die Eingabe und das finale Setzen einer Information ist eine Determinante, die nach kausalen Gesetzen einen Vorgang einleitet.
4. Informieren ist ein zur Ordnung gerichteter Vorgang.

Diese Kennzeichen zeigen grosse Ähnlichkeiten mit einem kausalen Vorgang. Es kommt aber folgendes dazu:

1. Der Endzustand ist der geordnetere, also unwahrscheinlichere.
2. Die Information ist als Auslösekausalität eine Determinante eines kausalen Vorganges.

Technisch ist sie gekennzeichnet durch zufälliges Hinzutreten der Determinante, philosophisch durch finales.

Daraus ergibt sich eine allgemeine Definition, die die technische und philosophische Definition umfasst.

- Information ist ein Vorgang, der einen Zustand höherer Ordnung herstellt und damit weitere Vorgänge auslöst.

Das Wesen der Information

Mit diesen Kennzeichen ist es nun möglich, bis zum Wesen der Information vorzudringen.

Wesen ist hierbei einmal als die qualitative Besonderheit von Etwas, als das, «was die Sache an sich möglich macht» (HEIDEGGER), ausserdem noch als Ort festzustellen, wohin es eingeordnet werden muss. Als phänomenologische Schau wurde die Information als ein Vorgang erkannt, der in Richtung geordneter Zustände abläuft. Damit ist alles gesagt, was die Kennzeichen zusammenfasst.

Der Ort ist durch das innere Wesen festgelegt. Als Vorgang kann Information nicht Substanz oder Energie sein. Denn Substanz ist etwas, woran etwas vor sich geht, und Energie ein Mass der Stärke, nach welcher

ein Vorgang abläuft. Der Ort ist die Klasse der Vorgänge. Als solche Vorgänge gibt es noch den finalen und den kausalen Vorgang.

Beim finalen Vorgang werden eine oder mehrere Determinanten vorgeesehen, damit ein kausaler Vorgang mit beabsichtigter Wirkung abläuft. Dieses finale Setzen ist dabei Information. Der finale Vorgang ist also die Zusammenfassung eines Informationsvorganges und kausaler Vorgänge.

Der kausale Vorgang selbst gleicht Spannungen aus. Ungewöhnliche Zustände werden ausgeglichen. Ausgleich hat dabei eine doppelte Bedeutung als Übergang in einen wahrscheinlicheren Zustand oder als Kompensation durch entgegengesetzt wirkende Spannungen.

Information ist ein Vorgang, der Spannungen erzeugt, der kausale Vorgang einer, der ausgleicht. Beide unterscheiden sich also durch die Richtung. Information wird als Determinante schlechthin die Ursache eines kausalen Vorganges. Als Geistiges ist sie dann Grund als Begründung von etwas (Erkenntnisgrund).

- Information ist also neben den kausalen Vorgang einzuordnen und ist der Grund oder die Ursache weiterer Vorgänge.

Folgerungen

Die Erkenntnis, dass das Wesen der Information Ursache oder Grund ist, lässt philosophisch einige Folgerungen ziehen; besonders muss sie aber Folgerungen kritisieren, die bereits von anderer Seite gezogen worden sind. Vor allem kann jetzt die Antwort gegeben werden, ob die Information in irgendeiner Weise als Prinzip angesehen werden kann. Ferner aber können auch auf den Menschen und sein Verhalten in der Gesellschaft auf Grund der Ordnungstendenz der Information Folgerungen gezogen werden. Die Beurteilung und Wertung menschlichen Verhaltens und damit der Einfluss auf die Erziehung kann durch den Ordnungsbegriff stark beeinflusst werden. Aber auch die Frage, woher diese Ordnungstendenz kommt und wie sie möglich ist, reicht bis in das kosmologische Gebiet und berührt die Metaphysik.

Die Erkenntnis, dass Information als Ordnungstendenz eine Ursache ist, zeigt, dass man nicht von einem neuen Prinzip sprechen kann. Alle derartigen Spekulationen sind damit widerlegt. Information ist kein Prinzip neben Materie und Energie, sondern schlechthin das Wesen einer Ursache, gehört also in den Bereich einer Kausalität, die auch weder Materie noch Energie ist. Der Begriff der Information ist damit nichts Neues, sondern nur eine bessere Fassung des Begriffes Ursache oder Grund. Sie ist eine Art Ursache, also dem Kausalbegriff unterzuordnen.

Bei GÜNTHER ist das Wesen der Information der Reflexionsprozess, der nun auch zwischen Ich und Es (als dem Ding) sich vollziehen kann. Es wurde gezeigt, dass schon eine Reflexion zwischen den Menschen also zwischen Ich und Du auch Physikalisches erfordert, nämlich den Schall, das Licht und physiologische Vorgänge. Ferner wurde gezeigt, dass auch bei der Maschine am Anfang und am Ende der Mensch mit seinen

geistigen Fähigkeiten steht. Selbst die Informationsänderung in der Maschine ist nichts Neues; denn auch bei der Information zwischen Ich und Du wird im Informationskanal die Nachricht verzerrt, also geändert. Statt Verzerrung ist bei der kybernetischen Maschine eine sinnvolle Änderung angesetzt. Dies ist das eigentlich Neue, ist aber kein Grund, neue philosophische Systeme zu erfinden. Dies dürften die wichtigsten Folgerungen sein. Sie mahnen zur Vorsicht und Mässigung, auch im Denken, besonders auch im spekulativen Denken.

Es gibt noch weitere Folgerungen, auf die im Rahmen dieses Vortrages leider nicht eingegangen werden kann. Sie seien nur angedeutet: Wie kann überhaupt Ordnung entstehen (kosmologische Frage)? Ist Ordnung ohne Zerfalltendenz möglich (metaphysische Frage)? Wächst mit der Ordnung auch die Spannung an? Führt die Beseitigung dieser Spannungen zu einem Fortschritt, oder ist sie nur durch neue Nachteile zu erkaufen? Wie vollzieht sich Fortschritt? Ist Entwicklung stetig oder dialektisch, gewissermassen ein Fortschritt in Pilgerschritten? Kann Revolution als Zerstörungstendenz Fortschritt sein? (philosophisch-soziologische Fragen).

Die Beantwortung dieser Fragen als Folge der Betrachtung des Informationsbegriffes führt in andere Gebiete. Sie ist aber insbesondere wegen ihres gesellschaftlichen Bezuges nicht weniger wichtig, muss aber hier unterbleiben.

3. F. KIS (Zürich) – *Kybernetik, eine neue Wissenschaft* (Résumé erschienen in der NZZ, Nummern vom 16.7.1968 [II], 23.7.1968 [II] und 8.8.1968 [II])

4. H. KELLER (SCM-Turlabor AG, Zumikon, und Neurologische Universitätsklinik, Zürich) – *Die Problematik der automatischen Zeichenerkennung*

Zusammenfassung

Aus dem Angebot an Signalen, die von unserer Umwelt auf uns einströmen, wird das optische Spektrum herausgegriffen und dessen Verarbeitung untersucht. Der Problemkreis der automatischen optischen Zeichenerkennung soll Einblick in die kybernetische Arbeitsweise geben. Ein ziffernerkennendes System wird beschrieben, das den Forderungen nach Belehrbarkeit, Kommunikationsvermögen mit dem Experimentator, Adaptationsvermögen nach abgeschlossenem Lernprozess und eigener Fehlerdetektion Rechnung trägt. Merkmalselektion und -adaptation werden dabei als Kernproblem betrachtet. Die Merkmale sind relative Messgrössen und beschreiben die Transformation vom Rezeptorraum in den Nachrichtenraum, in welchem die Klassenzuweisung erfolgt.

1. Die automatische Zeichenerkennung als kybernetisches Problem

1.1 Einführung

Die Kybernetik ist eine Interdisziplin; ein kybernetisches Problem erfordert die Mitarbeit von Wissenschaftlern aus technischen und biologi-

schen Sparten, wobei Publikationen diese Mitarbeit ebenfalls manifestieren. Sie kann als eine Art Philosophie aufgefasst werden, welche die Informationserfassung, -verarbeitung und daraus resultierende Konsequenzen ins Zentrum einer Untersuchung rückt, sowohl bei rein technischen als auch technisch-biologischen Problemen.

Begriffe wie Steuerung, Regelung, Nachrichtenverkehr sind grundlegend: Bei einer Steuerung soll ein Befehl einen bestimmten Sachverhalt ändern, beim Nachrichtenverkehr erhält jemand Auskunft über einen Sachverhalt, bei einer Regelung wird diese Auskunft als (Teil-)Befehl für die Änderung eines oder mehrerer beteiligter Sachverhalte benützt.

Das Systemdenken ist in der Kybernetik ausgeprägt, indem zum Beispiel auf Grund eines beobachteten biologischen Prozesses ein Modell aufgestellt wird. Das System und seine Teilsysteme erhalten Steuerbefehle einfacher oder komplexer Natur, die Ausgangsgrößen können Auskunft über die Struktur oder die Eingangsgrößen geben. Das System oder Wirkungsgefüge liefert dem Kybernetiker mittels der Konfrontation mit der realen Umwelt oder mit dem biologischen System Daten, die ihm gestatten, seine Arbeitshypothesen zu verwerfen bzw. zu akzeptieren oder zu modifizieren.

In der automatischen Zeichenerkennung spielen Erkenntnisse aus Anatomie, Neurophysiologie, Psychologie, Verhaltensforschung, Elektronik, Informationstheorie und Computerwissenschaft eine dominierende Rolle.

Was für Interessen hat der Mensch an der automatischen Zeichenerkennung?

- Akademische Interessen: Lesen und Schreiben sind *die* Mittel der Kommunikation bei höher organisierten menschlichen Gemeinschaften. Durch Nachbildung des Leseprozesses kann das Verständnis für die Bedeutung dieser Kommunikation wachsen.
- Kommerzielle Interessen: Der Engpass zwischen nachrichtenverarbeitenden Systemen oder zwischen Datenbank und System liegt häufig beim Menschen, indem dieser das Datenmaterial in eine maschinenadäquate Form bringen muss, zum Beispiel auf Lochkarten. Der Wunsch nach vollautomatisierten Postämtern und Versandhäusern, Eingliederung der wissenschaftlichen Publikationsflut in den schon bestehenden Stock einer Bibliothek besteht sicher, die entsprechenden Realisierungen sind sogar eine Notwendigkeit.
- Strategische Interessen: Eine automatische Luftraumüberwachung mittels Satelliten oder Radarnetzen, ein automatischer akustischer U-Bootschutz, automatische Interpretation von Filmmaterial aus Aufklärungsflügen stehen sicher auf manchem militärischen Forschungsprogramm.

Im folgenden sei die automatische Zeichenerkennung auf optische, speziell alphanumerische Zeichen bezogen.

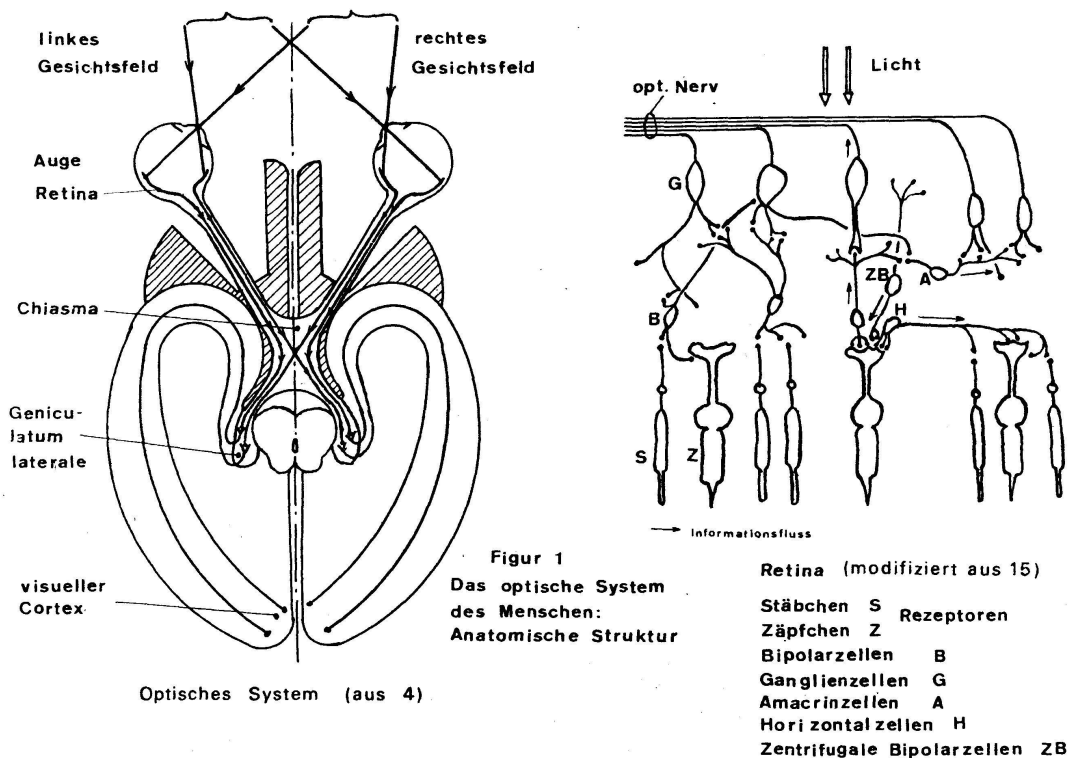
1.2 Die optische Zeichenerkennung aus anatomischer Sicht

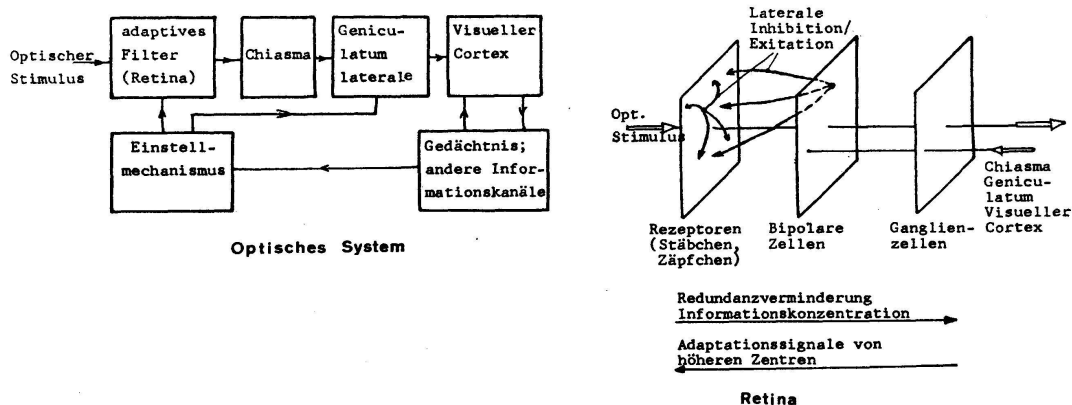
Die konvertierten optischen Signale durchlaufen im visuellen System der Primaten die Retina, das Chiasma, die Geniculata lateralia und gelangen zum visuellen Cortex (Abb. 1). Dieser Weg von der Aufnahme des optischen Zeichens bis zum Erkennen ist verbunden mit einer Redundanzverminderung (Informationskonzentration).

Die Subsysteme zeichnen sich durch sehr komplexe Strukturen aus, zum Beispiel besteht die Retina aus Rezeptoren, einer bipolaren und einer Ganglienzellschicht. Rezeptoren sind über Horizontalzellen miteinander verschaltet, Bipolarzellen integrieren Signale der Rezeptorschicht und stehen durch Amacrinzellen miteinander in Verbindung. Eventuell gelangen sogar Signale aus höheren Zentren des visuellen Cortex über zentrifugale Bipolarzellen bis zu den Rezeptoren.

Abstrahiert man auf Grund der anatomischen Befunde das optische System grob, so ergeben sich Darstellungen, wie sie Abbildung 2 zeigt. Darin kommt deutlich zum Ausdruck, welche Bedeutung die kybernetischen Grundbegriffe Steuerung, Regelung und Nachrichtenverkehr für das System haben (vgl. Abschnitt 1.1).

Wie gross muss das zu aktivierende Rezeptorfeld sein, damit ein Schriftzeichen positiv identifiziert wird? Der Mensch richtet sein optisches System so auf ein interessierendes Zeichen oder ein Teilstück davon, dass dessen optisches Bild in die Fovea centralis projiziert wird. Diese umfasst rund 10^5 Rezeptoren, den 10^{-3} Teil aller Retinazellen. Komplizierte Strukturen, wie Schriftzeichen, kann er üblicherweise nur von dort aus





Figur 2
Das optische System des Menschen:
Arbeitsstruktur

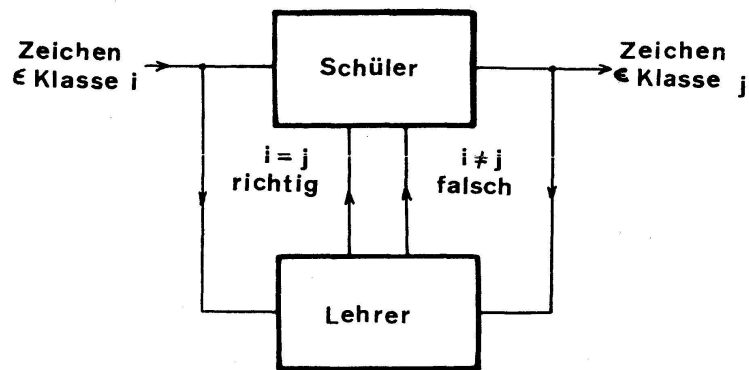
weiter bis zum Erkennen verarbeiten. Messungen ergeben ein durchschnittliches Auflösungsvermögen von 1 Bogenminute, d. h., ein Normal-sichtiger kann zwei Punkte in der deutlichen Sehweite noch unterscheiden, falls sie unter einem Winkel $\alpha \geq 1'$ gesehen werden. Der kleinste gemessene Auflösungswinkel liegt nach Angaben der Augenklinik des Kantons-spitals Zürich bei 30 Bogensekunden. Experimente im Zusammenhang mit dem Erkennen von Schriftzeichen zeigen, dass ein solches positiv identifiziert wird, falls es mindestens die Fläche von 20×20 Retinazellen ausfüllt. Positive Klassenzuweisung ist nicht mehr gewährleistet, falls die Zeichenabmessungen 10×10 Sehzellen umfassen. Dies entspricht einer Zeichenbreite bzw. -höhe von etwa 0,5 mm.

Eine artifizielle Retina aus Binärzellen stützt sich auf obige Befunde, indem in verschiedenen Arbeiten Binärfelder von 10×10 bis 20×20 Zellen das optische Signal diskretisieren.

1.3 Die optische Zeichenerkennung aus der Sicht des Lernvorganges

Das Ziel aller Bemühungen, den Leseprozess zu automatisieren, soll im gleichen semantischen Informationsgehalt liegen, den Mensch und Maschine aus demselben Informationsangebot ableiten. Die optische Information wird hier als Kette von alphanumerischen Zeichen verstanden (Buchstaben, Zahlen), die sequentiell und unabhängig voneinander betrachtet werden.

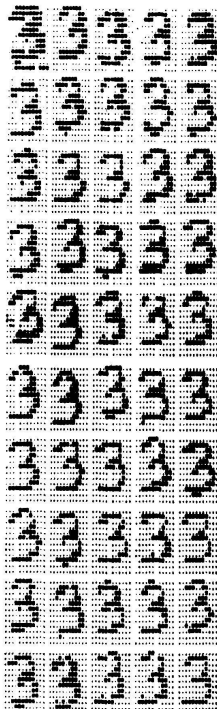
Von zentralem Interesse ist die Frage, wie verschiedene Menschen dem gleichen Zeichen dieselbe Bedeutung zuschreiben. Abbildung 3 stellt einen vereinfachten Lernprozess für Schriftzeichen dar, wie er zum Beispiel in der Elementarschule durchgeführt wird. Der Lehrer sieht die Eingangs- und Ausgangsgrösse. Er kann den Schüler belohnen oder strafen. Er kann mit keinem Mittel feststellen, wie sein Schüler das Zeichen lernt. Die Motorik des Schreibens gibt ihm höchstens Anhaltspunkte, ob sein Schüler die übliche Reihenfolge einhält. Auf die Frage, warum der Schüler ein Zeichen in die Klasse i einteilt, kann dieser Merkmale angeben, die ihm bewusst werden. Diese Merkmale stimmen wohl nicht



Figur 3
Lernprozess

mit denjenigen überein, die das Zentralnervensystem extrahiert. Ist der Lernprozess abgeschlossen, so vermag der Schüler allein die Zeichen zu erkennen, zu klassifizieren, und zwar auch solche, die er noch nie gesehen hat. Gegen Fehler ist er nicht gefeit. Vielfach hilft ihm jedoch der Kontext, in dem ein Schriftzeichen steht, die Art, wie es geschrieben wurde, die Art, wie er die Zeichen schreibt (motorische Gesetzmässigkeiten), um die Fehl- oder Nichtidentifikation niedrig zu halten.

Schätzungen ergeben, dass eine Maschine von 10^3 für die meisten Menschen lesbaren Zeichen ein Zeichen nicht oder falsch identifizieren darf, um mit der Zuverlässigkeit eines durchschnittlichen Lesers zu konkurrieren.

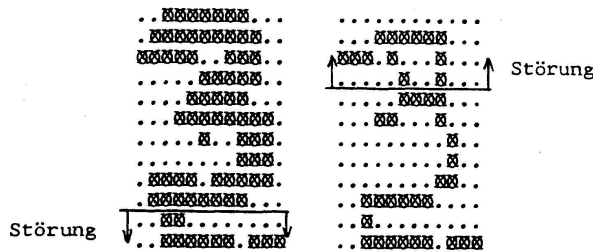


Figur 4
Variationen in der Schwarzpunktzahl von 50 mit dem gleichen Schlaghammer geschriebenen Ziffern '3'

Wo liegt die Schwierigkeit, diesen Lernprozess zu automatisieren? Keine zwei Zeichen, ob hand- oder maschinengeschrieben, stimmen in jedem Detail, d.h. Punkt für Punkt in der (schwarz-weißen) Binärdarstellung überein. Abbildung 4 zeigt 50 mit dem gleichen Schlaghammer geschriebene Ziffern 3, deren Schwarzpunktzahlen von 28 bis 78 streuen. Die Aussage – es gibt nur 10 verschiedene Ziffern – ist somit falsch. Die Streuungen der verschiedenen Parameter, wie Schwarzpunktzahl, Teilstücklängen usw. innerhalb der gleichen Klasse ist enorm.

Eine weitere Erschwerung ergibt sich aus der Tatsache, dass gleichgestaltete Teilstücke bei verschiedenen Zeichen verschiedene Bedeutungen bekommen. Andere Teilstücke eines Zeichens, Kombinationen davon oder sogar die Klassenzugehörigkeit beeinflussen ein betrachtetes Zeichenstück im Informationsgehalt. Abbildung 5 zeigt zwei Ziffern, bei welchen

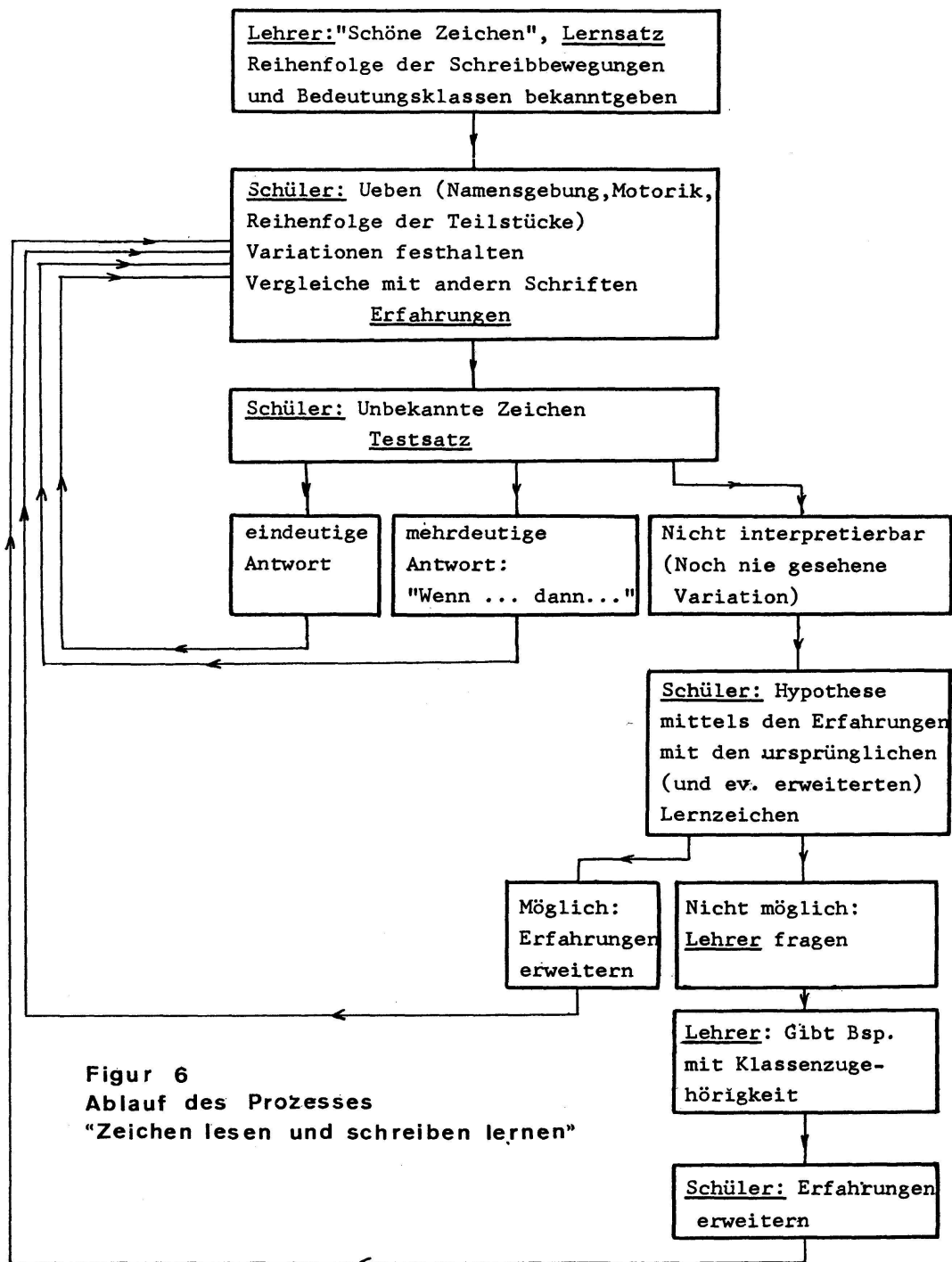
das untere Teilstück (■■■■■■.■■■) für die Klassifizierung als 3 eine Störung darstellt, hingegen für die Einteilung in die Klasse 2 sehr informativ ist.



Figur 5
 Änderung des Informationsgehaltes eines
 gleichgestalteten Teilstücks infolge der restlichen
 Teilstücke des Zeichens (Kontextinformation)

Man könnte nun auf die Idee kommen, alle Variationen von Zeichen zum Beispiel auf einer 20×20 Binärzellen umfassenden Retina systematisch zu generieren und zu klassifizieren. Dies liegt jedoch jenseits jeglicher physikalischer Realisierbarkeit: Es gibt $2^{400} \cong 10^{120}$ verschiedene Zeichen in diesem Binärfeld. Würde alle 10^{-9} sec ein Zeichen generiert und vom Menschen klassifiziert, so wären seit der (mutmasslichen) Entstehung der Erde vor 10^{10} Jahren erst $3,15 \times 10^{26}$ Zeichen sequentiell erzeugt und klassifiziert worden.

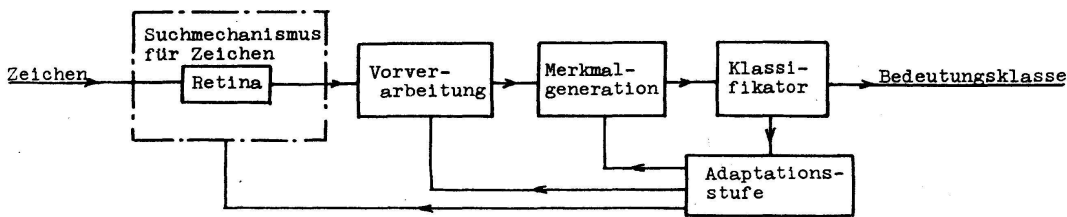
Der Mensch lernt offenbar die Zeichen nicht auf diese Weise. Er muss die optischen Erscheinungen an Hand von Merkmalen klassifizieren, welche er lernt und fortlaufend ergänzt oder/und ersetzt. Der Lernprozess von Abbildung 3 kommt in Abbildung 6 verfeinert zum Ausdruck. Das Hauptproblem bei der automatischen Zeichenerkennung besteht in der Automatisierung eines natürlichen Prozesses (Zeichen mit Merkmalen beschreiben), über dessen biologisches «Wie» wir so gut wie nichts wissen.



Figur 6
Ablauf des Prozesses
"Zeichen lesen und schreiben lernen"

1.4 Das resultierende Modell einer zeichenerkennenden Maschine

Das Studium der anatomischen Struktur und des Lernproblems lassen das in Abbildung 7 aufgezeichnete artifizelle zeichenerkennende System zu. Dieses etablierte System besteht aus den Funktionsstufen (Subsystemen) optisch-elektrischer Wandler (z.B. Retina oder Flying Spot Scanner), Vorverarbeitungsstufe, Klassifikator und Adaptationsstufe.



Figur 7
Die Funktionsstufen eines künstlichen Zeichenerkennenden Systems

Die Vorverarbeitungsstufe lokalisiert das Zeichen im Retinafeld und versucht es zu normalisieren bezüglich Verzerrungen in Strichdicke, Grösse, Drehung, Scherung, Störungen, wie Unterbrechungen oder Flecken.

Die Adaptationsstufe soll die Merkmal- und Vorverarbeitungsstufe (und eventuell auch den Steuermechanismus, der die Zeichen sucht und eine Projektion in die Retina möglich macht) so beeinflussen, wie dies die gerade präsentierten Zeichen, zum Beispiel ein bestimmter Typensatz, für eine wirksame Klassifikation verlangen.

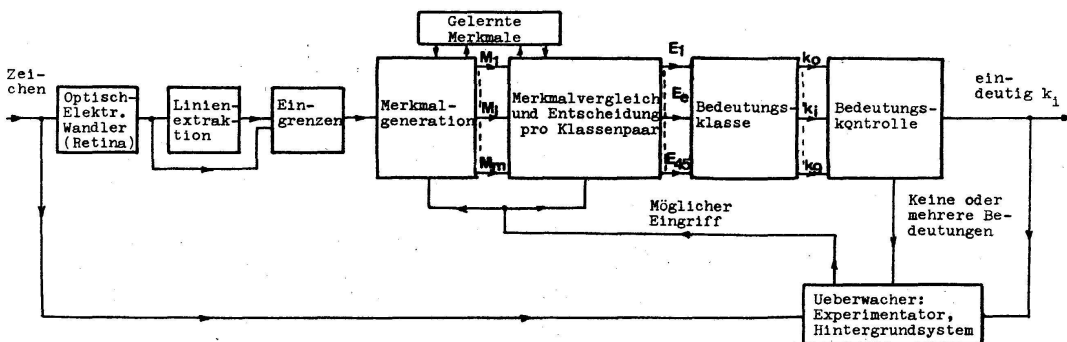
In allen mir bekannten technischen Systemen übernimmt der Mensch diese Adaptation, oder er stellt dem System eine ihm wirksam scheinende Adaptationsstrategie zur Verfügung. Diese Stufe ist denn auch am schwierigsten (wenn überhaupt) zu realisieren.

Man beachte auch hier, wie die kybernetischen Grundbegriffe Steuern, Regeln, Nachrichtenverkehr und System zu verstehen sind.

2. Die technische Realisierung eines Zeichenerkennenden Systems, bzw. dessen Simulation auf einer Grossrechenanlage

2.1 Das untersuchte System

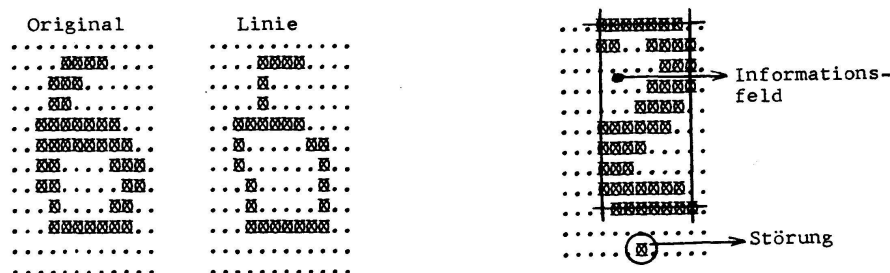
Das in Abbildung 8 dargestellte Zeichenerkennende System wurde nicht wirklich gebaut, sondern auf der Grossrechenanlage der ETH simuliert. Die Resultate einer Simulation lassen jedoch die gleichen Interpretationen und Schlussfolgerungen zu wie eine hardwaremässige Implementierung.



Figur 8
Struktur des Zeichenerkennenden Systems

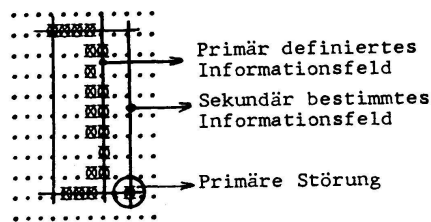
Zudem bietet die Simulation den Vorteil, Fehler im System oder in den Arbeitshypothesen aufzudecken, diese können ohne grossen Aufwand korrigiert werden. Ein Computer stellt für den Wissenschaftler ein viel grösseres Hilfsmittel dar als etwa der LötKolben, mit dem man auch (elektronische) Systeme aufbauen kann.

Das untersuchte System diskretisiert ein optisches Zeichen in einem 12×12 -Binärfeld. Eine Informationskonzentration mit Hilfe von lokaler Kontextinformation (Nachbarpunkte), Liniextraktion genannt, normalisiert die Strichdicke des Zeichens (Abb. 9). Wie aber das Beispiel in Abbildung 5 zeigt, treten Fälle auf, bei denen das verdünnte Zeichen in eine andere Bedeutungsklasse eingeteilt wird als sein Original. Deshalb muss das Originalzeichen eventuellen systeminternen Rückfragen zur Verfügung stehen.



Figur 9

Das Originalzeichen und sein Liniextrakt



Figur 10

Das Informationsfeld

Die Eingrenzprozedur bestimmt die Grösse des Informationsfeldes (Abb. 10). Hier wird versucht, die Grössenvariationen und Störungen durch Farbspritzer zu eliminieren. Dabei kann es vorkommen, dass einem als Farbspritzer interpretierten Punkt ein grösserer Informationsgehalt zukommt. Letzterer wird durch das ganze Zeichen oder Teilstück davon bestimmt. Eine solche primäre Störung wird vom System sekundär als zum Zeichen gehörend angesehen, wenn es sich erweist, dass das primär definierte Informationsfeld eine minimale Abmessung unterschreitet.

Der Merkmalgenerator misst die in einem vorangegangenen Lernprozess (siehe Abschnitt 2.2) als wesentlich erachteten Parameter, die Entscheidungsstufe vergleicht die Werte mit den ursprünglich gelernten und trifft pro Klassenpaar eine Entscheidung. Anschliessend wird das Zeichen einer Bedeutungsklasse zugewiesen. Kann das System dem Zeichen keine Bedeutung geben oder weist es dieses mehreren oder einer

falschen Klasse zu, so muss der Experimentator informiert werden, damit er unter Umständen eingreifen kann: Kommunikation zwischen System und Überwacher. Das System teilt dem Beobachter mit:

- welche Entscheidung es getroffen hat und warum, indem es die massgebenden Merkmalfilter (siehe Abschnitt 2.2) und die effektiv gemessenen Merkmale bekanntgibt;
- warum es zu keiner Entscheidung für die richtige Bedeutungsklasse kommt.

Das intelligentere Hintergrundsystem kann in den Merkmalgenerator, die Entscheidungsstufe und in den Erfahrungsschatz des Systems lokal eingreifen, ohne dass alles Gelernte zerstört wird.

2.2 Der Lernprozess: Merkmalgeneration und -selektion

Definition 1: Merkmal. Ein Merkmal ist eine Messgrösse mit einem Toleranzbereich (Streubereich), welche von andern Merkmalen des gleichen Zeichens oder vom gesamten Zeichen abhängt (relative Messgrösse).

Definition 2: Klassenpaar. Alle Zeichen zugehörig der Klasse k_i und alle Zeichen zugehörig der Klasse k_j bilden das Klassenpaar (k_i, k_j) .

Definition 3: Wirksamkeit von Merkmalen. Ein Merkmal M_x heisst unterscheidungsfähig bezüglich des Klassenpaars (k_i, k_j) , wenn sich die Streubereiche der Klassen k_i und k_j nicht überlappen.

Das Mehrklassenproblem (k Klassen) wird vorteilhaft in $\frac{k}{2}(k-1)$ -Zweiklassenprobleme aufgespalten. Dies bedeutet eine wesentliche Vereinfachung der Untersuchungen im Hinblick auf schwer zu unterscheidende Klassenpaare, die eine erweiterte Analyse erfordern. Letztere beschränkt sich auf diese kritischen Paare.

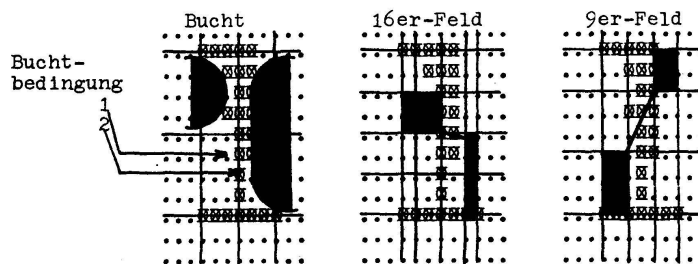
Pro Klassenpaar muss im Lernprozess Typ «Systematisches Probieren» mindestens ein unterscheidungsfähiges Merkmal gefunden werden. Für die 10 Ziffernklassen genügen also im Maximum 45 Merkmale, wobei ein Merkmal mehrere Klassenpaare unterscheiden kann.

Zwei Merkmaltypen wurden untersucht, d. h. dem System als Anfangsbedingungen für den Lernprozess zur Verfügung gestellt:

- Feldparameter,
- Buchtparameter (Abb. 11).

Beide Parametertypen hängen mit dem durch die Eingrenzprozedur definierten Informationsfeld zusammen.

Die Feldparameter ergeben sich aus einer Aufteilung dieses Feldes in 9 bzw. 16 Teilfelder, wobei die Schwarzpunktzahl in einem Teilfeld oder einer Kombination von Teilfeldern in Relation zur Anzahl der möglichen Schwarzpunkte in diesen Feldern oder zur gesamten Zeichenpunktzahl gesetzt wird.



Figur 11

Feld- und Buchtparameter

$$MT = \frac{\text{Anzahl Schwarzpunkte im Teilfeld}}{\text{Total mögliche Schwarzpunktzahl im Teilfeld}}$$

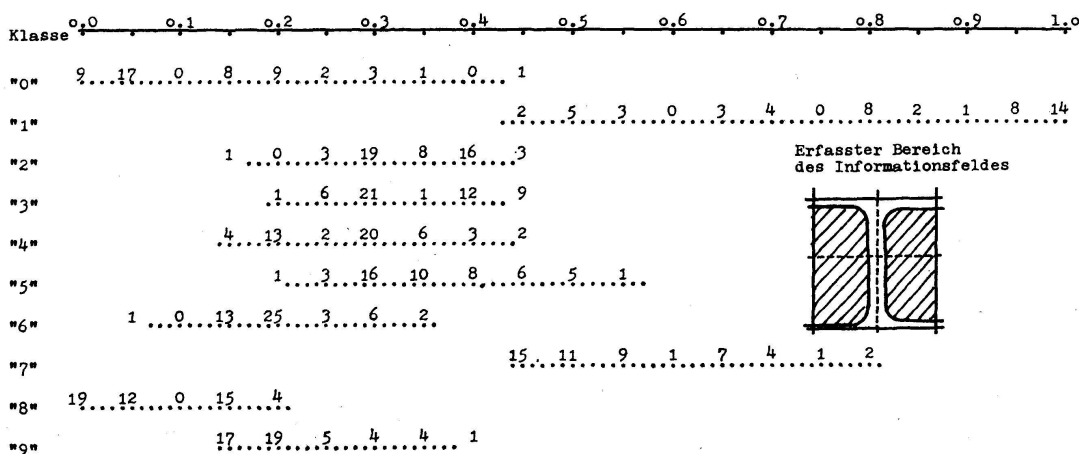
$$MZ = \frac{\text{Anzahl Schwarzpunkte im Teilfeld}}{\text{Totale Anzahl Schwarzpunkte im Informationsfeld}}$$

Die Buchtparameter entstehen aus einer Viereraufteilung des Informationsfeldes und der Buchtbedingung. Letztere ist erfüllt, falls auf einer Zeile von der vertikalen Begrenzung des Informationsfeldes her ungehindert, d.h. ohne Anstossen an einen Schwarzpunkt bis in die Mitte oder $\text{Mitte} \pm \text{Delta}$ vorgestossen werden kann. Nicht erfüllt in allen andern Fällen. Die Relation «Buchtparameter» errechnet sich zu:

$$B = \frac{\text{Anzahl erfüllte Buchtbedingungen}}{\text{Anzahl betrachtete Zeilen}}$$

Der Streubereich pro Zeichenklasse wird mit dem repräsentativen Lernzeichensatz errechnet, dies entspricht dem Lernen. Abbildung 12

Merkmal 20BU 13, normiert auf die Anzahl betrachteten Zeilen
(mit Häufigkeitsverteilung)



Figur 12

Illustration für die Unterscheidungsfähigkeit eines Buchtparameters.
Die Streubereiche werden anhand des Lernzeichensatzes errechnet (= gelernt)

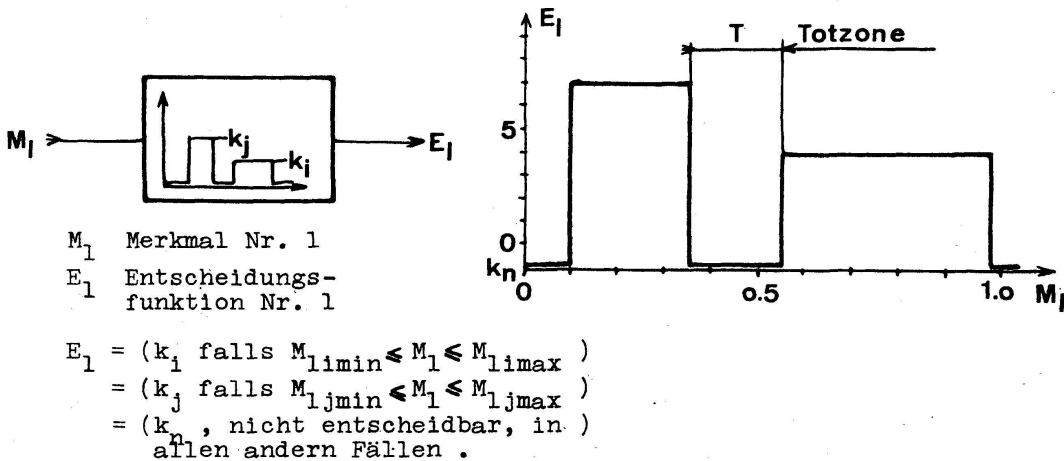
zeigt das Verteilungsdiagramm eines Buchtparameters, der sich für die Klassenpaare (1,6), (1,8), (1,9), (6,7), (7,9) als unterscheidungsfähig erweist.

Nach abgeschlossenem Lernprozess müssen für jedes Klassenpaar die wirksamsten Merkmale ausgewählt werden:

Definition 4: Von zwei unterscheidungsfähigen Merkmalen M_x und M_y des Klassenpaares (k_i, k_j) ist dasjenige wirksamer, welches dem System die grössere Strukturreserve einräumt.

Die Strukturreserve dient dazu, dem System nach abgeschlossenem Lernprozess eine gewisse Adaptationsfähigkeit an unbekannte Zeichen mit Verzerrungen, die im Lernzeichensatz nicht anzutreffen waren und die eine positive Identifikation verhindern, zu erhalten.

Abbildung 13 zeigt ein Merkmalfilter mit Entscheidungs- und Totzonen (= Strukturreserve), alle Filter zusammen stellen den Erfahrungsschatz des zeichenerkennenden Systems dar.



Figur 13
Entscheidungsfilter und Totzone

2.3 Kommunikation und Adaptation nach abgeschlossenem Lernprozess

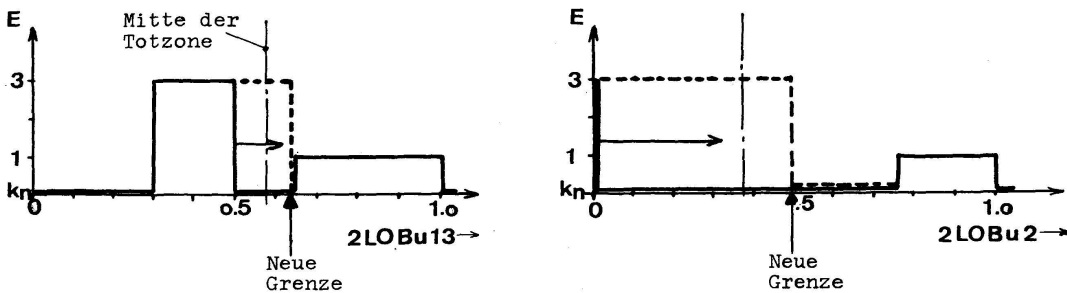
Eine wesentliche Forderung an ein zeichenerkennendes System ist die Adaptationsfähigkeit bezüglich Zeichen, die noch nie präsentiert wurden. Dabei soll die vorher gewonnene Erfahrung nicht zerstört oder so beeinflusst werden, dass eine Aussage über die Zuverlässigkeit im Erkennen von schon «gesehenen» Zeichen unmöglich wird. Vielmehr soll diese Erfahrung ergänzt oder/und reorganisiert werden. Im vorliegenden System kann diese Adaptation auf verschiedene Arten erfolgen:

- Definitionsbereiche von Merkmalen für eine bestimmte kritische Zeichenklasse erweitern.
- Merkmale durch andere Merkmale ersetzen, welche bezüglich des kritischen Klassenpaares ebenfalls unterscheidungsfähig sind.

- Neue Merkmale für das kritische Klassenpaar mit den erweiterten Zeichensätzen auf ihre Unterscheidungsfähigkeit hin prüfen und einsetzen oder verwerfen. Hierbei müssen höchstens die beiden kritischen Klassen des Lernzeichensatzes durchgearbeitet werden und nicht alle schon gesehenen Zeichen.

Folgendes Beispiel diene zur Demonstration der Adaptationsmöglichkeit nach Punkt 1:

- Zeichen: Highleyman-Ziffern der Klasse 3
- Anzahl: 50
- 1. Testlauf: 40 Zeichen richtig identifiziert, 10 Zeichen nicht identifizierbar (Kommunikation)
- Kritische Parameter: 2LØBU2, 2LØBU13
- Adaptation: Abbildung 15
- 2. Testlauf: Alle 50 Zeichen richtig identifiziert



Figur 15
Adaptation der kritischen Merkmale

3. Schlussfolgerungen

Man ist heute noch weit von einer allgemeinen, physikalisch realisierbaren Lösung für das automatische Zeichenerkennungsproblem entfernt. Selbst die Definition des Problems macht Schwierigkeiten, besonders wenn psychologische und ethologische Erkenntnisse mitberücksichtigt werden sollen.

Zu einem *bekanntem* Datensatz gibt es mit Garantie eine Lösung; ob diese in vernünftiger Zeit realisierbar ist, hängt entscheidend mit einer geeigneten Merkmalselektion zusammen.

Die Merkmale sollen Teilstücke mit andern Teilstücken oder mit dem ganzen Zeichen in Verbindung bringen. Sie lassen sich mit einer spielerischen Methode und einem simulierten System am schnellsten finden. Die bewusste Methode, nämlich Merkmale aus der eigenen Anschauung heranziehen, versagt fast immer.

Das Mehrklassenproblem lässt sich als $\frac{k}{2}(k-1)$ -Zweiklassenproblem besser anpacken. Eine Normalisierung in Strichdicke und Zeichengröße empfiehlt sich zur Einschränkung der Vielfalt.

Die Darlegung der kybernetischen Arbeitsweise sollte auch zeigen, dass es keine Kybernetiker gibt. Diese sind als Idealbilder aufzufassen, welche in der Realität nicht existieren. Es gibt kybernetische Probleme und Leute verschiedener Disziplinen, die sich gemeinsam damit beschäftigen.

LITERATUR

1. ARKADJEW, A.G., BRAWERMAN, E.M.: Zeichenerkennung und maschinelles Lernen. R. Oldenburg, München und Wien 1966. Übersetzung aus dem Russischen.
2. DAVIS, H.L.: What ever happened to Cybernetics. Part I/II, Scientific Research, April/May 1967.
3. GREANEAS *et al.*: The Recognition of Handwritten Numerals by Contour Analysis. IBM Journal of Research and Development, Vol. 7, Jan. 1963.
4. GREGORY, R.L.: Eye and Brain. World University Library, Weidenfeld and Nicolson, London 1966.
5. HIGHLEYMAN, W.H.: Linear Decision Functions with Application to Pattern Recognition. In FISCHER *et al.*: Optical Character Recognition. Spartan Books, Washington, D.C., 1962, pp. 249–285.
6. HIGHLEYMAN, W.H.: Data for Character Recognition Studies. IEEE Transactions on Electronic Computers, April 1963.
7. HUBEL, D.H., WIESEL, T.N.: Receptive Fields and Functional Architecture in Two Nonstriate Areas of the Cat. Journal of Neurophysiology 28, 1965.
8. KAZMIERCZAK, H.: Konstruktion eines ziffernerkennenden Automaten auf der Grundlage des Potentialverfahrens. Diss., TH Karlsruhe, 1965.
9. KELLER, H.: Ein Beitrag zur Merkmalselektion und -adaptation für das automatische Erkennen von alphanumerischen Zeichen. Diss. Nr. 4262, ETH Zürich, 1968.
10. LETTVIN *et al.*: What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain. Proceedings Inst. Radio Engr., 47, 1959.
11. LORENZ, K.: Gestaltwahrnehmung als Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis. In LORENZ, K.: Über tierisches und menschliches Verhalten, Band II. R. Piper & Co., München 1966, S. 255–300.
12. MINSKY, M.: Steps Towards Artificial Intelligence. In FEIGENBAUM, E.A., FELDMAN, J.: Computer and Thought. McGraw-Hill Book Comp., 1963, pp. 406–450.
13. NAGY, G.: State of the Art in Pattern Recognition. Proceedings IEEE, May 1968.
14. POLYAK, S.L.: The Vertebrate Visual System. University of Chicago Press, Chicago 1957.
15. SARAGA, P., *et al.*: Optische Zeichenerkennung. Philips Technische Rundschau 28, Nov. 1967.
16. STEINBUCH, K.: Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Springer-Verlag, Berlin 1967, 2. Aufl.
17. STERNS, D.M., SHEN, D.W.C.: Character Recognition by Context-Dependant Transformations. Proceedings IEEE, Nov. 1964.
18. UHR, L., VOSSLER, C.: A Pattern Recognition Program that Generates, Evaluates, and Adjusts its own Parameters. In UHR, L.: Pattern Recognition. John Wiley and Sons, 1965.
19. WOOLDRIDGE, D.E.: The Machinery of the Brain. McGraw-Hill Book Comp., 1963.