

Rationale Erkenntnis, Logik und Automaten

Autor(en): **Kirschenmann, P.**

Objektyp: **Article**

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**

Band (Jahr): **144 (1964)**

PDF erstellt am: **21.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90611>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die heutigen Maschinen sind dank der Transistorentechnik sehr kompakt und nochmals schneller geworden:

Operationszeiten \sim Mikrosekunden. Grosses Gewicht wird auf leistungsfähigen Ein- und Ausgang gelegt. Auch die Anforderungen an den Speicher hinsichtlich Kapazität und Zugriffszeit sind gestiegen: Besaßen die ersten Automaten vor 20 Jahren noch mechanische Speicher von weniger als 100 Zellen, so gehören zu einem heutigen grösseren Automaten Magnetkernspeicher mit einigen 10000 Zellen, welche ohne Zeitverlust sofort erreichbar sind.

Das Prinzip, wonach intern nur mit zwei verschiedenen Werten gearbeitet wird, hat sich vor allem aus Gründen der Betriebssicherheit und der Übersichtlichkeit durchwegs erhalten. Die kompliziertesten Rechen- und Steuerschaltungen sind aus Elementen aufgebaut, welche aufgrund der an ihren Eingängen vorhandenen 0-1-Werte einen 0-1-Wert als Resultat liefern. Es hat sich dabei als zweckmässig herausgestellt, für die Beschreibung derartiger Funktionen den Formalismus der Aussagenlogik heranzuziehen.

Ein sehr wesentlicher Zug der heutigen Konzeption des Rechenautomaten liegt schliesslich darin, dass nach einer in erster Linie von J. v. Neumann stammenden Idee das Programm im Speicher aufbewahrt wird, wodurch erst beliebig komplizierte Programmstrukturen mit Sprüngen, ineinander geschachtelten Zyklen und Verzweigungen ermöglicht werden. Das Programm kann dann sogar so angelegt werden, dass es sich selbst aufbaut und verändert.

Abschliessend einige Bemerkungen allgemeinerer Art. Wenn der Vortragende schon zu Beginn gewisse Bedenken gegen den Ausdruck «Denkmaschine» angemeldet hat, so sind diese Bedenken vor allem als Ressentiments gegenüber häufig anzutreffendem Missbrauch von Wörtern wie «Elektronengehirn» und dgl. zu verstehen. In erster Linie hat man sich Klarheit darüber zu schaffen, von welcher Klasse von Maschinen man überhaupt spricht: Auf der gegenwärtigen Entwicklungsstufe ist der digitale Rechenautomat doch wohl als «endlicher Automat» anzusehen, d.h. alles, was er produziert, ist in völlig deterministischer Weise durch Anfangszustand (des Speichers) und Eingabedaten bestimmt. Ob man dann bei einer seriösen Betrachtung wirklich dem Automaten so etwas wie Denkfähigkeit zuschreiben will, ist nur eine Frage der entsprechenden Definitionen. Nur darf man nicht in den Fehler verfallen, Leistungen des Menschen, der die Maschine programmiert, in diese hineinzuprojizieren.

3. P. KIRSCHENMANN (Freiburg) – *Rationale Erkenntnis, Logik und Automaten.*

Der Ausgangspunkt für die folgende Erörterung ist die Frage: Was haben die drei Begriffe Erkenntnis, Logik und Automat miteinander zu tun? Den Grund abzuschreiten, auf dem diese Begriffe miteinander in Verbindung treten können, wäre deshalb das Vorhaben. Etwas einge-

schränkt jedoch ist die Absicht die, Material zu liefern, das die Basis abgeben könnte, von der aus aufbauend obige Frage zu beantworten wäre. Zur eigentlichen Konfrontation des erkenntnistheoretischen Problems mit der Tatsache der Automaten und ihren besonderen Eigenschaften und Fähigkeiten wird es nicht kommen. Vor allem soll darauf hingewiesen werden, dass heute nicht zu sehen ist, wie man ohne eine sehr starke Beschränkung der erkenntnistheoretischen Problematik auf Automaten oder ohne eine Art Ausdeutung, die eine grosse Distanz überbrücken muss und deshalb leicht willkürlich und wenig schlüssig geraten kann, auf Erkenntnis zu sprechen kommen könnte.

A. Erkenntnis

1. Erkennen als Relation zwischen Subjekt und Objekt der Erkenntnis ist verschieden je nachdem, was als Subjekt und Objekt vorliegt: In der engsten und eigentlichen Fassung der Erkenntnisbeziehung handelt es sich um ein einzelnes Subjekt (Mensch, Bewusstsein, Ich) und ein mehr oder weniger begrenztes Objekt – man spricht davon, dass das Subjekt das Objekt ergreift oder erfasst, allgemeiner von Wirklichkeitsbegegnung –, in der weiteren Fassung nimmt man eine Menschengruppe oder die Menschheit als Subjekt, die Natur, die Welt als ganze, die Wirklichkeit als Objekt.

2. Am Erkennen als Prozess kann man unterscheiden: das Bewusstsein von etwas Problematischem, Fragwürdigem, den Akt der Erkenntnis und dessen Resultat, etwa das Wissen um und über den Gegenstand.

3. Das Erkenntnisproblem im weiten Sinne lässt sich auftrennen in das Problem des Psychischen und Physiologischen, das mehr mit dem Erkenntnisakt zusammenhängt, weiterhin das des Logischen, das eine besondere Nähe zum Resultat hat, und in das engere Erkenntnisproblem, das von der Relation selbst handelt.

4. Eine Charakterisierungsmöglichkeit der Erkenntnis ergibt sich aus einer Einteilung ihrer Bedingungen oder eher Quellen im Subjekt: Irrationale Erkenntnis ist danach solche aus Intuition, Gefühl, Verinnerlichung oder Liebe, rationale Erkenntnis dagegen eine solche aus dem Verstand und der Vernunft.

5. Man könnte des weiteren geneigt sein, die rationale Erkenntnis der wissenschaftlichen Erkenntnis gleichzusetzen und sie dadurch festzulegen, doch ist der Begriff dessen, was wissenschaftlich zu nennen sei, seit jeher ein Gegenstand der Auseinandersetzung gewesen, selbst also nicht genügend klar.

6. Befriedigender, zum Teil weil weniger auf eine strikte Trennung aus, ist eine Unterscheidung, die berücksichtigt, dass in allem, sobald es Gegenstand der Erkenntnis wird, sowohl Rationales als auch Irrationales gefunden wird. Das Rationale ist dabei das Erkennbare und Begreifbare – und das Begreifen setzt eine logische Struktur im Gegenstande voraus, wo der Begriff des Logischen im allgemeinen und nicht auf formale Logik

beschränkten Sinne zu verstehen ist –, das Irrationale dann einerseits das Alogische oder aber andererseits das Unerkennbare. Die Schwierigkeit ist hier wie erwähnt eben die, dass die Grenze zwischen Erkennbarem und Unerkennbarem nicht genau angebbar ist, vor allem weil sie historisch bedingt ist.

7. Will man genauere Aussagen über das Erkennen selbst machen, so gerät man alsbald in ein Dilemma: Eine «*petitio principii*» ist das eine Übel, ein «*regressus ad infinitum*» das andere, in das man fallen kann. Dies soll noch etwas erläutert werden: Beispielsweise stellt die Tatsache von Irrtümern die Frage nach der Gültigkeit oder Wahrheit von Erkenntnis, insbesondere nach einem Kriterium dafür. Man kann jetzt entweder die Wahrheit prinzipiell definieren oder aber wiederum nach der Erkenntnis dieses Wahrheitskriteriums fragen.

8. Von etwas ausgehen muss man in jedem Falle und so Verkürzungen, Beschränkungen, ja Verfehlungen des eigentlichen Problems der Erkenntnis in Kauf nehmen.

9. Fasst man das Erkennen im oben angeführten weiteren Sinne, so wird man im allgemeinen eine Formulierung der Erkenntnisresultate voraussetzen. Wissen muss formuliert werden. Wissenschaft ist sehr weitgehend eine soziale Erscheinung. Nimmt man dies nun zur Grundlage der Untersuchung der Erkenntnis, so sieht man die Verfehlung des allgemeinen Problems sofort: Das formulierte Wissen muss jeweils auch wieder in einem ähnlichen Erkenntnisakt erreicht werden wie das ursprüngliche Erkenntnisobjekt. Ausserdem ergibt sich aus dem früher Gesagten dann, dass in jeder formulierten Erkenntnis sowohl Rationales als auch Irrationales enthalten ist, worauf auch die Existenz von Interpretationen und der Metawissenschaften hinweisen.

10. Nebenbei bemerkt, liegt es nahe, von der formalen Logik ausgehend die Untersuchung des Erkenntnisproblems auf die von Sätzen und deren Wahrheit einzuengen. Die Möglichkeit von Antinomien und Widersprüchen in logischen Systemen und unter anderem auch Gödels Satz über die Unentscheidbarkeit von bestimmten Aussagen, gebieten hier Vorsicht.

11. Sieht man die Erkenntnis geschichtet, berücksichtigt man also, dass jedes Erkennen und alle Erkenntnisse, insbesondere die formulierten Resultate, etwa Theorien, wieder zum Objekt des Erkennens werden können, so beschränkt man sich günstigerweise auf die Untersuchung von bestimmten Schichten, auf das Erkennen innerhalb der exakten Wissenschaften beispielsweise. Dann verkürzt man die Erkenntnistheorie zur Methodologie. Eine Schwierigkeit zeigt sich auch hier: Im Betrieb der Wissenschaften tritt diese Schichtung gar nicht klar zutage. So gehört zur Methode der Naturwissenschaften immer auch schon ein Teil Methodologie. Jedoch für das folgende soll diese Verkürzung vorgenommen, die Erkenntnistheorie auf eine Reflexion über das Vorgehen, auch auf die Art der Resultate der exakten Wissenschaften beschränkt werden. In

bezug auf die Frage nach der rationalen Erkenntnis ist zu sagen: Wenigstens in den Erkenntnissen der exakten Wissenschaften findet man beispielhaft Bestandteile rationalen Erkennens.

B. Logik

12. Was ist das Erkenntnisobjekt der Logik als Wissenschaft: Sind es geistige Prozesse oder objektive Zusammenhänge, oder ist es ein ideales logisches Sein? Allgemein befasst sich die Logik mit logischen Formen und logischen Strukturen, wobei zu bemerken ist, dass diese stets Formen und Strukturen von etwas sind. Von diesen notwendigerweise stets vorhandenen Trägern der logischen Strukturen sieht man aber in der Logik ab, soweit es die Praxis der Logik erlaubt. Im speziellen handelt die formale Logik von logischen Sätzen, von konditionalen Sätzen also der Form «Wenn..., dann...»

13. Die logischen Sätze sind aus Zeichen gebildet, selbst also Zeichenreihen. Die Frage nach dem Wesen dieser Zeichen und Sätze stellt sich in der Logik selbst nicht, wie auch nicht die nach der Anwendung derselben etwa in anderen Wissenschaften. Dazu müsste die Logik durch eine allgemeine Semiotik und eine allgemeine Methodologie ergänzt werden.

14. Da die Resultate der Logik selbst wieder logische Sätze, Objekt und Resultat des logischen Erkennens also gleichsam von derselben Natur sind, mag man in der logischen Erkenntnis nur Trivialitäten sehen. Man spricht ja auch vom Tautologiecharakter der logischen Sätze. Jedoch zeigt gerade dies, dass das Begreifbare an den Erkenntnisgegenständen das Logische ist, weshalb man auch die Erkenntnisart der Logik und Mathematik als eine optimale erachtet.

C. Automaten

15. Automaten kann man von ihrer Verwendung her gesehen als Werkzeuge charakterisieren. Sie sind im allgemeinen Glieder in einer grösseren Funktionskette.

16. Grob kann man die Automaten einteilen in solche, die an materieller Produktion mitwirken, und in solche, die Daten oder Information verarbeiten. Unter den letzteren findet man sensorische und anzeigende, kontrollierende, regelnde und stabilisierende, modellierende und simulierende, zeichenerkennende, übersetzende, spielende. Die grösste Bedeutung haben heute die Rechenautomaten, die man auch universale Automaten nennt, da sie bei entsprechender Programmierung eigentlich auch alle oben aufgeführten Tätigkeiten verrichten können.

17. Die im vorliegenden Zusammenhang auftauchende Frage, ob es auch erkennende Automaten gibt, lässt sich in dieser allgemeinen Fassung heute sicher nicht beantworten. Sie ist so komplex wie die üblicherweise diskutierte Frage, ob eine Maschine denkt, hängt wie diese zusammen mit den Fragen, ob eine Maschine als Subjekt aufgefasst werden kann und

ob sie Bewusstsein hat, und steht ihr natürlich besonders nahe bezüglich der Erkenntnis des Logischen. Es gibt extreme Gewaltantworten wie: Nur menschliches Denken und Erkennen ist Denken und Erkennen, oder andererseits solche, die sich aus nur behaviouristischen Betrachtungen ergeben. Fruchtbarer ist die Untersuchung von bestimmten, genauer abgegrenzten Prozessen und Aktivitäten wie die der Zeichenerkennung, der Problemlösung oder der Anpassung an die Umwelt.

18. Die Beziehung zwischen Automat und Erkennen hat zwei Aspekte: Einmal kann der Automat als Werkzeug im Erkenntnisprozess eingesetzt werden. Dies bedeutet, was seine Anwendung in den exakten Wissenschaften betrifft, dass er zu Berechnungen und zur Lösung von Problemen verwendet wird. Zum anderen kann der Automat als Hypothese oder als Formulierung des Erkenntnisresultats fungieren, so bei der Modellierung physikalischer, physiologischer oder psychischer Zusammenhänge, Prozesse und Systeme. Spricht man hier davon, dass der Automat ein Endergebnis eines Problems repräsentiert, so wird man, unter dem ersten Aspekt gesehen, von ihm sagen, dass er Ergebnisse, im allgemeinen Teilergebnisse, liefert.

19. Die Modellierung hat als eine Art Theoriebildung mehrere Stufen: die Modellierung des Verhaltens, die der Funktionen und die der Elemente. Begreiflicherweise gibt es Mischungen dieser Stufen.

20. Die folgenden Betrachtungen beschränken sich im grossen und ganzen auf die Rechenmaschinen. Bei ihnen unterscheidet man zwei Funktionsprinzipien (diese Unterscheidung hängt natürlich davon ab, welche Seite der Funktion der Elemente man betrachtet): Das Analogprinzip und das Digitalprinzip. Ein System funktioniert analog, wenn die Daten durch physikalische Grössen dargestellt werden, die in Grenzen kontinuierlich veränderlich sind und als solche verarbeitet werden. Ein einfaches Beispiel dafür ist der Rechenschieber, bei dem Logarithmen von Zahlen Abständen entsprechen. Dagegen werden Zahlen, Befehle und andere Begriffe in digitalen Systemen ziffernmässig dargestellt («digit» bedeutet Ziffer). Das Rechenbrett oder der Abakus ist ein bekanntes Beispiel dafür. Die Art der wesentlichen Fehler ist für die beiden Funktionsprinzipien verschieden: In analog arbeitenden Maschinen rühren die Fehler von Messungenauigkeiten, vom Verhältnis der Intensität der Signale zu der des störenden Rauschens her; in Digitalmaschinen spielen die Abrundungsfehler bei längeren Rechnungen die entscheidende Rolle.

21. Weitere Bemerkungen:

Die elektronische Ausführung von Rechenmaschinen bringt nichts grundsätzlich Neues gegenüber der mechanischen. Sie erlaubt nur kleinere Ausmasse und schnelleres Rechnen.

Alles, was nach dem Analogprinzip gemacht werden kann, kann prinzipiell auch nach dem Digitalverfahren durchgeführt werden, und dies meist genauer. Ferner besitzen Digitalmaschinen den Vorteil eines grossen

Speichers, und wegen ihrer Programmiermöglichkeit sind sie viel universeller.

Die Exaktheit des Digitalverfahrens beruht auf der Fähigkeit der Elemente, bei einem Signal oder Impuls sprunghaft ihren Zustand zu ändern. Aus diesen Gründen ist eine Beschränkung der weiteren Überlegungen auf Maschinen des Digitalprinzips gerechtfertigt, vor allem auch wegen der Nähe dieses Verfahrens zur Logik, die ja im Grunde ebenfalls diskret ist.

D. Logik und Automaten

22. Drei Arten der Verbindung zwischen Logik und Automaten sollen herausgestellt werden: die Logik als Hilfsmittel, der Automat als rein begriffliches Hilfsmittel, der Automat als praktisches Hilfsmittel.

23. Selbstverständlich ist, dass Logik und Mathematik bei der Konstruktion der Automaten benützt werden, bei der Auswahl der Elemente, besonders bei deren Verknüpfung zu Einheiten und der Verbindung der Einheiten untereinander, bei der Abfassung der Maschinensprachen und allgemeinerer übergeordneter Sprachen. Speziell werden sie aber zur exakten Beschreibung der Automaten selbst gebraucht. Auf diesem Wege ist die Automatentheorie schon zu einem ziemlich selbständigen Zweig der Mathematik oder der Mengenlehre geworden.

24. Begriffe und Aussagen, die mit Maschinen zusammenhängen, findet man in der Logik bzw. der Mathematik selbst. Geschichtlich war dies so: Schon seit jeher waren Logik und Mathematik insbesondere aus auf allgemeine Lösungsmethoden, die auf eine ganze Klasse von Aufgaben anwendbar sind. Sie waren auf der Suche nach Algorithmen, sogar nach einem Universalalgorithmus. «Allgemein» bedeutet hier, dass die Methode bis in die letzten Einzelheiten festgelegt, demnach also, dass die Vorschrift in einem endlichen Text abgefasst sei. Um nun Aussagen über Algorithmen selbst machen zu können, etwa um ihre Grenzen abzustecken, muss man diesen Begriff präzisieren. Eine dieser Präzisierungen benützt den Begriff der Maschine, genauer der Turingmaschine. Dann lassen sich metamathematische Sätze wie etwa das Theorem von Church auf folgende Weise formulieren: Es ist unmöglich, eine Maschine zu bauen, die für eine beliebige vorgelegte Aussage auf die Frage, ob diese Aussage rein logisch gültig sei, entweder ja oder nein zur Antwort gibt. «Unmöglich» bedeutet hier «logisch unmöglich», was heisst, dass, wenn man die gemachten Voraussetzungen, die hier nicht angegeben wurden, nicht einhält, sich vielleicht doch gleichsam mit Glück und Erfindungsgeist praktisch eine Maschine für diesen Zweck bauen lässt. Dass hier der Begriff der Maschine eigentlich nur zur anschaulichen Verziererung dient, zeigt der Nachweis der Gleichwertigkeit dieses so präzierten Algorithmus mit auf andere Weise präzierten Algorithmen. Für die Praxis folgt aber auf alle Fälle, dass die Durchführung einer Methode, die derart algorithmisch bis ins einzelne festgelegt ist, einem Automaten überlassen werden kann. Hinzuzufügen ist jedoch, dass man nur für sehr wenige

Probleme einen Algorithmus gefunden hat, darüber hinaus für viele Fragen bewiesen hat, dass es zu ihrer Beantwortung keinen Algorithmus geben kann. Der oben angeführte Satz ist ein Beispiel dafür.

25. Die praktische Anwendung von Automaten in der Logik, etwa zur Durchführung von Deduktionen, hat die Entlastung des Logikers als erstes Ziel; die Gewinnung von neuen Erkenntnissen ist wenigstens zur Zeit sekundär. Sowieso hat man hier, gemessen an der Verwendung von Automaten auf anderen Gebieten, nur sehr wenig Erfahrung und Erfolg gehabt. Die Voraussetzungen für ein solches Unterfangen sind einmal die Eindeutigkeit der benützten Terme, des Alphabets, dann eine genaue Festlegung des Verfahrens, beispielsweise mit Hilfe eines Algorithmus. Die Realisierung selbst hat als Grundlagen: die Nachbildung der logischen Verknüpfungen in der Maschine, wozu der Binärcharakter der Digitalelemente zur Darstellung beispielsweise der Wahrheit und Falschheit von Aussagen ausgenützt wird. Für die Praxis der Rechenmaschinen, nicht so sehr speziell für deren Anwendung in der Logik, ist noch wichtig, dass es Elemente gibt, die über den weiteren Verlauf der Operationen durch eine bestimmte Programmwahl entscheiden. Was den Aussagenkalkül betrifft, so beschränkt man sich wie in der Logik meist auf drei Verknüpfungen, auf «und», «oder» und die Negation. Zur Nachbildung logischer Verknüpfungen mit Hilfe maschineller Elemente gibt es sehr viele Möglichkeiten. Im Grunde handelt es sich dabei um eine mechanische, elektrische oder elektronische Interpretation der logischen Zeichen und Zeichenverbindungen, wie ja auch «und», «oder» und die Negation als Interpretationen, nämlich als sprachliche Interpretationen der logischen Zeichen $\&$, \vee , $-$ aufgefasst werden müssen. Als Beispiel soll eine mechanisch-elektrische Interpretation angegeben werden, die leicht verständlich ist, aber in der Praxis nicht verwendet wird: In Abb. 1, 2 und 3 sind B stromliefernde Batterien, x_1 und x_2 mechanische Schalter, y ist jeweils eine Glühbirne, M ein elektrischer Magnet. x_1 , x_2 , y und M (zusammen mit dem von ihm betätigten Schalter rechts von ihm) haben je zwei ausgezeichnete Zustände: ein Schalter ist offen oder geschlossen, eine Lampe brennt oder brennt nicht. Diese ausgezeichneten Zustände können als Wahrheit oder Falschheit von logischen Aussagen interpretiert werden, und als solche Aussagen werden natürlich dann x_1 , x_2 und y angesehen. Abb. 1 ist somit die Darstellung einer primitiven Konjunktion, Abb. 2 die einer Disjunktion und Figur 3 die einer Negation.

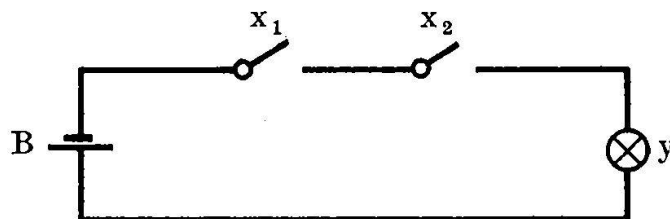


Abb. 1
Konjunktion $y = x_1 \& x_2$

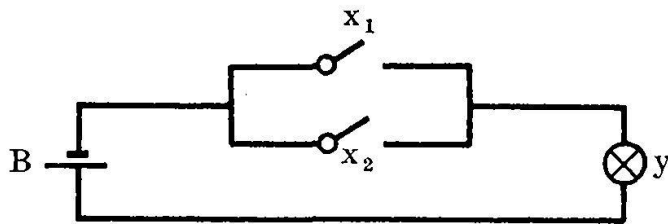


Abb. 2
Disjunktion $y = x_1 \vee x_2$

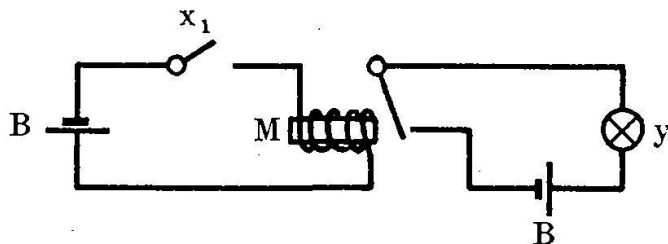


Abb. 3
Negation $y = \bar{x}_1$

Die eigentliche Arbeit wird wie in der Logik durch die Bildung von disjunktiven Normalformen vereinheitlichend vorbereitet. Unter einer disjunktiven Normalform versteht man einen Ausdruck der Form

$$y = a \vee b \vee c \vee \dots \vee z,$$

wobei a, b, c, \dots Konjunktionen aus atomaren Aussagen bzw. deren Negationen sind, also beispielsweise

$$a = x_1 \& x_2 \& \bar{x}_3 \& x_4 \& \dots \& \bar{x}_m.$$

Wesentlich sind in der Maschine Umformungen, die zu einer Einsparung von Schaltelementen führen. Nun lassen sich bekanntlich Zahlen in Dualform, d. h. binär unter Benützung nur zweier Ziffern, etwa von 0 und 1, darstellen – die Binärdarstellung von 6 ist dann zum Beispiel 110. Damit kann man weiterhin Rechenoperationen als logische Funktionen ausdrücken: Für die Dualstellen der Summe zweier Zahlen mit den Dualstellen a_i bzw. b_i , wenn c_i der Übertrag ist, der bei der Summation der i -ten Dualstellen sich ergibt, gilt dann:

$$s_i = (a_i \& \bar{b}_i \& \bar{c}_{i-1}) \vee (\bar{a}_i \& b_i \& \bar{c}_{i-1}) \vee (\bar{a}_i \& \bar{b}_i \& c_{i-1}) \vee (a_i \& b_i \& c_{i-1}).$$

Man sieht so die Möglichkeit ein, wie man über die Bildung von Normalformen eine solche Operation in der Maschine nachahmen, also rechnen kann.

26. Es gibt verschiedene Auffassungen oder Schulen der formalen Logik und entsprechend auch der Mathematik, die sich unterscheiden nach der Art der Begriffe und Urteile, die zugelassen werden, und nach der Art der Voraussetzungen und der Forderungen, denen Deduktionen

zu genügen haben. Eine Gruppe dieser Schulen wird unter dem Namen «Intuitionismus» zusammengefasst. Beispielsweise ist für sie der Satz vom ausgeschlossenen Dritten keine Beweisgrundlage, oder sie verbieten die Benützung des Begriffs des Unendlichen oder verlangen die Vermeidung von Schlüssen mit Hilfe der vollständigen Induktion. Allgemein kann man sagen, dass sie konstruktive Beweise verlangen, und effektiv konstruktive, also intuitionistische Logik kann unter anderem mit den Begriffen des Automaten und der Maschine und damit zusammenhängenden Begriffen formuliert und studiert werden. Die Logik der Rechenmaschinen liegt also auf der Linie der Konstruktivisten innerhalb der formalen Logik. Sätze einer Logik dieser Art sind dann gleichzeitig logische Aussagen über bestimmte Automaten.

27. Es gibt einen Hauptunterschied zwischen dem Geschäft der Logik und der Funktion von Automaten: die Zeit tritt in der Logik nicht explizit auf. Doch die Notwendigkeit, in Maschinen und in Theorien über sie die Zeit zu berücksichtigen, ist kein reiner Nachteil. Circuli vitiosi, die etwa mit dem Abgehen von der Konstruktivität oder der Benützung von imprädikativen Ausdrücken zusammenhängen, werden auf diese Weise vermieden.

28. Für die Praxis der Wissenschaft nützt die Definitheit, die durch ein effektives, ein algorithmisches Verfahren garantiert wird, meist nicht viel. Einmal gibt es, wie gesagt, Algorithmen nur für wenige Problemgruppen, weiter gleichen diese algorithmischen Lösungen meist Gewaltmethoden. Oftmals schliessen sie zum Beispiel eine Durchmusterung aller möglichen Fälle ein. Dies würde praktisch zu lange dauern. Effektives Verfahren bedeutet wohl endliches Verfahren, aber diese Endlichkeit kann sehr gross sein. Deshalb ist man auf der Suche nach heuristischen Verfahren, solchen also, die Lösungen bieten, welche meistens gut genug sind. Die Grundlage dafür ist, dass innerhalb eines Rechen-, Deduktions- oder Suchprozesses plausible Annahmen für den nächsten Schritt gemacht werden, die natürlich fehlgehen können. Mit Versuchen in dieser Richtung hat man schon einige, wenn auch nicht blendende Erfolge erzielt. Dies zeigt wiederum, wie wichtig bei Rechenmaschinen die Optimalisierung oder Minimalisierung der Programme ist.

29. Während die Logik im wesentlichen kombinatorisch ist, spielt bei den Rechenmaschinen auch das Analytische eine grosse Rolle. Die genaue Betrachtung der Funktionsweise der Elemente und der zu Komplexen verbundenen Elemente, vor allem aber und damit im Zusammenhang die Untersuchung von Fehlermöglichkeiten und der Auswirkungen dieser Fehler, führt notwendig auch auf analytische Überlegungen.

30. Zur heutigen Lage bei den Automaten kann man bemerken, dass diese sich noch in embryonalem Zustande befinden. Man steht erst am Anfang ihrer Entwicklung. Andererseits gleichen die Rechenmaschinen auch deshalb Kleinkindern, die immer wieder von vorne anfangen müssen zu lernen, weil der Inhalt ihrer Speicher immer wieder gelöscht wird.

31. Trennt man die Logik auf in deduktive und induktive Logik, so ist zu sagen, dass das eigentliche Arbeitsfeld der Automaten heute – und vielleicht für immer – das der deduktiven Logik ist. Auf dem Gebiet der induktiven Logik, etwa dem der Hypothesenbildung, sind die Automaten, wenn man von den grundsätzlichen Schwierigkeiten dieser Disziplin einmal absieht, ziemlich schwach. Die dem menschlichen Gehirn so eigentümliche Fähigkeit, Korrelationen aufzufinden, fehlt ihnen weitgehend.

32. Bezüglich der Realisierung, ja Materialisierung geistiger, speziell logischer Denkoperationen kann man mit einigem Recht die Meinung vertreten, dass die Automaten im ganzen gesehen ausser einem Ansporn zum neuen Durchdenken der damit verbundenen Fragen und einem Ensemble neuer, exakter gefasster Begriffe wie «Automat» und «Information», deren Fruchtbarkeit aber nicht unterschätzt werden soll, nichts wesentlich Neues bringen. Dass Denkprozesse durch materiell Physiologisches wenigstens teilweise bedingt sind, ist immer schon gesehen worden. Nur wenn man Prozess und Resultat völlig auseinanderreißt, Denken und Gegenstand des Denkens vollständig voneinander trennt, wird man als Folge davon die Schwierigkeit haben, Reales und Ideales in anderem als sehr spekulativem Zusammenhang zu sehen, sie als konkret Gegebenes bzw. als allgemeine und abstrahierte Struktur zu verstehen. Weiterhin ist die Logik selbst ja stets an die Benützung von Zeichen gebunden, die immer einen physikalischen Zeichenträger haben. Die Tätigkeit des Logikers mit Papier und Bleistift lässt sich durchaus mit der Aktion eines Automaten vergleichen.

4. E.SPECKER (Zürich) – *Die Rechen- und Denkmaschinen und die Grundlagenforschung der Mathematik.* – Kein Manuskript eingegangen.

5. JEAN-BLAISE GRIZE (Neuchâtel) – *Brèves réflexions sur le thème du Symposium.*

Je vais me limiter à souligner quelques aspects de chacun des trois thèmes de cette rencontre qui sont:

1. La structure de la connaissance rationnelle
2. Les machines à calculer
3. Les machines à penser

1. Structure de la connaissance rationnelle

Je commencerai par une remarque banale, mais peut-être fondamentale: c'est qu'il n'y a de connaissance d'aucune sorte qui n'ait besoin d'un langage pour s'exprimer. Or, les langages que l'humanité a inventés sont