

50 Jahre Kybernetik in Österreich

H. ZEMANEK OVE

Herrn Prof. Dr. Richard Eler zur Emeritierung gewidmet

Das Wort Kybernetik ist sehr alt, es bekam aber in der Mitte des vorigen Jahrhunderts neue Aktualität, als die Steuerkunst im Zeitalter der Informationstechnik neue Aspekte erhielt. Der Beitrag gibt zuerst die Vorgeschichte und Frühgeschichte der Kybernetik wieder, er geht dann auf den Beginn der Kybernetik an der Wiener Technischen Universität über: In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, wann Norbert Wiens Buch „Cybernetics“ (Wiener, 1948) zum ersten Mal nach Wien kam und wie daraus das Interesse an den kybernetischen Modellen entstand. Daraus wiederum ergab sich der Nachbau folgender Modelle:

- (1) das Modell für den Bedingten Reflex (Künstliche Schildkröte),
- (2) das Modell für die Orientierung im Labyrinth (die Maus) und
- (3) das Modell für die Homöostase (der Homöostat).

Im dritten Teil dieses Beitrags wird der Übergang auf die Künstliche Intelligenz (KI) geschildert – die Hoffnungen, die mit diesem Schlagwort verknüpft waren und wie viel heute von der Kybernetik und KI geblieben ist. Die Maus im Labyrinth ist mit dem Jubilar verbunden: Er hat sie als Diplomarbeit gebaut.

Schlüsselwörter: Kybernetik; Nachrichtenverarbeitung; Steuerung; kybernetische Modelle; Künstliche Intelligenz

50 years of cybernetics in Austria.

The term "cybernetics" is very old, but in the middle of the last century it gained new importance as steering brought new aspects to the area of information technology. This paper deals with the general history of cybernetics and then describes the beginning of this field at Vienna University of Technology. In this context it was an important step, when the book "Cybernetics" by Norbert Wiener first came to Vienna; thus the interest in cybernetic models evolved. Originating from the interest in cybernetic models, three models were recreated (and refined):

- (1) the model of the conditioned reflex (artificial tortoise),*
- (2) the model of orientation in a maze (mouse), and*
- (3) the model of homeostasis (homeostat).*

The third and final part of this paper illustrates the gradual transition to artificial intelligence (AI). Hopes that were tied up with this term are discussed. Apart from that the question of how much has been left of cybernetics and artificial intelligence today is raised. The mouse in the maze is very closely connected to our Emeritus: He built the Viennese version of it as part of his diploma thesis.

Keywords: cybernetics; data processing; control; cybernetic models; artificial intelligence

1. Einleitung

Heute ist „Kybernetik“ ein allgemein bekanntes Wort. Vor 50 Jahren hingegen hatten höchstens einige Fachleute davon gehört. Ich wurde von Prof. E. F. Petritsch darauf aufmerksam gemacht, der mir, wie seine Widmung festhält, am 12. Apr. 1952 das Buch „Cybernetics“ von Norbert Wiener schenkte. Damit begann für mich die Kybernetik – und für Österreich. Norbert Wiener hat das Wort „Cybernetics“ durch den Untertitel definiert: „Communication and control in the animal and in the machine“, Nachrichtenverarbeitung und Steuerung im Tier und in der Maschine, wobei nach Norbert Wiens Auffassung unter „Tier“ auch der Mensch zu verstehen ist.

Wie kam Norbert Wiener auf das Wort Kybernetik?

Dass das Wort Kybernetik in der Kirchenadministration bereits im Mittelalter in Gebrauch war, wird Norbert Wiener eher

nicht gewusst haben, und dass Ampere in seiner „Wissenschaftssystematik“ das Wort für eine Verallgemeinerung dessen verwendete, was wir heute Regel- und Steuertechnik nennen, wohl auch nicht. Wie Wiener erklärt, auf welche Weise er zum Wort Kybernetik gekommen sei, erscheint ziemlich fragwürdig: Das Wort „angelus“ sei schon besetzt gewesen.

ZEMANEK, Heinz, Univ.-Doz. O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h. c., Institut für Computertechnik, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 25–29, A-1040 Wien (E-Mail: zemanek@ict.tuwien.ac.at)

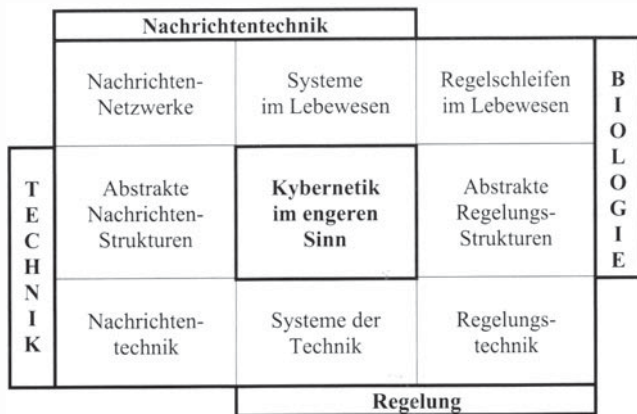


Abb. 1. Kybernetik im umfassenden und im engeren Sinn – ein Mengendiagramm

Auf einem seltsamen Weg kam ich auf die Spur, die alles für sich hat. Meine Frau las einen Roman*), der von einem New Yorker Seidengeschäftsmann handelt, der zu seinem Sohn die Bemerkung macht: „Ich bin zwar nicht ein Mitglied von $\varphi\beta\chi$, aber so viel verstehe ich vom Leben, dass [...]“. Zu $\varphi\beta\chi$ gab es eine Fußnote, welche $\varphi\beta\chi$ als hochrangige Absolventenvereinigung vorstellte und hinzufügte, dass die drei Buchstaben als Motto interpretiert werden: „Philosophia Biou Kybernetes“ (Die Philosophie sei der Steuermann des Lebens). Jetzt musste ich nur noch herausfinden, ob Norbert Wiener dort Mitglied war. Er war es. Nachdem $\varphi\beta\chi$ ihn zunächst abgelehnt hatte.

Norbert Wiener war ein Wunderkind, das mit 17 Jahren seine Dissertation eingereicht hatte. Als er sich nach der Promotion um die Mitgliedschaft bewarb, fand $\varphi\beta\chi$, dass man lieber abwarten sollte, wie sich das Wunderkind entwickelt. Diese Zurückweisung hat Norbert Wiener tief getroffen. Und auch als er dann doch Mitglied wurde, war er, so schrieb er (Wiener, 1971: 17), gegen jedwede Ehrung zutiefst misstrauisch.

Der Untertitel in Norbert Wieners „Cybernetics“ sei durch Abb. 1, Kybernetik im umfassenden und im engeren Sinn, illustriert, das ich schon über 30 Jahre lang verwende.

Das innerste Rechteck, die Kybernetik im engeren Sinn, entspricht der europäischen Auffassung. Das äußere Rechteck, aus neun Rechtecken bestehend, entspricht der sowjetisch-dialektischen Auffassung. Man muss in der sowjetischen Literatur darauf achten, dass Kybernetik mit Informationstechnik zu übersetzen ist. Das „Kybernetik“-Institut von Akademiker Viktor Glushkov in Kiew umfasste die gesamte Computertechnik, und kurz vor seinem Tod erklärte er mir einen Nachmittag lang seinen Plan, ein Datennetzwerk für die Steuerung und Überwachung der sowjetischen Fünfjahrespläne aufzubauen. Sein Tod hat diesen Plan verhindert. Übrigens machte er auch die Bemerkung, er sei über das Wort „Kybernetik“ für sein Arbeitsgebiet ein wenig unglücklich.

Die Lektüre des Buches von N. Wiener hat mir nicht sehr viel geholfen; einige Teile waren unverständlich für mich, andere Teile waren mir aus anderen Quellen näher bekannt. Lediglich die sehr biografische Einleitung von 50 Seiten gab mir eine Vorstellung und die Überzeugung, dass dieses Gebiet bald wichtig werden würde – es war zu pflegen an der TH Wien – und das war eine Aufgabe für mich. Ich musste mich weiter umsehen. Ich entdeckte Heinz von Förster: sein 1948 in Wien erschie-

nes Buch „Das Gedächtnis“ (von Förster, 1948), in welchem er die Vergessenskurven von Ebbinghaus mit den Gleichungen des Atomzerfalls interpretierte, und die von ihm herausgegebenen Tagungsbände 6 bis 10 der John Macy Foundation New York (Die ersten fünf Tagungen haben keine Bände.). Ich erkannte: Mein Weg musste über die Modelle führen.

2. Vorläufer von Norbert Wiener

Viel später entdeckte ich eine ganze Reihe von Vorläufern Norbert Wieners, E. von Holst und H. Mittelstaedt (Holst, Mittelstaedt, 1950), die mit ihrem Reafferenzprinzip gezeigt haben, dass die Biologie durchaus imstande ist, abstrakte Konzepte wie die Rückkopplung auch ohne die Vorarbeit der Elektrotechnik für sich zu entwickeln. Der Schweizer Nobelpreisträger W. R. Hess (Hess, 1938) und der deutsche Professor R. Wagner (Wagner, 1954) wären hier ebenso zu nennen wie der deutsche Arzt H. Berger, der 1924 die Gehirnwellen entdeckte, die man mit Elektroden am Kopf abnehmen kann. Sie liegen in einem Frequenzbereich, für den es kaum Mess- und Experimentiergeräte gibt und über den daher wenig bekannt ist, nämlich bei 10 Hz. Die daraus entstandene Elektro-Enzephalografie (EEG) ist ein fester Bestandteil der Medizin. Es gibt auch mechanische Wellen in diesem Frequenzbereich, ausgestrahlt vom Menschen oder hervorgerufen durch Erdbeben, die bisher wegen der experimentellen Hindernisse kaum erforscht werden konnten.

Am bemerkenswertesten ist der Karpatho-Ukrainer Ja. I. Hrdina, der an der Montan-Universität von Dnjepropetrowsk wirkte und 1911 und 1912 zwei Arbeiten (Hrdina, 1911; Hrdina, 1912) schrieb, die – wie sein Lebenslauf – noch durchgearbeitet werden müssten (was ich – mit ukrainischer Hilfe, wenn ich sie bekomme – vorhabe). Hrdina hat die Bewegungsgleichungen des lebenden Organismus aufgestellt, in welchen natürlich auch die Rückkopplung eine Rolle spielt. Auf sein Buch trifft daher auch der Untertitel Norbert Wieners zu. Die nähere Analyse dieses Buches von Hrdina – das zweite Buch besteht aus Bemerkungen zum ersten – verspricht, interessant zu werden.

3. Die kybernetischen Modelle und die Wiener Nachbildungen

In Norbert Wieners späterem Buch „Human use of human beings“ (Wiener, 1950), auf Deutsch als „Mensch und Menschmaschine“ (Wiener, 1952) erschienen, ist ein einfaches Modell beschrieben, Motte oder Wanze genannt. Es ist dies ein Modell für das Streben von Tieren hin zum Licht oder vom Licht weg. Dieses Modell allein hätte mich kaum zum Nachbau eingeladen; aber ich fand andere. –

Und ich vermochte meine Pläne über Diplomarbeiten zu realisieren. Herr Kollege Eier war einer der Diplomanden, die dies ermöglichten. Die drei kybernetischen Grundmodelle seien kurz beschrieben – ihre Erstaufführungen und ihre Wiener Erweiterungen (Tabelle 1).

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Originale und Wiener Modelle. Die Modelle Elmer und Elsie von W. G. Walter sind in der Cora (siehe Tab. 1) enthalten und bedurften daher nicht eines Nachbaus. Die Cora habe ich dann in Namur bei der ersten der Kybernetik-Tagungen (1954) erlebt; da hatte ich das Eichler-Modell (Abb. 4) schon mit. Die russische Delegation bat mich, es in einem der Hotelzimmer vorzuführen und zu erklären. Dies führte dann zu meiner Einladung in die Moskauer Akademie im Jahre 1960.

Ich hatte erkannt, dass meine kybernetischen Interessen einer gewissen Absicherung durch einen Mediziner bedurften. Dafür fand ich den Dozenten Dr. Peter dal Bianco, Primarius am Wiener Rosenhügel, mit dem ich viele Stunden diskutierte, mit dem ich Tagungen besuchte und Projekte betrieb – leider kam es durch seinen frühen Tod zu keiner der geplanten Publikationen.

*) Übrigens hat Norbert Wiener auch einen Roman geschrieben: Die Versuchung – Geschichte einer großen Erfindung. Es geht um Patente auf dem Gebiet der Steuer- und Regeltechnik (die der Übersetzer ins Deutsche als „Kontrolltechnik“ übersetzt) mit Beziehungen zu Mexiko.

Tabelle 1. Übersicht über die kybernetischen Grundmodelle

Verfasser	Literatur	Spitzname	Effekt	TU Wien	Literatur
N. Wiener	Wiener, 1950, 1952, 1960	Motte, Wanze	Lichtanziehung, Lichtabstoßung		
W. G. Walter	Walter, 1953	Elmer, Elsie	Unbedingter Reflex		
W. G. Walter	Walter, 1953	Cora Schildkröte	Bedingter Reflex	Eichler	Eichler, 1955
–		Schildkröte	Zwei bedingte Reflexe	Angyan Kretz	Angyan, Kretz, Zemanek, 1961
C. E. Shannon	Shannon, 1952	Maus im Labyrinth	Automatische Orientierung	Eier	Eier, 1958; Eier, Zemanek, 1960
W. R. Ashby	Ashby, 1948, 1952, 1953	Homöostat	Homöostase Ultrastabilität	Hauenschild	Hauenschild, 1957

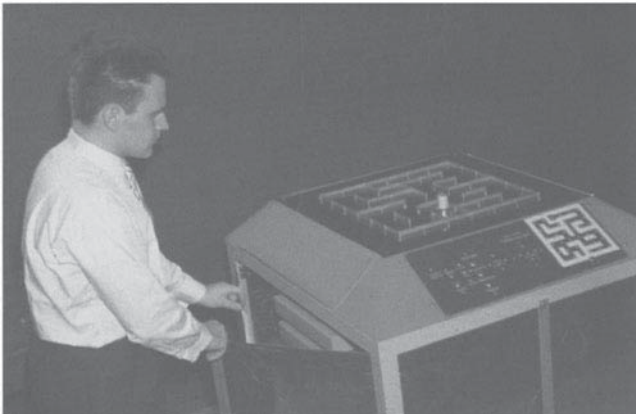


Abb. 2. Richard Eier an dem von ihm gebauten Modell der Maus im Labyrinth. Das Wiener Modell ist durch zwei Erweiterungen ausgezeichnet: Es ist von 5x5 auf 6x6 Felder vergrößert (die Wände an den Innenrändern der Felder können beliebig gesteckt werden) und mit einem „gespeicherten“ Ariadnefaden ausgerüstet, den das Modell von Shannon nicht besitzt: Es wird nicht nur die Richtung gespeichert, in welche die Maus ein Feld zum letzten Mal erfolgreich verlassen hat, sondern auch der Suchstatus: (1) noch nicht betreten, (2) (vorläufiger) Teil des Lösungswegs, (3) Sackgasse und (4) Gefahr der Schleife. Mit dieser Information findet die Maus nicht nur den Weg vom Start zum Ziel (wenn es ihn gibt, mit Sicherheit, aber nicht notwendigerweise am kürzesten) und auch den Weg zum Ziel und zurück zum Start

An dieser Stelle ist auch Prof. Dr. Robert Trappl zu nennen, der die Österreichische Studiengesellschaft für Kybernetik gründete und dort eine rege Vortragstätigkeit in Gang hält – heute natürlich hauptsächlich die Künstliche Intelligenz betreffend. Die 11. Tagung der Gesellschaft war 1992.

Der gegebene Anlass ist ein Grund, mit der Maus im Labyrinth von Richard Eier zu beginnen. Dieses Modell sei mit einem Einschub über den antiken Hintergrund (der Theseus-Sage) bedacht, der den Leser an seine frühen Kenntnisse griechischer Mythologie erinnern wird.

Exkurs: Das traurige Schicksal des Hofingenieurs Daidalos

Zur Zeit des Königs Aigeus war Athen der Insel Kreta tributpflichtig. Alljährlich mussten sieben Jünglinge und sieben Jungfrauen von Athen nach Kreta versandt werden, um dem Minotauros zum Fraße vorgeworfen zu werden. Dieser Minotauros, ein gewaltiger, mit den Göttern verwandter Stier wohnte im Labyrinth, einem Palast von verwirrender Weiträumigkeit und unübersichtlicher Anlage, in dem sich die Opfer jedesmal hoffnungslos verirrt.

Theseus, der Sohn des Königs Aigeus von Athen, meldete sich freiwillig unter die sieben Jünglinge, in der Absicht, Athen vom Tribut zu befreien. Auf Kreta angekommen, macht er sich

an Ariadne, die Tochter des Königs Minos von Kreta, heran und verführt sie dazu, etwas für seine Rettung zu unternehmen. Ariadne erhält vom Hofingenieur, der das Labyrinth erbaut hatte, einem gewissen Daidalos, den Lösungsalgorithmus – nicht als Computerprogramm, sondern in Form weiblicher Hardware, nämlich eines Knäuels, das als Ariadnefaden sprichwörtlich geworden ist. Wo der Faden nicht liegt, war man noch nicht. Wo er liegt, ist – vorläufig – der Lösungsweg. Wo er doppelt liegt, ist eine Sackgasse (da musste man wieder zurück). Und wo sich drei Fäden treffen würden, entstünde ein Kreisweg: Man drehe um, ehe man diese Stelle betritt. Mit diesen vier Regeln kann man jedes Labyrinth lösen, d. h. den Weg vom Start zum Ziel finden. Theseus ist daher erfolgreich und findet den Minotauros. Es fällt auf, dass der allen Beschreibungen nach gewiss nicht einfache Kampf mit dem Ungeheuer in den Schilderungen verblasst gegen die erste Auflösung eines Labyrinths. Geistige Leistungen haben eben schon im Altertum die Umwelt beeindruckt, wenn sie auch damals mitunter mit einem unrichtigen Erfindernamen verbunden wurden.

Man versteht, dass König Minos ärgerlich wird, sobald man ihm den Verrat des Lösungsalgorithmus hinterbringt. Da seine Tochter indessen mit Theseus auf dem Athener Schiff durchgebrannt ist, rächt sich Minos wenigstens an seinem Hofingenieur, indem er diesen samt dessen Sohn Ikaros kurzerhand in das Labyrinth einmauern lässt. Dabei unterschätzt er aber den Erfindungsreichtum des guten Ingenieurs. Aus Federn abgeschossener Vögel und mit Wachs von im Labyrinth nistenden Bienen baut Daidalos zwei Paar Flügel. Vater und Sohn verlassen das Labyrinth und Kreta auf dem Luftwege. Leider schlägt der junge Mann die Mahnungen des Vaters in den Fahrtwind, ja nicht von der vorgeschriebenen Luftstraße abzuweichen. Ikaros geht aus purer Lust auf zu große Flughöhe und gerät in die Wärmestrahlung des Gegenverkehrs, wo fahrplanmäßig Gott Helios sein Sonnengefährt steuert. Das Wachs der Flügel schmilzt, und der hoffnungsvolle, aber undisziplinierte Jüngling stürzt ab. Immerhin wurde zu seinem Angedenken das entsprechende Meer nach ihm benannt.

Daidalos hingegen landet glücklich in Ägypten und ersucht um politisches Asyl, das für einen Experten natürlich rasch gewährt wird. Ein Auslieferungsbegehren von König Minos wird mangels bestehender Abkommen aus prinzipiellen Gründen abgelehnt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Ingenieurkunst eines Heron von Alexandrien aus einer Tradition erwuchs, die auf Daidalos zurückgeht. Dass Theseus Ariadne auf Naxos allein zurücklässt, ist eine andere Geschichte, zu der man Näheres in der Oper erfahren kann.

3.1 Die Maus im Labyrinth

Und nun zu den Modellen (Shannon, 1952; Eier, 1958; Eier, 1960): Der amerikanische Ingenieur und Mathematiker Claude E. Shannon, der Begründer der statistischen Informationstheorie und Pionier der Schaltalgebra, baute das erste Modell für die automatische Orientierung. Seine Labyrinth-Lösung war aber nicht auf den Ariadnefaden aufgebaut, sondern ging von dem Verhalten der „Versuchskaninchen“ aus – es könnten die übli-

chen Mäuse oder Ratten sein, aber der Ausdruck „Maus im Labyrinth“ für das Modell von Shannon kommt lediglich vom optischen Eindruck des Suchers. In dem Gerät kann das Labyrinth durch Stecken von Zwischenwänden auf fünf mal fünf quadratischen Feldern nach Wunsch ausgelegt werden. Der Sucher wird von einem unter dem Labyrinthboden geführten Magneten bewegt. Er tastet sich von Feld zu Feld weiter. Vermag er das nächste Feld zu betreten, wird die Richtung gespeichert, in welcher dies geschah; hält ihn hingegen eine Wand auf, dann dreht er sich um 90° und versucht es in der nächsten Windrichtung. Wenn die Maus nicht in eine Schleife gerät, wird sie das Ziel schließlich finden. Aus der Schleife findet sie heraus, weil ein Schrittzähler achtet, ob die für eine Lösung maximale Schrittzahl überschritten wurde: Dann bricht sie aus der Schleife aus. Im Speicher befindet sich der Weg vom Start zum Ziel in Form der gespeicherten Windrichtungen, in denen die Felder verlassen wurden. Das bedeutet: Wo immer man die Maus in das Labyrinth hineinsetzt, folgt sie den gespeicherten Richtungen und findet das Ziel. Nur wenn man sie an eine noch nicht betretene Stelle setzt oder wenn man etwas am Labyrinth verändert hat, wendet sie wieder den Suchalgorithmus an.

Die Wiener Maus im Labyrinth beruhte auf einer Idee von Richard Eier, dem im Vorjahr emeritierten Ordinarius für Datenverarbeitung der TU Wien. Es war seine Diplomarbeit. Und die Zusatzidee war der Ariadnefaden, über Shannons Modell hinausgehend, in der abstrakten Form eines weiteren Zweibit-

Speichers zu jedem Feld (die vier Windrichtungen des Verlassens sind die zwei Bits, die Shannon vorgesehen hatte).

Dieser Speicher hält eine der folgenden vier Möglichkeiten fest: (0) das Feld ist noch nicht betreten worden, (1) es liegt ein Faden, das Feld liegt am Weg vom Eingang zum Ziel; (2) es liegen zwei Fäden, das Feld gehört daher zu einer Sackgasse; (3) es würden drei Fäden zusammenkommen, was eine Schleife zur Folge hätte – die Maus setzt daher eine gedachte Wand und sperrt damit den Weg in die Schleife. Mit der Ariadnefaden-Information gerät die Maus erstens niemals in eine Schleife und zweitens kann sie auch den Weg zum Eingang zurücklaufen – wie Theseus (Abb. 3a, b).

Das in Wien gebaute Gerät steht im Wiener Technischen Museum und wurde bis 1980 von Richard Eier betreut (Abb. 2). Sein Angebot, dies auch weiter zu tun, wurde nicht akzeptiert. Es herrscht jetzt ein moderner Geist dort.

3.2 Die künstliche Schildkröte

Der Bedingte Reflex ist ein Schema, welches der russische Physiologe I. P. Pawlow untersucht und beschrieben hat, und zwar aufgrund von Tierversuchen, genauer gesagt mit Hunden, und dabei hat die Schwachstromtechnik insofern bereits eine Rolle gespielt, als Pawlow als Glocke eine elektrische Klingel verwendete. Zeigt man einem Hund etwas zum Fressen, so läuft ihm, wie man in Wien und wahrscheinlich auch anderswo sagt, das Wasser im Munde zusammen. Den erhöhten Speichelfluss kann man mit Hilfe einer Kanüle objektiv messen. Es handelt sich hier um einen unbedingten Reflex, so wie das Schließen des Auges bei der Näherung eines Objekts oder das Zusammenzucken bei einem Nadelstich. Läutet nun etliche Male zugleich mit dem Erscheinen des Futters eine Glocke, so genügt später das Läuten der Glocke allein, um den Speichelfluss zu erhöhen. Es hat sich ein Bedingter Reflex eingerichtet, der wieder verschwindet, wenn der Speichelfluss etliche Male nicht durch wirklich erscheinendes Futter belohnt wird, aber er baut sich, wenn er einmal eingerichtet war, rascher wieder auf.

Diese informale Schilderung lässt sich leicht in ein logisches Folgeschema transformieren und durch entsprechende technische Anordnungen zu einem Modell ausgestalten. Das hat der britische Neurologe W. G. Walter (Walter, 1953) getan. Statt des Futters setzte er einen Lichtstrahl an (den das Modell mit einer lichtempfindlichen Zelle registrieren kann), und statt der Glocke wurde eine Pfeife verwendet (die das Modell über ein Mikrofon und ein Filter für eine bestimmte Tonhöhe empfängt; sieht man zwei Filter verschiedener Tonhöhen vor, so kann das Schema leicht erweitert werden). Weil das Modell auf seinen Rädern relativ langsam am Boden „dahinkroch“ und eine Schutzhülle besaß (deren Verdrehung das Anstoßen an ein Hindernis meldete – worauf das Modell zurückfuhr und es etwas weiter rechts versuchte), erhielt es den Namen Schildkröte – also ohne tiefere biologische Bedeutung. Dieses relativ einfache Modell wurde von meinem Diplomanden Ewald Eichler 1953 (Eichler, 1955) in Wien nachgebaut (Abb. 4).

Das weit kompliziertere Modell, das zwei Bedingte Reflexe aufbauen konnte, einen Schlaf- und einen Wachzustand hatte und eine Reihe weiterer Erkenntnisse berücksichtigte, hatte eine längere Entstehungsgeschichte. Sie begann mit einem überraschenden Besuch des ungarischen Biologen und Psychiaters A. J. Angyan. Dieser wollte im November 1958 auf der Tagung des National Physical Laboratory in Teddington bei London „Mechanisation of Thought Processes“ seine in Budapest gebaute Schildkröte – „Machina Reproducatrix“ (Angyan, 1959) – vorführen, traute aber ihrer Verlässlichkeit nicht. In Ungarn war die Kybernetik noch eine verpönte Wissenschaft, und es gab weder Mittel noch Bauteile von Qualität. Meine Modelle waren in Budapest nicht unbekannt, und so machte Angyan in

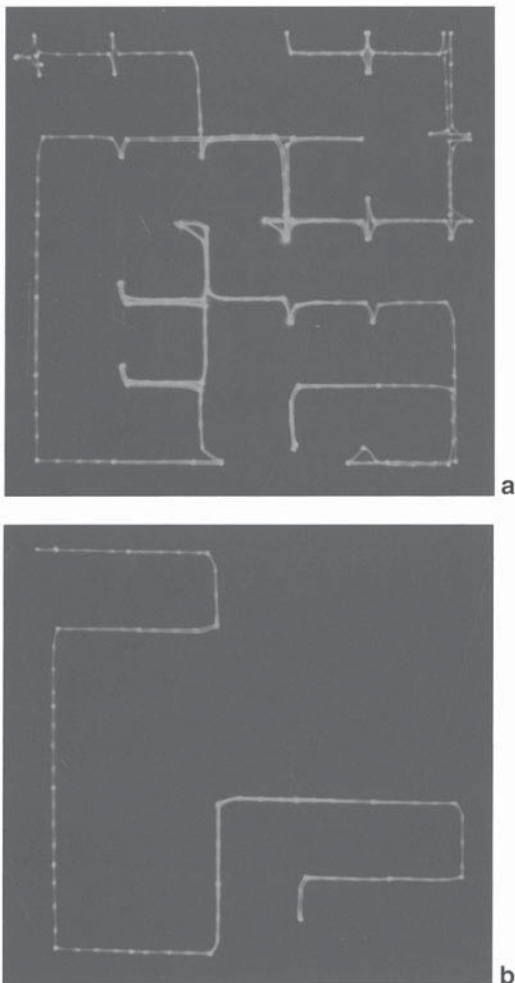


Abb. 3a. Suchlauf der Maus bei der Aufgabe, das Ziel im Labyrinth zu finden; zu erkennen sind auch die Irrwege (Sackgassen), die die Maus zurücklegt; b zeigt den Rückweg der Maus, die den kürzesten Weg nimmt, unter Vermeidung aller Umwege

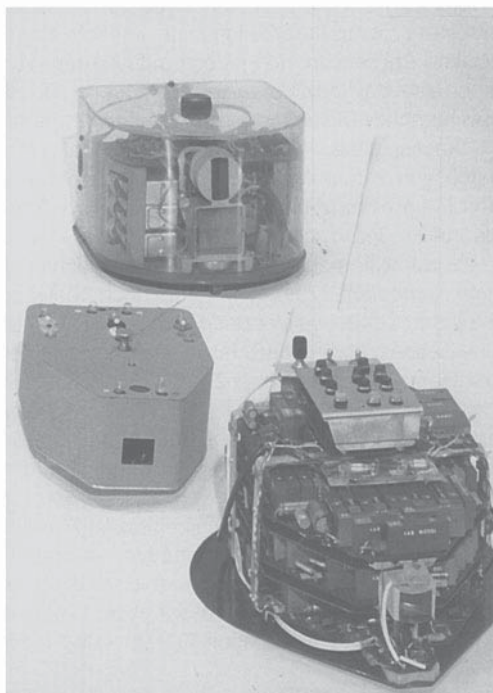


Abb. 4. Unterschiedliche Ausführungen der künstlichen Schildkröte: Das Modell aus dem Jahr 1954 (oben) wurde als Diplomarbeit von Eichler realisiert und folgte dem Vorbild von W. G. Walter. Das zweite Modell (Mitte) ist durch die Publikation (Zemanek, Kretz, Angyan, 1960) erläutert und wurde in gleicher Form nach New York geliefert. Modell 3 (vorne) gleicht strukturell Modell 2, ist aber transistororientiert und dadurch größer

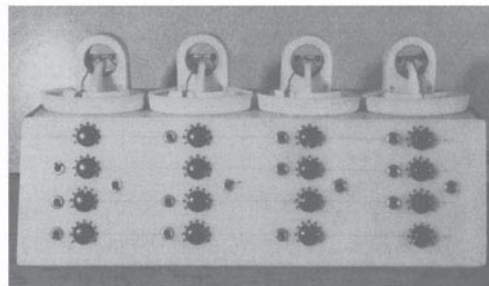


Abb. 5. Man erkennt an dem Modell (Diplomarbeit Hauenschild) die vier durch Kopplung miteinander verknüpften Flüssigkeitspentiometer (schaltbar oder zufällig verknüpft), die so lange spielen, bis sie einen Gleichgewichtszustand erreicht haben

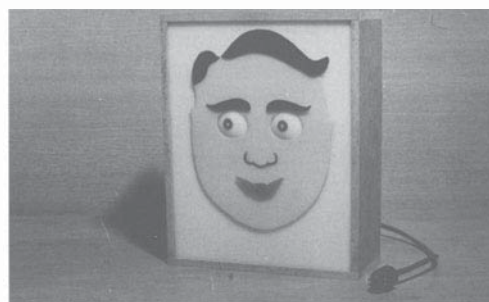


Abb. 6. Das Originalmodell des Homöostat von W. R. Ashby wurde in Wien nachgebaut und um ein dynamisches Gesichtsmodell (zur Veranschaulichung) erweitert: Das Gesicht weist von den vier Variablen gesteuerte Gesichtszüge auf

Wien halt, um uns zu bitten, sein Gerät ein wenig „aufzumöbeln“. Viel war da nicht zu machen, aber für die Vorführung in Teddington vermochten wir das Modell doch sicherer zu machen: Das Gerät hat dort tatsächlich befriedigend funktioniert.

A. J. Angyan entschloss sich, in Wien zu bleiben. Mit seiner Hilfe steuerten wir eine neue Schildkröte an, gebaut von meinem Diplomanden Hans Kretz (Kretz, 1960). Die eine der beiden Ausführungen ging an das Rockland State Hospital in New York, das die Arbeit durch Vermittlung von A. J. Angyan finanziert hatte, die andere blieb bei uns. Später wurden noch weitere Modelle mit dieser Struktur gebaut; eines davon, eine transistorisierte Version, stand in der Weltausstellung von Montreal (Abb. 3). Diese zweite Struktur war so kompliziert, dass man sie in einem Vortrag nicht wirklich erklären konnte. So ergeben zum Beispiel die sechs Zustandsvariablen die Situation, dass das Modell im Prinzip auf den gleichen Reiz auf 64 verschiedene Arten zu reagieren vermöchte (es waren nicht alle Arten realisiert). Es bedarf eingehender Studien, um das Modell voll zu verstehen.

3.3 Der Homöostat

Das dritte Modell ist sehr abstrakt (Abb. 5), aber in der Wiener Ausführung haben wir es mit zwei Zusatzkästen ausgestattet, um einen konkreten Eindruck hinzufügen zu können: Einer zeigt ein schematisches menschliches Gesicht, bei dem die Homöostat-Variablen die Augen, die Augenbrauen und die Mundwinkel bewegen (Abb. 6), und der andere Kasten zeigt zwei Lichtpunkte auf einer Mattglasscheibe, die sich (bei bestimmten Einstellungen) entweder wie Katze und Maus bewegen, also ein Verfolgungsverhalten simulieren, oder wie zwei Boxer verhalten, die immer wieder aufeinander losgehen. Das war für das Verständnis nützlich, aber nur ein Seiteneffekt. Hauptziel des

Homöostaten ist die Darstellung der Homöostase, der Gleichhaltung eines Systems über die simple Regelung hinaus. Wir wollen dieses Konzept des britisch-amerikanischen Biologen Walter Cannon an einem typischen Fall illustrieren.

Wenn man im Winter in die Kälte tritt, erleidet das freie Gesicht einen Wärmeverlust, den der Körper automatisch durch stärkere Durchblutung ausgleicht. Das ist ein einfacher Rückkopplungskreis: je kälter, umso mehr Wangenrötung. Und es ist ein herausgegriffener Fall, typisch für die kybernetische Betrachtung. Man kann ja auch aus anderen Gründen erröten. Die stärkere Durchblutung kann nicht jede Menge Wärmeverlust ausgleichen. Sie hat eine Grenze, und wenn mehr Wärme verloren wird, muss etwas geschehen. Zum Beispiel schaltet ein Mechanismus den inneren Zustand um, und man beginnt zu trappeln, hüpfen oder laufen. Das setzt Körperenergie in Wärme um und gleicht daher den Verlust besser aus. Die Kombination von Regelung und Zustandsumschaltung beschrieb Cannon in mehreren Varianten und nannte das Schema Homöostase.

Der britische Neurologe W. R. Ashby setzte ein solches Schema in ein elektronisches Gerät mit vier elektrischen Zustandsgrößen um, die alle vier voneinander abhängig sind (Ashby, 1948; Ashby, 1952; Ashby, 1953). Jede Variable wird durch einen Zeiger sichtbar, dessen Ende aber nicht über eine Skala streicht, sondern in einen gebogenen Trog taucht, der mit Wasser gefüllt ist. Zur Leitfähigkeit setzt man ein bisschen Waschmittel hinzu. An den beiden Enden des Troges sind Elektroden angebracht, die erstens eine Gleichspannung über die Länge des Troges hervorrufen und zweitens als Schaltkontakte dienen, um das Erreichen des Grenzwertes zu signalisieren. Bewegt wird der Zeiger von vier Magnetwicklungen, auf welche die vier Variablen einwirken, jede auf alle vier. Der Zeiger nimmt nämlich eine seiner Position entsprechende Elektronen-Röh-

ren-Vorspannung auf, welche die Röhre in einen entsprechenden Strom umsetzt, und dieser läuft in die Wicklungen.

Der Anteil, mit dem eine Variable auf die anderen (also auch auf sich selbst) einwirkt, kann umgeschaltet werden, erstens durch Knopfeinstellung und zweitens durch einen Drehwähler, der zufällig verteilte Werte bringt, in jeder der Drehstellungen einen andern Satz. Die Knopfeinstellung repräsentiert die Außenwelt (z. B. das Hinaustreten in die Kälte), und der Drehwähler bewirkt die automatische Umstellung, indem er so lange weiterdreht, bis einer der Zeiger an eine Elektrode stößt, d. h. solange sich Variable außerhalb der Grenzwerte befinden. Wenn man den Homöostaten in Gang setzt, beginnen die Zeiger zu kreisen, und meist wird mehr als ein Zeiger an eine Elektrode anstoßen. Der Drehwähler schaltet so lange weiter (er lässt dabei den Zeigern genügend Zeit), bis eine Position gefunden ist, wo die vier Variablen in ihrer gegenseitigen Verkettung stabil geworden sind (was in der Anwendung nicht ein Ruhezustand sein muss, sondern auch etwa ein gleichmäßiger Lauf sein kann). Das System hat den Ausgleich mit seiner Umgebung gefunden, die Anpassung ist erreicht. Der Homöostat vermittelt eine einprägsame Vorstellung von einem Schema, das im Lebewesen offenbar in den verschiedensten Situationen ein Fertigwerden mit der Umwelt ermöglicht.

Dem Modell fehlen Gedächtnis und Lernfähigkeit. Es stellt nur die Erstanpassung dar, nicht aber das Zurückgreifen auf eine frühere Situation, auf die Erfahrung. Dafür hat es, nicht geplant oder eingebaut, sondern aus seiner Natur heraus, die Eigenschaft der Gewöhnung, und das ist sehr bemerkenswert. Erklären wir das wieder an einem Beispiel: Ein Kätzchen ist in einem stabilen Zustand: Es schläft. Wir beginnen es anzutupfen, zuerst ganz leicht, dann immer stärker. Auf die leichteste Störung wird es nur minimal reagieren. Das tun auch die Zeiger: Sie geben nach und kehren in die stabile Position zurück. Bei einer gewissen Tupfstärke kommt das System aus dem Gleichgewicht. Das Kätzchen legt sich anders, der Homöostat schaltet weiter, bis er eine Position gefunden hat, wo auch diese Tupfstärke nur zum Ausweichen und Zurückkehren führt: Der Homöostat hat sich an diese Tupfstärke „gewöhnt“. Und natürlich gibt es Berührungsstärken, bei denen eine Gewöhnung nicht mehr möglich ist, wie beim Kätzchen auch.

Die Wiener Ausführung sah erstens gut aus (was Ashby bei seinem Besuch in Wien besonders hervorhob). Ich hatte das Glück, als Diplomanden einen Sohn eines Besitzers einer Plastikwerkstätte zu erwischen, der die Elektronik in hübsche Gehäuse einzubauen verstand.

Zusätzlich machten wir die Homöostase durch zwei Vorführungszusätze sichtbar: (1) ein Gesicht, in welchem gewisse Elemente – Brauen, Augen, Mundwinkel – den Variablen entsprechend bewegt wurden, was ein eigenartiges Minenspiel ergab; und (2) einen mechanischen „Oszillografen“ mit zwei Lichtpunkten, deren Koordinaten von den vier Variablen gesteuert wurden. Dazu haben wir eine Einstellungen gesucht und gefunden, wo sich die beiden Lichtpunkte (a) wie Katze und Maus verhielten (Katze verfolgt, Maus flüchtet) oder (b) wie zwei Boxer, die aufeinander losgehen, zusammenstoßen, auseinanderprallen und dies immer wieder anfangen.

3.4 Spielautomaten und das Schachspiel Im Besonderen

Spielautomaten sind uralte, und ihre generelle Behandlung hat hier keinen Platz. Aber mit dem Computerzeitalter begann ein neuer Abschnitt ihrer Geschichte. Es sei aber auf das entsprechende Kapitel in dem Buch „Faster Than Thought“ von B. V. Bowden verwiesen (Bates, 1953), das vor allem das NIM-Spiel behandelt, die elektronische Variation des bekannten Streichhölzchenspiels.

Das faszinierendste aller Spiele ist das Schachspiel, das ich zwar nicht zu meinem Computerarbeitsgebiet gemacht habe, dessen elektronische Behandlung ich jedoch aufmerksam verfolgte, denn es ist eine der faszinierendsten Aufgaben für die Computerprogrammierung. Die Anfänge des Gedankens eines mechanischen Schachspielers waren im Wien der Kaiserin Maria Theresia durch von Kempelen näher gebracht worden – wenn auch nur in Form eines Zauberkunststücks, aber eines äußerst ingenieusen Zauberkunststücks (Windisch, 1783).

Eigentlich war von Kempelen ein Sprachwissenschaftler, dessen Buch (*von Kempelen, 1791*) auch heute noch bestehen kann. Die Literatur zum Schachspieler des Herrn von Kempelen ist wirklich unübersehbar; später hat Mälzel, der Erfinder des Metronoms, das Gerät gekauft und 1826 nach Amerika gebracht, wo es bis 1838 Furore machte. Als Mälzel in diesem Jahre starb, kauften Ärzte aus Philadelphia den Schachspieler und amüsierten sich eine Weile damit. Aber der engagierte und dafür extrem begabte Schausteller Mälzel fehlte, das Interesse flaute ab; man stellte das Gerät in den chinesischen Pavillon (eine Art Museum) und als dieser 1854 abbrannte, verbrannte der Schachspieler mit. Ich habe Unterlagen und ich wüsste daher, wie man ihn neu bauen müsste, aber das würde mich in eine Zusammenarbeit mit dem Fernsehen führen – und diese Zeit ist für mich vorbei.

Die erste wirklich spielende Maschine stammt von Leonardo Torres y Quevedo (*Torres y Quevedo, 1953*) aus dem Jahre 1914 (mit einer Vorform von 1912), in einfacher Elektromechanik. Das Gerät hat König und Turm, der menschliche Gegner nur einen König. Dafür gibt es einen relativ einfachen Algorithmus, der in diesem Gerät verwirklicht ist: Die Maschine muss siegen. Es gibt ein Foto, auf welchem Norbert Wiener gegen diesen Automaten spielt und ihm gegenüber steht Gonzales Torres y Quevedo, der Sohn von Leonardo. Diesen Sohn habe ich kennengelernt und war mit ihm im Museum der Madrider Universität für Straßen, Kanal- und Brückenbau, wo sich die Geräte Leonardos heute befinden, und auch ich habe gegen die Maschine verloren. N. Wiener, A. L. Samuel (*Samuel, 1960*) und vor allem C. E. Shannon (*Shannon, 1950*) haben sich mit den Möglichkeiten der Programmierung des Schachspiels befasst, Samuel auch erfolgreich mit Dame (*Levy, Newborn, 1982*). Das erste Computerschachprogramm schrieb ein Österreicher in England, nämlich D. G. Prinz (*Prinz, 1952*). In Stockholm, im Rahmen meines IFIP-Kongresses 1974, fand in einem Hotel das erste internationale Computer-Schachturnier statt (das wir unterbrechen mussten, weil Präsident Nixons Abdankungsrede übertragen wurde); es wurde von einem russischen Programm gewonnen. In der IBM wurden später berühmt gewordene Programme geschrieben.

Es gab auch eine Mailüfterl-Episode mit Schach. Ich hätte gerne den Torres y Quevedo-Algorithmus auf dem Mailüfterl als Vorführungsprogramm geschrieben gehabt. Das erforderliche Schachbrett (mit steckbaren Figuren, so dass Art und Position dem Programm zur Verfügung standen) war bald hergestellt. Aber die Programmiererin, die ich beauftragte, wurde von ihrem Ehrgeiz mitgerissen; sie wollte unbedingt ein vollständiges Schachprogramm schreiben und einfüllen. Damit misslang beides.

Man kann heute Schachautomaten mit einstellbaren Spielstärken kaufen. Das ist eine Errungenschaft, die sich zu Zeiten des Kempelenschen Schachspiel-„Automaten“ niemand vorstellen konnte, ein Triumph der Informationsverarbeitungstechnik. Der Besitzer eines heutigen Gerätes vermag damit enorm zu lernen. Aber zwei miteinander spielende Automaten kultivieren eine falsche Richtung: Sie nehmen dem Schachspiel das, wofür es da ist: seine menschlichen Seite – mit Ausnahme einer etwas einseitigen Programmierkunst.

Die Maschine spielt nicht wie ein Mensch – das heißt, sie spielt *nicht*. Das menschliche Vergnügen am Spiel kommt aus intuitiven Vorstellungen vom erwarteten Verlauf, aus (teils versteckten) Lernvorgängen und aus den persönlichen Beziehungen zum Spielpartner – außer im Fall von Ein-Personen-Spielen. Bei einem Computerschachturnier spielen die Programmierkünste der Teams gegeneinander, und das ist eine Ebene höher als beim wirklichen Spiel.

Mittlerweile gibt es eine umfangreiche Literatur über Schachspielprogramme; wir nehmen nur ein Buch (Levy, Newborn, 1982) von D. Levy und M. Newborn auf; Levy war einer der Animatoren und Organisatoren des Stockholmer Turniers von 1974.

3.5 Lernende Automaten

Um 1960 gab es große Hoffnungen, lernende Maschine bauen zu können. Dem Computer wäre dies zuzutrauen – lernte die Maus nicht einen Weg vom Start zum Ziel und zurück? Erlernen die künstlichen Schildkröten nicht ein bestimmtes Reflexverhalten? Die Frage war: Wie programmiert man „das Lernen im Allgemeinen“?

In meinem Handbuchartikel von 1962 (Zemanek, 1962) habe ich eine Klassifikation des Lernens aufgestellt:

- (0) Klassifizieren
- (1) Lernen durch Speichern
- (2) Lernen durch bedingte Zuordnung
- (3) Lernen durch Erfolg
- (4) Lernen durch Optimierung
- (5) Lernen durch Nachahmung
- (6) Lernen durch Belehrung
- (7) Lernen durch Erfassung

Man ersieht aus dieser Liste, wie mit steigendem Anspruch der Anteil an geistiger Beherrschung größer wird. Und der Geist vermag zu programmieren, aber man kann ihn selbst nicht simulieren – nur, was er zuwege bringt. Das haben wir bei unseren Bemühungen bestätigt gefunden.

In Süddeutschland veranstaltete man zu dieser Frage Lern-tagungen (Billing, 1961), welche Mitglieder des Mailüfterl-Teams und auch ich besuchten. Auf ihnen erregte die Lernmatrix (Steinbuch, 1961) von Karl Steinbuch Aufsehen. Das ist eine technisch realisierte Matrix, in welche in der einen Richtung, etwa vertikal, gewisse Eigenschaften eingesendet werden, die zutreffen oder nicht. In die andere Richtung hingegen wird eine gewisse Anzahl von Klassen oder Kategorien geschickt. In der „Lernphase“ bietet man der Matrix gewisse Sätze von Eigenschaften an und gibt die Kategorie ein, zu welcher der eingegebene Satz gehört. An den Kreuzungspunkten der Matrix wird das Zutreffen gezählt, so dass für jede Kategorie eine bestimmte Verteilung der Eigenschaften gespeichert wird (im einfachsten Fall sind es nur Ja-Nein-Entscheidungen: trifft zu oder nicht). In der „Kannphase“ erhält die Matrix einen Satz von Eigenschaften und sie vermag anzuzeigen, zu welcher Kategorie der eingegebene Satz am ehesten gehört: Sie hat gelernt, Kategorien zu erkennen, sie ist ein adaptiver Zuordner (wie Steinbuch die Lernmatrix auch genannt hat).

Ein anderes Konzept einer allgemeinen Lernmaschine war das 1958 von Frank Rosenblatt vorgestellte „Perceptron“ (Rosenblatt, 1958). Das erste Modell wurde – nach einem Simulationsversuch auf einer IBM 704 – im Cornell Aeronautical Laboratory gebaut. Rosenblatt kam bei einem Bootsausflug um, und die Arbeiten wurden nicht fortgeführt.

Wir haben auf dem Mailüfterl Lernprogramme geschrieben (Kudielka, Lucas, 1961). Aber sehr bald erkannten wir die Grenzen dieser Richtung: Wirkliche Lernmaschinen würden noch lange ein Wunschtraum bleiben, und das stimmt bis heute.

3.6 Roboter

Beim Thema „Künstliche Intelligenz“ ist es naheliegend, auch an den Roboter zu denken. Ein paar Zeilen seien daher auch ihm gewidmet. Der Name Robot oder Roboter ist so alt wie ich: Er wurde von den Brüdern Čapek in meinem Geburtsjahr 1920 in Prag erfunden, und Karl Čapek schrieb dann das erste Roboter-Theaterstück R.U.R., deutsch W.U.R. (Čapek, 1922). Der Gedanke des künstlichen Menschen aber ist antik. Hephaistos hat in der Ilias von Homer (18. Gesang) Mäde geschmiedet, und sie beherrschen sogar etwas wie Computerkunst. Und von der Antike bis ins 19. Jahrhundert war dafür der Name „Android“ gebräuchlich. Österreich gehört ganz allgemein zu den Ländern mit großer „Automaten-Dichte“; unsere Museen beherbergen ungeheure Schätze dieser Kategorie. Und nur mit einiger Mühe vermag ich, ein Kapitel über sie zu unterdrücken; ich muss, weil es den Rahmen hoffnungslos sprengen würde. Vor allem bewundere ich die beiden Theater-Automaten in den Maria-Theresianischen Räumen der Wiener Hofburg (heute Amtsräume des Österreichischen Bundespräsidenten).

Ich kehre zum Roboter zurück: Für den Leser, der R.U.R./W.U.R. nicht kennt, ein Zitat aus meinem Buch (Zemanek, 1991) betreffend den Inhalt von Čapeks Theaterstück: Die Arbeitssklaven entstehen durch eine biologisch-technische Erfindung, deren Dokument in einem Panzerschrank liegt und die auf einer fernen Insel für die Massenanfertigung ausgenutzt wird. Die Menschheit kann alle Arbeit auf die billigen Roboter abwälzen, sie verliert merkwürdigerweise zugleich die Zeugungskraft; es kommen immer weniger Kinder zur Welt. Eines Tages machen die Roboter einen erfolgreichen Aufstand. Sie bringen alle Menschen um bis auf einen Baumeister, dem das Roboterzeitalter nicht behagte, der daher von Zeit zu Zeit auf ein Gerüst stieg und Maurerarbeit machte, so dass ihn die Roboter als einen der ihren gelten ließen. Mit Schrecken stellen die Roboter fest, dass in den Wirren des Aufstands der Panzerschrank mit dem Herstellungsrezept zerstört worden ist. Auch der Baumeister kann da nicht helfen, er kennt das Rezept nicht. Da der Roboter aber eine Lebenszeit von nur zwei oder drei Jahrzehnten hat, ist das Ende nicht nur der Menschheit, sondern auch der Roboter gekommen – wenn nicht ... wenn nicht einer der Wissenschaftler der Roboterfabrik unerlaubte Experimente gemacht hätte. Bei einem davon war ein Roboterpaar entstanden, das die Grenzen zum Menschen überschritt. Mit einem neuen Adam und einer neuen Eva beginnt ein neues Geschlecht. Ende der Vorstellung.

Das Theatralische wird der Roboter wohl niemals abstreifen können – und das hat einen tieferen Grund. Um Roboter auf der Bühne agieren zu lassen, musste Čapek ihnen menschliches Aussehen geben. Nun ja – technisch gesehen ist der Mensch ja wirklich keine schlechte Lösung eines Allround-Automaten. Nur: Wenn man eine Allround-Maschine braucht, stellt man einen Menschen an; das ist bedeutend billiger und wird auch in Zukunft bedeutend billiger sein. Die Ingenieurlösung hingegen übertrifft den Menschen, aber in einer spezialisierten Problemstellung und Lösung. Und daher haben die Maschinen in klobiger Menschengestalt etwas Verlogenes oder (im spielerischen Fall) etwas Theatralisches an sich. Effektvolle Automaten bedürfen nicht der menschlichen Gestalt. Heute sind sie ohnehin ein Computerprogramm. Der Roboter, der nicht auf der Bühne steht, ist eine Jahrmarktsfigur.

Der Gedanke, dass der Mensch nichts anderes sei als eine komplizierte Maschine, wurde bereits 1748 von J. O. de Lametrie vertreten (de Lametrie, 1748), der kaum ahnte, wie unbearbeitbar dieses Thema damals war. Lustig gemacht über die Informationstechnik, nämlich über die Texte verfassende Maschine, hat sich auch schon Jonathan Swift in Gullivers dritter Reise (auf die Insel der Mathematiker, Ingenieure und Akademi-

ker – immer noch eine gute Quelle für boshafte Bemerkungen über sie (*Swift, 1954*)), während Samuel Butler ein Land beschreibt (*Butler, 1928*), in welchem Maschinen verboten sind, weil sie – folgt man der Auffassung von Darwin – den Menschen übertreffen könnten.

4. Die Ablöse der Kybernetik durch die Künstliche Intelligenz

Die Kybernetik hat etliche Aufgaben hervorragend erfüllt, dennoch wurde sie nicht zu einem Lehrfach oder gar zu einer Studieneinrichtung. Ich habe den Satz geprägt, dass ein Wissenschaftler nur während einer Kybernetiktagung Kybernetiker ist. Nach Hause zurückgekehrt wird er wieder der Mathematiker, Nachrichten/Informationstechniker oder Biologe, der er eigentlich ist. Norbert Wiener ist ja auch nicht Kybernetik-Professor geworden, sondern Mathematiker geblieben.

Wie soll es Künstliche Intelligenz geben, wenn die Informationstechnik das Lernen nur durch wohlorganisierte Parameterverbesserung zu verwirklichen weiß und damit in 40 Jahren kaum eine nennenswerte Anwendung davon erreicht hat?

Auch hier möchte ich ein paar Worte zur Herkunft des Namens sagen. Das Wort „artificial intelligence“ wurde von J. McCarthy 1956 geprägt. Aber im gleichen Jahr waren die „Automata Studies“ (*Ashby, 1956*) erschienen, herausgegeben von C. E. Shannon und J. McCarthy; darin hatte W. R. Ashby eine Arbeit „Der Computer als Intelligenzverstärker“ veröffentlicht – dieser Titel mag McCarthy zu seiner Wortschöpfung angeregt haben. Es ist ein „misnamer“, eine Falschbezeichnung, denn nicht die Programme sind intelligent, sondern ihre Entwerfer. Im Englischen hat das Wort „intelligence“ allerdings noch eine zweite Bedeutung, die im Deutschen in den letzten 200 Jahren verloren gegangen ist, nämlich „Kurznachricht“. So erklären sich sowohl der britische „Intelligence Service“ wie auch die deutschen „Intelligenzblätter“ um 1800. Trotzdem sollte man das Wort „Künstliche Intelligenz“ und die Ableitungen davon wie „intelligentes Gebäude“ möglichst rasch außer Gebrauch setzen – ansonsten muss man für die menschliche Intelligenz ein neues Wort suchen.

Die Kritik am Namen bedeutet nicht, dass die Sache selbst zu kritisieren wäre: Gemeint sind Programme, welche leisten, wozu sonst ein erhebliches Maß an menschlicher Intelligenz erforderlich wäre. Dies gilt zwar bereits für die höhere Mathematik, gemeint sind aber alle Sorten von „Problemlösung“. Damit hat es sachlich begonnen: mit der Frage „Wie löst denn der Mensch Probleme?“ Zur Beantwortung wurden zwei Wege vorgeschlagen:

- (1) die Simulation der Neuronentätigkeit (neuronale Netzwerke) und
- (2) die Simulation menschlichen Problemlösungsverhaltens (GPS – der „General Problem Solver“)

Mit (1) hat Marvin Minsky in seiner Dissertation (*Minsky, 1954*) begonnen. Er ging aber bald zu (2) über, und als sich dieser Weg als wenig ergiebig erwies, kehrte er wieder zu (1) zurück. L. Dreyfus hat in seinem Buch „What Computers Can't Do“ (*Dreyfus, 1972*) die spöttische Bemerkung gemacht, dass, nachdem sich der Weg (2) blamiert hat, nun auch dem Weg (1) eine faire Chance gegeben werden muss, sich zu blamieren.

GPS (2) wurde von dem Team Alan Newell, J. C. Shaw und H. A. Simon angegangen (*Newell, Shaw, Simon, 1959*). Mit Newell hatte ich engere Kontakte. Die Uridee war, Studenten beim Lösen von Problemen der Schaltalgebra zu beobachten und darüber Protokoll zu führen: Daraus müsse sich ein generelles Programm für das Problemlösen ableiten lassen. Es ließ sich nicht ableiten.

Die Rückkehr zu (1) führte zum Konzept der „Neuronalen Netzwerke“: zu der Vorstellung, dass die großen Speicher- und

Arbeitsmöglichkeiten (die indessen eingetreten waren) Netzwerke von logischen Elementen nach dem Vorbild der neuronalen Verknüpfungen aufbauen, welche den Weg zur Lösung von Problemen mehr oder weniger von selbst finden würden, so wie auch das neuronale Netz unserer Gehirnzellen solche Lösungen findet. So nützlich neuronale Netze für gewisse Probleme auch sind: wirklich von selbst finden sie keine Lösungen. Aber solche Netze sind ein ebenso faszinierendes wie erfolgreiches Arbeitsgebiet.

5. Schlussgedanke

Die Kybernetik hatte die Aufgabe, eine Brücke zwischen Biologie und Technik zu schlagen sowie eine Sprache bereitzustellen, in welcher sich die beiden Seiten verständigen und bereichern konnten. Diese Aufgabe war erfüllt, als sich das allgemeine Interesse auf die Künstliche Intelligenz verlegte. Sie war so gut erfüllt, dass kybernetische Überlegungen zur Selbstverständlichkeit wurden. Norbert Wiener ist mit seinem Buch weit über die zugehörigen Fachgebiete hinaus bekannt geworden. Das Wort, vor allem auch in der englischen Form „cyber“, ist auch heute noch in weiter Verwendung, von passend bis völlig unpassend.

Professor Eier und seine Kollegen haben zu diesem Bekanntwerden beigetragen. Heute gehört das alles der Geschichte an. Und mit der „Künstlichen Intelligenz“ steht es nicht viel anders. Solange wir die Maschinen nicht lernfähig (im allgemeinen Sinn) zu machen verstehen, ist allerdings das Wort „Intelligenz“ fehl am Platz.

Meinem lieben Kollegen Richard Eier möchte ich sowohl meine Glückwünsche als auch meine Anerkennung aussprechen. Mein ehemaliger Diplomand hat die Informationstechnik umfassend gefördert und in seinem Institut zahlreiche Erfolge errungen. Ich vermag mich nur mit Mühe mit dem Gedanken anzufreunden, dass dieser junge Mann der Emeritierung anheimfällt. Aber er hat ja nun an der TU ein Zimmer neben mir, und ich bin sicher, dass er seiner Linie weiter folgen wird – viele Jahre, die ich ihm wünsche.

Literatur

Die Literatur zu diesem Beitrag ist weit verstreut. Ich halte es daher für nützlich, dem Leser von heute eine Übersicht zu bieten, die beim Einarbeiten in das gesamte Feld oder in eines der verschiedenen Themen nützlich ist.

Der Begründer der Kybernetik

- Wiener, N. (1948): *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. New York: Wiley; Paris: Hermann 1948. 8th ed. 1950: 194 ff.
- Wiener, N. (1950): *The human use of human beings* (Cybernetics Society). London: Eyre & Spottiswoode.
- Wiener, N. (1952): *Mensch und Menschmaschine*. Frankfurt: Metzner: 211 ff. bzw. Frankfurt: Athenäum 1964, 211 ff.
- Wiener, N. (1960): *Die Versuchung. Geschichte einer großen Erfindung*. Düsseldorf: Econ, 267 ff.
- Wiener, N. (1963): *Kybernetik – Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*. 2. Aufl. Düsseldorf: Econ, 287 ff. bzw. Econ Classics 1992, 287 ff.
- Wiener, N. (1971): *Ich und die Kybernetik*. Goldmann Taschenbuch, 315 ff.

Vorläufer der Kybernetik

- Hess, W. R. (1938): *Die Regulierung des Blutkreislaufs*. Leipzig: Thieme.
- Hrdina, Ja. I. (1911): *Die Dynamik der lebenden Organismen*. Jekaterinoslaw (ab 1926: Dnjepropetrowsk): Druckerei Issak Kogan, 106 ff.
- Hrdina, Ja. I. (1912): *Anmerkungen zur Dynamik der lebenden Organismen*. Jekaterinoslaw (ab 1926: Dnjepropetrowsk): Druckerei Issak Kogan, 26 ff.

Wagner, R. (1954): Probleme und Beispiele biologischer Regelung. Stuttgart: Thieme, 219ff.

Modelle

- Angyan, A. J. (1959): Machina Reproducatrix – An analogue model to demonstrate some aspects of neural adaptation. In: Mechanisation of thought processes. Proc. Symp. National Physical Laboratory, 24–27 November 1958. London: Her Majesty's Stationary Office, Vol. II, 933–943.
- Angyan, A. J., Kretz, H., Zemanek, H. (1961): A model for neurological functions. In: 4th London Symp. on Information Theory 1960 (C. Cherry, ed.). London: Butterworth, 270–284.
- Ashby, W. R. (1948): The homeostat. *Electronic Engineering* 20: 380.
- Ashby, W. R. (1952): Design for a brain. 2nd rev. ed. London: Wiley Chapman & Hall, 286ff.
- Ashby, W. R. (1953): Homeostasis. In: Conf. on Cybernetics, Trans. of the 9th Conf., 1952 (H. v. Foerster, ed.). New York: J. Macy Foundation 73, 84ff., 108.
- Eichler, E. (1955): Die künstliche Schildkröte. *Radio Technik* 31 (5/6): 173–179.
- Eier, R. (1958): Gedächtnissteuerung zur Orientierung in einem Labyrinth. Staatsprüfungsarbeit, TH Wien, 97ff.
- Eier, R., Zemanek, H. (1960): Automatische Orientierung im Labyrinth. *Elektronische Rechenanlagen* 2: 23–31.
- Hauenschild, A. (1957): Der Homöostat. Staatsprüfungsarbeit, TH Wien.
- Kretz, H. (1960): Modell für neurophysiologische Funktionskreise. Staatsprüfungsarbeit, TH Wien, 52ff.
- Kretz, H. (1961): Vollständige Modelldarstellung des Bedingten Reflexes. In: Lernende Automaten (H. Billing, Hrsg.). Fachtagung in Karlsruhe 1961. München: Oldenbourg, 51–62.
- Shannon, C. E. (1952): Presentation of a maze solving machine. Trans. of the 8th Conf., 1951 (H. v. Foerster, ed.). New York: J. Macy Foundation, 173–180, 240ff.
- Zemanek, H. (1955): Die künstliche Schildkröte von Wien. *Radio-Magazin* 31 (9): 275–278.

Zur Kybernetik

- Ashby, W. R. (1956): An introduction to cybernetics. London: Methuen. 6th reprint 1979, 295ff. Deutsche Übers.: Ashby, W. R. (1974): Einführung in die Kybernetik. Frankfurt: Suhrkamp, 415ff.
- von Förster, H. (1948): Das Gedächtnis. Wien: Deuticke, 40ff.
- von Förster, H. (1950): Quantum mechanical theory of memory. In: Conf. on Cybernetics, Trans. of the 6th Conf. 1949 (H. v. Foerster, ed.). New York: J. Macy Foundation, 209ff.
- von Holst, E., Mittelstaedt, H. (1950): Das Refferenzprinzip. *Naturwissenschaften* 37: 464–476.
- Quastler, H. (1953): Information theory in biology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 273ff.
- Walter, W. G. (1953): The living brain. London: Duckworth, 216ff.
- Zemanek, H. (1952): Kybernetik. *Radiotechnik* 28 (10): 461–464.
- Zemanek, H. (1961): Technische und kybernetische Modelle. In: Regelungsvorgänge in lebenden Wesen. VDE-Tagung, Essen, 1958 (H. Mittelstaedt, ed.). München: Oldenbourg, 32–50.
- Zemanek, H. (1962): Automaten und Denkprozesse. In: Digitale Informationswandlung (W. Hoffmann, ed.). Braunschweig: Vieweg, 1–62.
- Zemanek, H. (1964): Kybernetik. *Elektronische Rechenanlagen* 6 (5): 169–177.
- Zemanek, H. (1966): Die Kybernetik als interakultative Formalwissenschaft. Tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1966.

Spiele, Schach

- Bates, M. Audrey (1953): Digital computers applied to games. In: Faster than thought (B. V. Bowden, ed.). London: Pitman & Sons. Reprinted 1966, 286–310, 416ff.
- Levy, D., Newborn, M. (1982): All about chess and computers. New York: Springer, 146ff.
- Prinz, D. G. (1952): Robot chess. *Research* 6: 261–266.
- Samuel, A. L. (1956): Making a computer play draughts. *Proc. IRE* 103, Pt B Suppl. 3: 452–453.

- Samuel, A. L. (1960): Programming computers to play games. *Advances of computers*, Vol. I (F. Alt, ed.). New York: Academic Press, 165–192.
- Shannon, C. E. (1950): Programming a computer for playing chess. *Phil. Mag.* 7 (41): 256–257.
- Sonntag, H. (1957): Relaisprogrammierung für ein einfaches Spiel. Staatsprüfungsarbeit, TH Wien, 52ff.
- Torres y Quevedo, G. (1953a): Les travaux de l'école espagnole sur l'automatisme. In: Les machines à calculer la pensée humaine. Colloques intern. Centre Nat. de la Recherche Sci., Paris, 1951. CNRS Paris, 361–381.
- Torres y Quevedo, G. (1953b): Présentation des appareils de Leonardo Torres y Quevedo. In: Les machines à calculer la pensée humaine. Colloques intern. Centre Nat. de la Recherche Sci., Paris, 1951. CNRS Paris, 383–406.
- von Kempelen, W. (1791): Mechanismus der menschlichen Sprache nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine. Wien: V. Degen, 456ff. (Neudruck: Stuttgart/Bad Cannstadt: S. F. Frommann Verlag (G. Holzboog) 1970, XLV, 456ff.
- Windisch, K. G. (1783): Briefe über den Schachspieler des Herrn von Kempelen.

Lernende Automaten

- Billing, H. (Hrsg.) (1961): Lernende Automaten. Fachtagung der NTG, Karlsruhe, 1961. München: Oldenbourg, 240ff.
- Kudielka, V., Lucas, P. (1961): Lernprogramme am Mailüfterl. In: Lernende Automaten (H. Billing, Hrsg.). Fachtagung in Karlsruhe, 1961. München: Oldenbourg, 125–143.
- Rosenblatt, F. (1958): The perceptron, a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychol. Rev.* 65: 386–407.
- Samuel, A. L. (1959): Some studies in machine learning. *IBM J R & D* 3 (3): 210–229.
- Steinbuch, K. (1961): Die Lernmatrix – Kybernetik 1: 36–45.
- Zemanek, H. (1962): Lernende Automaten. In: Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung (K. Steinbuch, Hrsg.). Berlin: Springer, 1418–1480; 2. Aufl. 1967, 1383–1450.

Artificial Intelligence

- Ashby, W. R. (1956): The computer as an intelligence amplifier. In: Automata studies (C. E. Shannon, J. McCarthy, eds.). Princeton Univ. Press, 256ff.
- Dreyfus, H. (1972): What computers can't do. New York: Harper & Row.
- McCulloch, W. S. (1965): Embodiments of mind. (Sammlung seiner wichtigsten Arbeiten). Cambridge, Mass. MIT Press, 402ff.
- Minsky, M. (1954): Neural nets and the brain model problem. PhD dissertation, Princeton Univ., unpubl.; bzw. Minsky, M. (1985): The society of mind. New York: Simon & Schuster, 339ff.
- Newell, A., Shaw, J. C., Simon, H. A. (1959): Report on a general problem solving machine. In: Information processing. Proc. of the ICIP, Paris, 1959. Paris: UNESCO, 256–264.
- Zemanek, H. (1964): Über künstliche Intelligenz. *Der Nervenarzt* 35 (1): 5–11.

Literarisches

- Butler, S. (1928): Erewhon. Over the range. Deutsche Übers.: Butler, S. (1928): Das Land jenseits der Berge. Wien: Phaidon bzw. Butler, S. (1985): Erewhon. Frankfurt: Goldmann, 372ff.
- Čapek, Karel (1922): R.U.R. (Rossum's Universal Robots)/W.U.R. (Werstands Universal Robots). Prag Leipzig: Orbis.
- de Lamettrie, J. O. (1748): L'homme machine. Paris.
- Swift, J. (1954): Gullivers Reisen – Dritte Reise. Wien Berlin Stuttgart: P. Neff Verlag.
- Vartanian, A. (ed.) (1960): La Mettrie's L'homme machine. Princeton, New Jersey: Princeton Univ. Press, 264ff.

Zum Computer

- Zemanek, H. (1991): Weltmacht Computer – Weltreich der Information. Esslingen München: Bechtle, 527ff. ■