

Technik, Assistenzsysteme und der Mensch

Kevin Liggieri

»What fires together, wires together«

Technikanthropologische Überlegungen zur Verbindung von Kognition und Plastizität

1. »Wir sollten sehr ängstlich sein«

Der britische Informatiker und jetzt auch Nobelpreisträger Geoffrey Hinton, der gern betitelte »Godfather of A.I.«, bekundete 2023 nach seinem Ausstieg von Google eine Angst vor seiner eigenen Schöpfung. Sein Leben lang hatte er, wie der *New Yorker* medienwirksam formuliert, Computern lernen beigebracht und nun sah er, dass die KI mehr leisten konnte als menschliche Gehirne. Im Interview mit dem *Spiegel* warnt Hinton daher davor, dass nun die »Auslöschung der Menschheit« bevorstehen könnte und wir »sehr ängstlich« sein sollten.¹ Hier spielen anthropozentrische Ängste mit hinein, bei denen die Maschinen nicht nur stärker und schneller, sondern intelligenter sind als wir. Unsere Denk- und Hirnleistungen werden von der KI nicht mehr nur simuliert, sondern vielmehr übertroffen. Gegenwärtige Modelle künstlicher neuronaler Netze und Large Language Models haben zwar anthropologische Vorstellungen von Kognition als Ausgangspunkt, zielen aber über den Menschen hinaus. Die technische Simulation von Denkleistungen (miss)braucht »den« Menschen damit nur als Sprungbrett.

1 Joshua Rothman, Why the Godfather of A.I. Fears What He's Built, in: The New Yorker, November 13, 2023, <https://www.newyorker.com/magazine/2023/11/20/geoffrey-hinton-profile-ai> (letzter Aufruf: 15.04.2025); Simon Book, »Wir sollten sehr ängstlich sein«, in: DER SPIEGEL 38/2024, <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/ki-erfinder-geoffrey-hinton-ultimativ-droht-die-ausloeschung-der-menschheit-a-b4eebf6a-d10c-4f7d-8994-cl45dae6f9c7> (letzter Aufruf: 15.04.2025). Die vorliegende Forschung ist im Rahmen des DFG-Projekts »Kokonstruktionen von Lernen und Technik. Zum Wandel von »Lernsubjekten« im 20. Jahrhundert«, Projektnummer 492533313 entstanden.

Lange vor seiner cyberapokalyptischen Dystopie war der erwähnte Nobelpreisträger Hinton dafür bekannt geworden, dass er seit den späten 1980er Jahren zusammen mit dem Psychologen David Rumelhart und dem Informatiker Ronald J. Williams den Backpropagation-Algorithmus für das Training mehrschichtiger neuronaler Netze entwickelte.² Das war zu der Zeit ein recht großer Wurf und machte, wie man schon in der Zusammenstellung des Personals aus Psycholog*innen, Techniker*innen und Physiolog*innen sieht, eine interdisziplinäre KI-Forschung salonfähig. Wie aber kam der »Pate der KI« auf die Vorstellung neuronaler Netze? Wie kam überhaupt die Idee auf, dass sich Lernen plastisch im Gehirn verankern könnte? Was sind die epistemologischen und auch technikanthropologischen Grundlagen dieser epochalen Idee von KI? Oder die grundlegende Frage: Wie wurden Plastizität und Informationstheorie verbunden?

Doch beginnen wir erst einmal mit einer Kehrtwende in Hintons Lebenslauf: Nach seinem BA-Abschluss in Cambridge 1970 kehrte Hinton der Akademie den Rücken und wurde Schreiner in London. »Es war keine ausgefallene Tischlerei«, wie Hinton betonte, vielmehr »war es eine Tischlerei, mit der man seinen Lebensunterhalt verdienen konnte.«³ Abseits universitärer Forschung las Hinton im gleichen Jahr eher zufällig das Buch »The Organization of Behavior« (1949) des kanadischen Psychobiologen Donald O. Hebb. Hebb erklärte hier den grundlegenden biologischen Prozess, der das Lernen im Gehirn ermöglichte. Hebb glaubte, dass Lernen das Ergebnis winziger elektrischer Signale war, die entlang einer Reihe von Neuronen abgefeuert wurden und eine physikalische Veränderung bewirkten, die diese Neuronen auf eine neue Art und Weise miteinander, wie er es technizistisch nannte, »verdrahteten«. Hebb's neurophysiologisches Postulat: »Neuronen, die zusammen feuern, sind miteinander verdrahtet.« Oder pointiert: »What fires together, wires together«.⁴

2 David E. Rumelhart, Geoffrey E. Hinton, Ronald J. Williams: Learning representations by back-propagating errors, in: *Nature* 323 (1986), 533–536.

3 Cade Metz, *Genius Makers. The Mavericks Who Brought A.I. to Google, Facebook, and the World*, New York 2022, 38.

4 Donald O. Hebb, *Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*, New York 1949, xix.

Diese knackige Theorie sprach Hinton an. Jeden Samstag nahm er nun sein Notizbuch mit in die Bibliothek in Islington, Nordlondon, und verbrachte den ganzen Vormittag damit, die Seiten mit seinen eigenen Theorien über die Funktionsweise des Gehirns zu füllen. Diese samstäglichem Kritzeleien waren für niemanden außer für Hinton selbst bestimmt, führten ihn aber schließlich zurück in die akademische Welt. Sie fielen mit der ersten großen Investitionswelle der britischen Regierung im Bereich der künstlichen Intelligenz und dem Aufkommen eines Graduiertenprogramms an der Universität von Edinburgh zusammen, an der Hinton dann 1978 in Artificial Intelligence promovierte.⁵

Als Hinton in den 1970er Jahren auf Hebb's Buch von 1949 aufmerksam wurde, war dieses schon zum klassischen Begründungstext moderner Neurowissenschaften avanciert – von vielen Forscher*innen sogar als zweitwichtigstes Buch in der Biologiegeschichte betitelt – nach Darwins »Entstehung der Arten«. ⁶ Diese überaus euphorische Zuschreibung lag nicht minder daran, dass Hebb einer der Ersten war, der überhaupt eine belastbare Theorie vorlegen konnte, wie das Gehirn durch das Verbinden von Neuronen arbeitete.⁷

Die drei Hauptideen in »The Organization of Behavior« waren die »Hebb-Synapse«, die Zellanordnung und die Phasenfolge. Ein wichtiges Konzept, das diesen Ideen zugrunde lag, war ein autonomer, innerer Kreislauf im Gehirn.⁸

Die Regel, die der Psychobiologe Hebb aufstellte, lautete dabei: Je häufiger ein Neuron A gleichzeitig mit Neuron B aktiv ist, umso bevorzugter werden die beiden Neuronen aufeinander reagieren. Diesen neuronalen Konnektivismus vermuteten zwar 40 Jahre zuvor bereits der Physiologe Edward Lee Thorndike⁹ oder Ivan Pavlov, Hebb

5 Metz, *Genius Makers*, 38 (wie Anm.3).

6 *Andreas Killen*, *Nervous systems: Brain science in the early Cold War*, New York 2023.

7 *Dr. Mortimer Mishkin* Oral History 2001 A, 6, <https://history.nih.gov/display/history/Mishkin%2C+Mortimer+2001+A> (letzter Aufruf: 15.04.2025).

8 Zwei Aspekte, die Hebb nicht in seiner Theorie mit aufnahm, bzw. nicht als wichtig ansah, waren ein Konzept der Hemmung, welches das Synapsenstärke- und -wachstum reguliert sowie die Idee von chemischen Neurotransmittern.

9 *Kevin Liggieri*, *Anthropotechniken des Lernens. Optimierungen zwischen Experiment und Übung bei Edward Lee Thorndike*, in: *Historische Anthropologie* 3 (2023), 465–480.

jedoch konnte durch seine physiologischen Untersuchungen an tierischen Gehirnen hiermit eine wirkmächtige Lerntheorie begründen und Theorieangebote für die Technikwissenschaften bereitstellen.¹⁰ Insbesondere das Hopfield-Netz für künstlich neuronale Netzwerke von 1982 (das war der zweite Nobelpreisträger 2024: John Hopfield), bei dem das Hebb'sche Schema mathematisch implementiert wurde, stellte ein paradigmatisches Modell für spätere KI-Entwicklungen dar.¹¹ Heutzutage bildet die Hebb'sche Regel in der Regel den Ausgangspunkt, wenn man sich mit (bio-inspirierten) neuronalen Netzen und der damit verbundenen Modellierung beschäftigt.¹² Im Bereich des Maschinellen Lernens wird die kontextbasierte Verarbeitung durch und mit Hebb bis heute als Konditionierung bezeichnet. Konditionierungen können aber nur stattfinden und ergeben auch nur in diesem Kontext Sinn, wenn die Forschung nach Hebb von einer synaptischen Plastizität bzw. einer kortikalen Plastizität ausgeht. Kognitive Prozesse müssen sichtbar, messbar und, weil auf Materialität rückführbar, auch versteh- und gestaltbar sein.

Hebbs Forschung und auch seinen Einfluss muss man also im Kontext einer Debatte um die Plastizität des Gehirns und der kybernetischen Elektronengehirne, den sogenannten »denkende Maschinen« um 1950 einordnen. Neben der oben bereits erwähnten Metaphorik einer neuronalen Verdrahtung (»wire«) wird in der Hebb'schen Übersetzung von organisistischer Ganzheit in ein technikaffines Systemdenken ebenfalls deutlich, dass sich die psychologische Perspektive einem neuen Paradigma der 1940 und 1950er Jahre anbot. Die Universalsteuerungswissenschaft »Kybernetik«¹³ steckte nach ersten Gehversuchen am Ende des 2. Weltkrieges zwar noch

10 Richard E. Brown, Donald O. Hebb and the Organization of Behavior: 17 years in the writing, in: *Molecular Brain* 13 (2020), doi: 10.1186/s13041-020-00567-8. PMID: 32252813; PMCID: PMC7137474.

11 John J. Hopfield, Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 8 (1982), 2554–2558.

12 Vgl. Brown, Donald O. Hebb an the Organization of Behavior (wie Anm. 10), 23; zur Verbindung von Biologie und Technik Marco Tamborini, *Biorobotik. Zur Einführung*, Hamburg 2024.

13 Kevin Liggieri, Der Mensch als »logische Maschine«? Die Kybernetik und ihre Probleme, in: *Mensch sein – Fundament, Imperativ, Floskel*, hrsg. v. Andreas Oberprantacher/Anne Siegetsleitner, Innsbruck 2017, 561–571.

in den Kinderschuhen, aber die ersten interdisziplinären Macy Konferenzen (1946–1953)¹⁴ sowie das erste Hixon-Symposium zum Thema »Cerebral Mechanisms and Behavior« (1948) brachten schon öffentlichkeitswirksam Förderer, Theorien und Denker*innen wie den Lehrer Hebb, Karl S. Lashley, den berühmten Affenforscher und Gestalttheoretiker Wolfgang Köhler, den spanischen Neurowissenschaftler Raphael Lorente de No, sowie führende Technikwissenschaftler*innen wie Warren McCulloch, John von Neumann oder Claude Shannon zusammen. Hier wurde der Boden für eine technikkaffine interdisziplinäre Forschung geebnet, in deren Mittelpunkt das lernende Gehirn stand.¹⁵

Wenig überraschend scheint daher, dass ein Teil von Hebb's Erfolg bei der Verbreitung seiner Ideen, wie noch genauer zu zeigen sein wird, darin bestand, dass er die Interdependenz von psychologischen und physiologischen Konzepten erkannte. So wurde ein praktikables Mittel für die interdisziplinäre Kommunikation greifbar, um Forschungsfragen zum »Geist« neu stellen und beantworten zu können:

It is not necessary that the student of personality talk in neurological terms, but his terms should be translatable when necessary into neurology. Physiologizing is not a substitute for psychology but an aid to it.¹⁶

In der Analogisierung von biologischen, psychologischen und technischen Prozessen sollten universelle Gesetze fürs Lernen und Denken gefunden werden. Die Idee dahinter war: Die Maschine lernt in ihrer »neuronalen Plastizität« (denn darum ging es Hebb grundlegend), ob nun überwacht, frei oder verstärkend, nach einem be-

14 Vgl. *Claus Pias* (Hrsg.), *Cybernetics | Kybernetik. The Macy-Conferences 1946–1953*, 2 Bde., Zürich 2003.

15 Vgl. *Killen*, *Nervous systems* 129–130 (wie Anm. 6); *Eric Oosenburg*, *Building a »Cross-Roads Discipline«* at McGill University: A History of Early Experimental Psychology in Postwar Canada, Dissertation October 2020, <https://yorkspace.library.yorku.ca/items/94d7b457-0d58-4e16-9bfc-f6d130686ec5>; *Frank W. Stahnisch* (Hrsg.), *Émigré Psychiatrists, Psychologists, and Cognitive Scientists in North America since the Second World War*, MPI-Preprint, Berlin 2018; hier besonders *Vincent von Hoeckendorf*, *On the Influence of German-Speaking Émigrés on the Emergence of Cognitive Science as a New Interdisciplinary Field*, 142–143.

16 *Donald O. Hebb*, *The role of neurological ideas in psychology*, in: *Journal of Personality* 20 (1951), 39–55, 53.

stimmten Modell der Konditionierung, das sich ab den 1910er Jahren im psychobiologischen Feld etabliert hatte.¹⁷ Ausgehend von Hebb hatten die Forscher*innen und auch Konstrukteur*innen, wie am Beispiel des IBM-Informatikers Nathaniel Rochester gezeigt werden soll, in der Verbindung von Plastizität und Konditionierung, von Materialität und Denken ein Konzept zur Hand, mit dem man innere (kognitive) Prozesse auf technischer Basis simulieren, kontrollieren und vorhersagen konnte.

Im Folgenden soll nun untersucht werden, wie Hebb als Geburtshelfer der Kognitionswissenschaften mit seinen Experimenten und Argumenten gleichzeitig neue Maßstäbe setzte, was »Denken« und »Lernen« in Verbindung zur Maschine sein sollte. Gleichzeitig blieb Hebb allerdings, wie im ersten Schritt herausgearbeitet werden soll, in seiner Forschung von einer holistischen Gestalttheorie beeinflusst, da diese einen Ausweg aus den starren behavioristischen Konzepten lieferte. Im zweiten Schritt soll gezeigt werden, wie in den 1950er Jahren die Vorstellung von materieller Denkleistung und damit der Operationalisierbarkeit und Technisierbarkeit von Kognition Eingang in die Entwicklung maschineller Systeme fand. Ohne Hebb's Forschungsimpuls wäre, so die vorliegende These, eine KI-Forschung, wie wir sie heute kennen, nicht denkbar.

Im Gegensatz zu den zeitgenössischen amerikanischen Kognitivisten, wie George A. Miller und Herbert A. Simon, machte Hebb nämlich eine produktive intermediäre Position stark. Diese kann man mit dem Historiker Kline als das »kybernetische Moment« um 1950 verstehen.¹⁸ Während Miller und Simon beispielsweise die Funktionsweise des Geistes abstrahierten (als Algorithmen)¹⁹, verwendete Hebb konkrete Modelle (d. h. Zellverbände, »Cell-assemblies«), die sich explizit in die bestehende neurophysiologische Wissenschaft integrieren ließen und so eine Brücke zu Technikwissenschaften mit ihren Schaltkreisen ermöglichten.

17 Kevin Liggieri/Marco Tamborini/Olivier Del Fabbro, *Technikphilosophie. Neue Perspektiven für das 21. Jahrhundert*, Darmstadt 2023, 109–127.

18 Ronald R. Kline, *The Cybernetics Moment. Or Why We Call Our Age the Information Age*, Baltimore 2015.

19 George A. Miller, The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, in: *Psychological Review* 63 (1956), 81–97; William Hirst (Hrsg.), *The making of cognitive science: Essays in honor of George A. Miller*, Cambridge 1988.

2. Die Organisation des Verhaltens: Zur Verbindung von Plastizität und Kognition

Um Hebb's Theorie zu verstehen, müssen wir erst einmal verstehen, wovon er sich Ende der 1940er Jahre abgrenzte.

In Abgrenzung zu damals wirkmächtigen neobehavioristischen Strömungen wollte Hebb einen neuen Blick auf kognitive Phänomene werfen.²⁰ Dabei bestand das Problem mit dem Behaviorismus nicht nur darin, dass diese Richtung einer Verhaltensforschung unvollständig oder falsch war, vielmehr war die reduktive Auffassung von menschlicher Motivation angesichts der dringenden Fragen, die das Zeitalter der Atombombe für die Zukunft der Menschheit aufwarf, sogar gefährlich. Dementsprechend hatte Hebb in seinem Psychologielabor an der McGill Universität in Kanada damit begonnen, aufbauend auf Pavlovs epochaler Studie über konditionierte Reflexe die allgemeine Psychologie des Hundes zu untersuchen. Seine Forschungen zeigten im Gegensatz zu Pavlovs Versuchen und dessen sehr einseitiger Rezeption in den USA, dass Futter und Sex nicht die »ganze Geschichte des Interesses eines Hundes« darstellten.²¹ Diese Erkenntnis ließ sich, Hebb zufolge, auch auf den Menschen übertragen. Das Grundproblem war nun kein ontologisches oder gar philosophisch-anthropologisches, sondern ein neurologisches: Die »Übervereinfachung« der alten behavioristischen Vorstellungen gehe, so Hebb, auf eine falsche Vorstellung vom Nervensystem zurück, nämlich dass es nur eine Ansammlung von Verbindungen sei, die so lange inaktiv blieben, bis etwas von außen sie zum Handeln anrege.²²

Hebb war diese Reiz-Reaktions-Kausalität zu simpel, da sie äußere Reize als einzig determinierenden Input zu stark fokussierte. Mit seiner Forschung wollte Hebb dagegen, wie er am 14.07.1950 an

20 Vgl. Kerry W. Buckley, *Mechanical Man. John Broadus Watson and the Beginnings of Behaviorism*, New York 1989; Wolfgang Mack u.a. (Hrsg.), *Behaviorismus und Erkenntnistheorie im psychologisch-historischen Kontext*, Frankfurt a.M. 2014.

21 Killen, *Nervous systems*, 129 (wie Anm. 6).

22 Ebd. Interessanterweise bezog Hebb die sich abzeichnende neue Auffassung nicht auf das EEG, sondern auf eine etwas frühere Erfindung, das Radio. Diese, so schrieb er, habe die Grundlage für eine »groß angelegte Revolution in der Psychologie« gelegt (Ebd.).

den Primatologen Robert Yerkes schreibt, eine Rückkehr zu einer eher »bodenständigen Psychologie« und daher den »subjektiven Faktor« wieder inkludieren.²³ Alles Subjektive war nämlich vom Behaviorismus in seinem Kampf gegen Introspektion und Metaphysik undifferenziert abgelehnt worden. Auch Hebb war kein Freund einer mystischen Selbstbefragung des Ichs für wissenschaftliche Zwecke, jedoch erkannte er, dass man das Subjektive neu fassen musste: quantitativ und neuronal. Es ging Hebb um ein Umdenken, einen Blick ins Innere des Gehirns – abseits äußerer Reize. Hebb sah im »Inneren«, wie er an den Psychologen Karl Zener schreibt²⁴, also eine klare Absage gegen alle Innerlichkeit. Empfindungen von »inner awareness« waren in Hebbs Augen nämlich »constructs; unconscious inferences, which may be sound inferences but which are not data. Hence, the subject-matter of psychology is not behavior and experience, but behavior.«²⁵

Hebb bleibt mit seinem Fokus auf dem Subjektiven einer behavioristisch-materialistischen Matrix verhaftet, da er Innerlichkeit nicht metaphysisch denkt. Vielmehr ging es Hebb, wie schon seinem behavioristischen Mentor Karl S. Lashley um eine Objektivierung und Quantifizierung des Inneren – um eine Erhellung der Black Box »Bewußtsein« als Teil des Gehirns.²⁶ Das war ein Schritt, den der klassische Behaviorismus weder konnte noch wollte.²⁷ Durch diesen neuen Blick ins Innere, besser gesagt auf das Gehirn, sollten nun auch mentale Prozesse wie Absicht oder Wunsch berücksichtigt

23 Donald O. Hebb an Robert Yerkes, 14.07.1950, Robert Yerkes Papers, Yale University, MS 569, Box 25, Folder 450.

24 Donald O. Hebb an Karl Zener, 8.03.1961, Donald Hebb Fonds, McGill University, CA MUA MG1045, MS 0000-2364-01-49-1.

25 Ebd. Hervorhebung im Original.

26 Zu Lashley *Donald A. Dewsbury*, Constructing Representations of Karl Spencer Lashley, in: *Journal of History of the Behavioral Sciences* 38 (2002), 225–245; *Nadine Weidman*, Constructing Scientific Psychology. Karl Lashley's Mind-Brain Debates, Cambridge 1999.

27 Vgl. *John B. Watson*, Psychology as the behaviorist views it, in: *Psychological Review* 20 (1913), 158–177, als Kritik daran *Karl S. Lashley*, The behavioristic interpretation of consciousness II, in: *Psychological Review* 30 (1923), 329–353.

werden.²⁸ Dafür musste man das innere Geistige aber als Teil des Körpers und damit plastisch denken.²⁹

Hebb orientiert sich in seiner Abgrenzung vom reduktionistischen Behaviorismus unter anderem an zwei interessanterweise eher deutschsprachigen Forschungstraditionen: Der Neurologie und der Ganzheits-Psychologie:

Bei der Neurologie war der Jenenser Mediziner Hans Berger Anregungspunkt.³⁰ Berger stellte bereits 1929 heraus, dass das Gehirn eine kontinuierliche elektrische Aktivität aufweist.³¹ Einfache Gleichungen konnten so nicht länger als realistische Darstellung der Reiz-Reaktion-Beziehung in lebendigen Organismen betrachtet werden, vielmehr musste die Eigenaktivität des Gehirns berücksichtigt werden. Hebb nahm neben Berger besonders die ganzheits- und gestalttheoretischen Ansätze von Wolfgang Köhler und über seinen Lehrer Lashley vermittelt die Ideen des Neurologen Kurt Goldstein auf.³² In der Verbindung von Gestalttheorie und Behaviorismus erkannte Hebb Lösungsansätze, das Gehirn materialistisch-plastisch, aber doch als Ganzes zu begreifen. Die Gestalttheorie ging beispiels-

28 Man könnte hier den einflussreichen Psychologen Edward Tolman als Lernforscher nennen, der den Weg für diesen Gedanken ebnete, vgl. *David W. Carroll*, *Purpose and cognition: Edward Tolman and the transformation of American psychology*, Cambridge 2017, 187.

29 Vgl. *David Bates*, *Automaticity, Plasticity, and the Deviant Origins of Artificial Intelligence*, in: *Plasticity and Pathology: On the Formation of the Neural Subject*, hrsg. v. David Bates/Nima Bassiri, New York, 194–218; *David Bates*, *An Artificial History of Natural Intelligence Thinking with Machines from Descartes to the Digital Age*, Cambridge 2024.

30 *Hans Berger*, *Über das Elektrenkephalogramm des Menschen*, in: *Archiv Für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 87 (1929), 527–570. Dazu *Cornelius Borck*, *Hirnströme. Eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie*, Göttingen 2005, 23–83.

31 Hebbs Ideen über synaptische Aktivität basierten, auch vermittelt durch Berger, auf elektrischen Verbindungen zwischen Zellen, auch wenn er dies nicht ausdrücklich erwähnt. Dabei nahm Hebb die Debatten zwischen Kritiker*innen und Anhänger*innen einer eklektischen bzw. chemischen neuronalen Vermittlung scheinbar nicht wirklich zu Kenntnis, oder benannte diese Debatte zumindest nicht explizit (vgl. *Brown*, Donald O. *Hebb and the Organization of Behavior* (wie Anm. 10), 20–21).

32 Vgl. *Stefanos Geroulanos/Todd Meyers*, *Experimente im Individuum: Kurt Goldstein und die Frage des Organismus. Aus dem Amerikan. von Nils F. Schott und Holger Wölflé*, Köln 2014.

weise davon aus, dass der sensorische Input ein – möglicherweise elektrisches – Feld im Gehirn aufbaut (eine Art Vorablernen, Vorverstehen).³³ Die Form, die das Feld annimmt, hängt dabei nur vom Muster des Reizes ab, nicht aber von der spezifischen Lage der stimulierten Rezeptoren, so dass ähnliche Muster immer das gleiche Feld hervorrufen. Das Gehirn konnte also nicht mit einer Lokalisationstheorie einzelner Areale, sondern eben als ganzes System verstanden werden. Die Gestalttheorie konnte jedoch nicht erklären, wie das Erkennen des Feldes erworben wurde. Als diese Frage aufkam, lautete die zweifelsohne vage Antwort der Gestalttheorie, dass das Erkennen im Geist stattfand. Die konkurrierende behavioristische Denkschule hingegen konnte zwar das Lernen erklären, blieb jedoch recht ungenau bei der Frage, wie ein Muster, das auf verschiedene Rezeptoren fällt, die gleiche gelernte Erkenntnisstruktur hervorrufen konnte. Der Neobehaviorist Hull schlug beispielsweise vor, dass dies durch »afferente neuronale Interaktion« geschieht, erklärte aber auch nicht, wie dieser Prozess en détail funktionierte.³⁴

Hebb sah die Herausforderung darin, die phänomenale Welt der Psychologie (wie sie von Gestaltpsychologen wie Wertheimer, Koffka und Köhler betont wurde) mit der amerikanischen psychologischen Tradition des Verhaltens durch Verstärkung (wie sie von Neobehavioristen wie Clark Hull, B.F. Skinner, Kenneth W. Spence und in gewissem Maße John B. Watson betont wurde) zu versöhnen. Hebb bezeichnete diese beiden Gruppen als »Stimulus-Stimulus-Theoretiker« bzw. »Stimulus-Reaktions-Theoretiker.«³⁵ Das war natürlich taktisch überaus clever, da Hebbs Theorie so einen Ausweg aus den sich eigentlich feindlich gesinnten Lagern versprach. In der Aufnahme der neurologischen Forschungen der Psychologen Ernest Hilgard, Donald Marquis und des spanischen Neurowissenschaftlers

33 Vgl. dazu *Frank W. Stahnisch*, *A New Field in Mind – A History of Interdisciplinarity in the Early Brain Sciences* (Series: McGill-Queen's/Associated Medical Services Studies in the History of Medicine, Health, and Society, Vol. 52, ed. by J.T.H. Connor, Erika Dyck), Montreal 2020; *Mitchell G. Ash*, *Gestalt Psychology in German Culture. Holism and the Quest for Objectivity*, Cambridge 1995.

34 *Clark L. Hull*, The discrimination of stimulus configurations and the hypothesis of afferent neural interaction, in: *Psychological Review* 52 (1945), 133–142.

35 *Hebb*, The role of neurological ideas in psychology (wie Anm. 16); Kenneth W. Spence, Cognitive versus stimulus-response theories of learning, in: *Psychological Review* 3 (1950), 159.

Rafael Lorente de No³⁶ bestand Hebb's Lösung nun in einer Neuformulierung der allgemeinen Theorie der Psychologie. Sie sollte eine Naturwissenschaft werden (da waren sich alle Lager einig), die mit der Physiologie und Neurologie Hand in Hand ging. Damit verdeutlicht Hebb's Forschungsprogramm in den 1950er Jahren eine spezielle Art von Problemen, die durch die Synthese von biologischen und psychologischen Experimenten aufgeworfen wurden. Man konnte inneren Prozessen nicht einfach die Legitimität absprechen – denn sie wurden experimentell – wie auch immer das im Einzelnen aussah – fundiert. Gleichzeitig war eine nicht quantitative Theorie des Bewusstseins nicht mehr haltbar.

Hebb zerstörte behavioristische Ansätze nicht gänzlich, sondern verlagerte deren materialistische Prinzipien nach innen. Auch wenn Hebb eine reduktionistische Sichtweise auf das Gehirn ebenso ablehnte wie eine spiritualistische³⁷, bleibt doch die Grundannahme von Reiz und Reaktion erhalten. Nur sind es jetzt keine äußeren Reize, sondern innere Kreisläufe, die das Denken und Lernen bestimmen.³⁸ Dabei spielt, wie erwähnt, das Gehirn eine zentrale Rolle: Es wurde als plastisch verstanden und damit formbar wie der Körper.

Hebb geht in seinen Forschungen an Ratten, Hunden und Affen sowie mit Rückbezug auf Daten, die im 1. Weltkrieg an gehirnverehrten Soldaten erhoben wurden,³⁹ davon aus, dass

logischerweise die physiologischen und anatomischen Daten bei der Analyse der Gehirnfunktion Vorrang haben, aber Schlussfolgerungen,

36 Ernest R. Hilgard/Donald G. Marquis, *Conditioning and learning*, New York 1940; Rafael Lorente de No, *Synaptic stimulation of motoneurons as a local process*, in: *Journal of Neurophysiology* 1 (1938), 195–206; *Ders.*, *Analysis of the activity of the chains of internuncial neurons*, in: *Journal of Neurophysiology* 1 (1938), 207–244; *Ders.*, *Transmission of impulses through cranial motor nuclei*, in: *Journal of Neurophysiology* 2 (1939), 402–464; *Ders.*, *Cerebral cortex: architecture*, in: *Physiology of the nervous system*, hrsg. v. John Farquhar Fulton, 2nd ed. New York 1943, 274–301.

37 So kritisierte Hebb stark das Konzept von Introspektion oder metaphysischem Bewusstsein, vgl. Donald O. Hebb, *The problem of consciousness and introspection*, in: *Brain Mechanisms and Consciousness*, hrsg. v. Jean Francisque Delafresnaye, Oxford (UK) 1954, 402–421.

38 Donald O. Hebb, *A Textbook of Psychology*, 2nd edition, Philadelphia/London 1966, 56, 80.

39 Vgl. Wolfgang U. Eckart, *Medizin und Krieg, Deutschland 1914–1924*, Paderborn 2014, 170.

die allein aus diesen Daten gezogen werden, können falsch sein und durch die Erkenntnisse aus dem Verhalten korrigiert werden.⁴⁰

Die von Hebb vorgeschlagene experimentelle und interpretative Methode bestand darin, so viel wie möglich über die Funktionsweise von Teilen des Gehirns zu lernen (in erster Linie war das das Gebiet der Physiolog*innen) und das Verhalten so weit wie möglich mit diesem Wissen in Beziehung zu setzen (das war das Gebiet der Psycholog*innen). Dann sollte man sehen, welche weiteren Informationen über die Funktionsweise des gesamten Nervensystems aus der Diskrepanz zwischen (1) dem tatsächlichen Verhalten und (2) dem Verhalten, das aus der Addition dessen, was über die Wirkung der verschiedenen Teile bekannt ist, vorhergesagt würde, gewonnen werden könnten.⁴¹

Durch seine integrative Theorie (als Verbindung von Behaviorismus, Gestaltpsychologie, Kognitivismus) konnte Hebb zeigen, dass Gedanken zumindest im Prinzip eine ebenso solide physiologische Grundlage haben können wie Muskelbewegungen. Sie manifestieren sich im Gehirn als erlernte neuronale Aktivitätsmuster, die zunächst durch sensorische Eingangsreize erzeugt werden, dann aber durch interne dynamische Prozesse autonomen Status erlangen. Durch Wiederholung stabilisieren sich diese neuronalen Muster plastisch.

In Hebbs Vorstellung, was eine adäquate neurophysiologische Theorie leisten könnte, ging es ihm stets um die epistemische Frage nach der Funktion von Theorie.⁴² Die Theorie sollte Anregungen für eine große Anzahl andere Wissenschaften und Bereiche liefern und deswegen »flexibel« und anpassungsfähig an unterschiedliche Forschungsdaten sein.⁴³ In wissenschaftstheoretischer Nähe zu Norbert Wiener's zeitgleichen Universaldisziplin »Kybernetik«, die ganz

40 *Hebb*, *A Textbook of Psychology* (wie Anm. 38), 318.

41 *Hebb*, *Organization of Behavior* (wie Anm. 4), xv.

42 *Donald O. Hebb*, *Let Theory be your hunting permit*, Hopkins University Lecture, Fall of 1951, Donald Hebb Fonds, McGill University, CA MUA MG1045-C0008-0000-2364-01-070.

43 Ebd. Schon in diesen frühen Ausführungen versucht Hebb eine physiologische Theorie psychologischer Prozesse zu entwickeln, und übt scharfe Kritik an anthropomorphen Formulierungen wie der Geist »denkt«, »fühlt« oder »sieht« (ebd., 1).

konkret eine »new weapon« im 2. Weltkrieg sein wollte⁴⁴, sollte auch Hebbs Neuro-Theorie nicht nur einfach eine Deduktion von Beobachtungen sein, sondern immer auch Spekulation und Interpretation.⁴⁵ In diesem Sinne verstand Hebb seine Theorie als »new weapon«, mit der man wieder bei den Wahrnehmungs- und Kognitionsproblemen von 1910 ansetzen sollte, um diese Daten nun neu zu verstehen.⁴⁶

It is not a simple return, not just saying that recent psychology is wrong, they had the right dope in Leipzig & Würzburg & Cornell [Leipziger und Würzburger Schule der Gestaltpsychologie; Edward B. Titchener an der Cornell University, K.L.] – but saying, Let's see what heavier artillery will do to those positions that stopped us earlier.⁴⁷

Die »schwere Artillerie«, die Hebb hier vorschwebte, ging einher mit einer Quantifizierung und Technisierung, die die klassisch metaphysischen Konzepte vom »Ich«, »Bewusstsein« und »Ego« unter Dauerbeschuss stellte. Hebbs neues Systemdenken verband sich mit einer Neurologisierung und damit Materialisierung von Innerlichkeit, die ja, wie gezeigt wurde, gerade die Basis für Hebbs Lernregel (»What fires together, wires together«) bildete.

Wie konnte diese Idee ab den 1950er Jahren die Grundlage für künstlich-neuronale Netze bilden?

3. Kognition und Technizität: Die neuronalen Schaltkreise

Obwohl Hebb selbst wohl nie einen Computer verwendet oder gar programmiert hatte, um seine Hypothesen zu prüfen, wonach zufällig gebildete Nervennetze durch Selbstorganisation fähig werden, Informationen zu speichern und zugänglich zu machen, hatte er in-

44 Vgl. *Peter Galison*, *The Ontology of the Enemy: Norbert Wiener and the Cybernetic Vision*, in: *Critical Inquiry* 21 (1994), 228–266; *Philipp Aumann*, *Mode und Methode. Die Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland*, Göttingen 2009.

45 *Hebb*, *Let Theory be your hunting permit*, (wie Anm. 42), 22.

46 *Donald O. Hebb*, *University of London Lectures: II*, 29. April – 2. Mai. 1952, 2, *Donald Hebb Fonds*, McGill University, CA MUA MG1045-C0015-0000-2364-01-191.

47 Ebd. 2.

direkten aber auch ganz direkten Einfluss auf die Entwicklung technisch-neuronaler Netze, u.a. von Frank Rosenblatts »Perceptron« (1957),⁴⁸ einem elektronischen Lernmodell zum Verständnis von Wahrnehmungsvorgängen.

Noch direkter als in der Referenz von Rosenblatt gab seine Theorie den Anknüpfungspunkt für die Vorstellung und Konstruktion selbstlernender technischer Systeme. So nahm Mitte der 1950er Jahre der US-Informatiker Nathaniel Rochester mit Hebb Kontakt auf. In einem Brief vom 13. Januar 1954 schreibt Rochester, »I was deeply impressed when I read your book. From the point of view of a computer engineer, your theory seems to present a more workable model than most.«⁴⁹ Sein Team und er, so schreibt Rochester weiter, hatten versucht, eine Maschine zu konstruieren, die Hebb's Theorie von sich zu Zellverbänden organisierenden Synapsen simulieren könnte.

Es kam sogar zu einem Treffen, bei dem Rochester Hebb's Labor besuchte. »Was ich mit meinem Besuch bei Ihnen zu erreichen hoffe«, so Rochester im Nachgang,

waren zwei Dinge. Das erste war, dass Sie vielleicht in der Lage wären, uns darauf hinzuweisen, wenn wir in die Irre gegangen sind. Zweitens, dass die Arbeit, die wir geleistet haben, Ihnen vielleicht einige Informationen liefert, die Ihnen bei Ihrer Arbeit helfen könnten. Wenn es Experimente gäbe, die wir noch nicht ausprobiert haben und mit denen die Durchführbarkeit eines Ihrer Schemata getestet werden könnte, könnten wir sie für Sie ausprobieren.⁵⁰

Rochester will also auf der einen Seite Hebb's »workable model« zur Konstruktion technischer Lernsysteme verwenden und auf der anderen Seite selbst mit seiner Technologie neue Erkenntnisse für Hebb's Theorie liefern – diese sozusagen in der Simulation prüfen.

Zwar entwickelten Belmont Farley und Wesley Clark schon 1954 die erste bekannte Computersimulation des Nervensystems⁵¹, um

48 Frank Rosenblatt, *The Perceptron: A probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*, in: *Psychological Review* 65 (1958), 386–408, besonders 407. Sowie als sehr guter Überblick Margaret Boden, *Mind as Machine. A History of Cognitive Science*, Oxford (UK) 2006.

49 Nathaniel Rochester an Donald O. Hebb, 13.01.1954, Donald Hebb Fonds, McGill University, CA MUA MG1045-C0015-0000-2364-01-43.

50 Ebd. Übersetzung des Autors.

51 Belmont G. Farley/ Wesley A. Clark, *Simulation of self-organizing systems by digital computer*, in: *IRE Transactions on Information Theory* 4 (1954), 76–84.

die Eigenschaften miteinander verbundener Neuronen ähnlicher Elemente detailliert zu untersuchen, doch Rochesters Arbeit mit seinem Team in den IBM-Forschungslaboratorien in Poughkeepsie (NY) stellte den ersten konkreten Versuch dar, eine gut formulierte, detaillierte neuronale Theorie mit einer Computersimulation zu testen.⁵² Durch die Simulation wurde die Theorie Hebb's mit einem Male sehr konkret. Direkt im ersten Simulationsversuch zeigte sich nämlich durch ein Scheitern, dass man bestimmte Annahmen Hebb's ändern musste, damit sie in der Formalisierung des Computerprogrammes funktionierten.

Das Problem in der ersten Simulation des neuronalen Systems war also grundlegend, denn es zeigte sich keine Entwicklung von Zellverbänden – die Grundhypothese von Hebb ging nicht auf. Obwohl die Simulation zwar eine komplexe Aktivität als Reaktion auf Eingaben zeigte, kam es nicht zu einer von Hebb vorhergesagten Selbstorganisation von Zellverbänden. Auf der Grundlage eines Vorschlags von einem Mitarbeiter Hebb's, Peter Milner, nahmen die Techniker um Rochester daher zwei wesentliche Änderungen an der Theorie vor. Erstens wurde die Hemmung einbezogen. Das Argument war, dass ein Zellverband sich selbst erregt und ein aktiver Zellverband andere daran hindert, aktiv zu werden. Die Stärke der Synapsen konnte dabei von +1 bis – 1 reichen, statt nur von 0 bis +1.

Zweitens änderten die Techniker die Modellneuronen, da diese in der ersten Simulation unbegrenzt feuerten, wodurch das System kollabierte. Nun waren die Neuronen nicht mehr binär, sondern die Leistung wurde mit der Frequenz des Feuerns in Beziehung gesetzt, d.h. die durchschnittliche Frequenz der unmittelbar vorangegangenen Entladung wurde als Maß für die Aktivität des Neurons verwendet, und die Neuronenaktivität wurde abgestuft (von 0 bis 15). Die Hebb-Lernregel wurde so modifiziert, dass die Synapsenstärke zunahm, wenn die Frequenzen der prä- und postsynaptischen Aktivitäten korrelierten, und dass die Synapsenstärke abnahm, wenn eine Zelle feuerte und eine andere inaktiv war. Durch diese veränderten Modalitäten funktionierte die Simulation. Die Autoren bemerkten, dass sich Zellverbände zu bilden schienen, mit stimulie-

52 Nathaniel Rochester et al., Tests on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer, in: IRE Transactions on Information Theory 3 (1956), 80–93, wieder abgedruckt in: James A. Anderson/Edward Rosenfeld (Hrsg.), Neurocomputing: foundations of research, Cambridge 1988; 68–80.

renden Verbindungen zwischen den Mitgliedern eines Verbandes und hemmenden Verbindungen zwischen den Verbänden.

Diese sehr frühe Simulationsarbeit macht deutlich, wie stark die Forschung an neuronalen Netzwerken ab der Mitte des 20. Jahrhunderts von der Technologie bestimmt wurde. Die Technologie gab dabei nicht nur den Rahmen des Machbaren, sondern auch des Epistemischen vor. Mit dem Einsatz eines Computers änderten sich die Form und die Präzision der Annahmen und die Definitionen von Erfolg radikal. Bevor es den Computer gab, konnten Theorien vorgeschlagen, diskutiert und sogar analysiert, aber nicht wirklich getestet werden. Viele kleine Details, die man bis dahin gefahrlos ignorieren konnte, konnten, wie beim Versuch von Rochester deutlich, nun nicht mehr ignoriert werden. Wenn man die Theorie in die Maschine integrieren wollte, musste die Theorie maschinenlesbar, technisiert und formalisiert werden.⁵³ Der Erfolg oder Misserfolg hing davon ab, dass die Details ebenso richtig waren wie die Gesamtstruktur. Ganz deutlich formulierte Rochester und sein Team im letzten Satz ihres Artikels:

Diese Art von Untersuchung kann nicht beweisen, wie das Gehirn funktioniert. Sie kann jedoch zeigen, dass einige Modelle nicht funktionieren, und Hinweise darauf geben, wie die Modelle überarbeitet werden können, damit sie funktionieren. Die Gehirntheorie ist inzwischen so weit fortgeschritten, dass es kein elementares Problem mehr ist, festzustellen, ob ein Modell funktioniert oder nicht. Wenn dann ein brauchbares Modell erreicht ist, kann es sein, dass ein endgültiges Experiment entwickelt werden kann, um zu testen, ob das brauchbare Modell einem Detail des Gehirns entspricht oder nicht.⁵⁴

In der Forschung müssen damit auch die Konzepte, wie das neuronale Lernen, zu informationsverarbeitenden Prozessen werden.

Auf Grundlage der Lektüre von Hebb sowie des Besuches in dessen Labor 1954⁵⁵ leitete Rochester dann ab 1955 bei IBM Research

53 Vgl. zum Problem einer Formalisierung vom Anthropologischen Kevin Liggieri, Die Quantifizierung des Menschen, in: Jahrbuch für interdisziplinäre Anthropologie 9 (2024), 3–40; 85–107.

54 Rochester *et al.*, Tests on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer (wie Anm. 52), 88, Übersetzung des Autors.

55 Vgl. Rochester an Hebb, 12.02.1954, Donald Hebb Fonds, McGill University, CA MUA MG1045-C0015-0000-2364-01-43. Der Brief folgte nach einer Einladung Hebbs in ein Seminar. So war Hebb zwar auch an Rochesters Arbeit interessiert,

eine einflussreiche Gruppe, die sich mit Schaltkreistheorien und verschiedenen Themen Künstlicher Intelligenz befasste, wie Neuronale Netzwerke (die er mit seinem Team auf dem IBM 701 und 704 simulierte), Mustererkennung, Automatische Beweissysteme (Herbert Gelernter) und Spielprogramme (Arthur Samuel und sein Dame Programm, Alex Bernsteins Schachprogramm). Mit Rochesters Unterstützung konnten der Informatiker John McCarthy (der den Sommer über bei IBM geforscht hatte) und Marvin Minsky 1956 die berühmte Dartmouth Conference für Künstliche Intelligenz durchführen und den Terminus der KI wirkmächtig setzen.⁵⁶

In den 1950er Jahren trat die Welt und die Wissenschaften, so kann man konstatieren, in das Zeitalter der Computersimulation ein.⁵⁷ Wenn jemand wie Hebb eine Lernregel oder eine Theorie zur Organisation des Gehirns vorschlug, war es nun möglich diese ohne Tier- und Menschenversuche zu testen. Das war nicht nur epistemisch, sondern auch ökonomisch interessant. Denn wo es bei »echten« Experimenten in den Neurowissenschaften oder der Psychologie meist eine große Anzahl toter Tiere oder zumindest erschöpfte und kostspieliger Probanden gab, gab es bei fehlgeschlagenen Simulationen lediglich eine Rechnung für CPU-Kosten.

Durch die Simulationsexperimente geriet Hebb zum psycho-biologischen Stichwortgeber für technische Entwicklungen. Er war ein zentraler Referenzpunkt für die KI-Argumentation, dass Denken sich quantifizieren lässt – ob in Gehirnen oder Schaltkreisen.

hatte aber, wie er schreibt, keine Zeit sich in diese technischen Dinge einzuarbeiten und verweist eher auf seine jüngeren Mitarbeiter (gemeint war wohl Peter Milner) (vgl. Brief Hebb an Rochester vom 27.01.1954).

56 Vgl. Rudolf Seising, Es denkt nicht! Die vergessenen Geschichten der KI, Frankfurt am Main 2021; Jonnie Penn, *Inventing intelligence: on the history of complex information processing and artificial intelligence in the United States in the mid-twentieth century*, PhD dissertation, University of Cambridge 2020; Stephen Cave/Kanta Dihal/Sarah Dillon (Hrsg.), *AI Narratives: A History of Imaginative Thinking about Intelligent Machines*, Oxford 2020.

57 Gabriele Gramelsberger, *Computerexperimente. Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers*, Bielefeld 2013.

4. Fazit: »I do not want the book«

Der Jesuitenpater Louis I. Bannan schrieb an den Advertising Manager George H. Lovitt vom Verlag John Wiley & Sons, Inc. im July 1950, als Reaktion auf Hebb's Buch: »Ich will dieses Buch nicht!« Der Verlag hätte »Organization of Behavior« garnicht erst veröffentlichen dürfen, weil es nicht nur »unwissenschaftlich«, sondern sogar gefährlich sei. »Logical conclusions of such a text«, so der Jesuitenpater, »would undermine the Christian culture of our youth and cultivate a crass form of anti-democratic regimentation.« Was genau war nun so anti-christlich und anti-demokratisch? Für Bannan hatte

the dignity of the human person [...] no meaning in such a system of thought, [...]. Neither is there any allowance for such a reality as moral right and wrong. If Dr. Hebb is to direct thought of our students, we can expect nothing better from them than what the crass laws of the jungle would dictate.⁵⁸

Mit dieser anthropozentrischen Kritik stand der Pater allerdings recht allein da, wie der Verlag an Hebb schrieb. Denn Hebb hatte, davon zeugten die anderen Kritiken, einen »Winner« geschrieben.⁵⁹ Dennoch hatte der Jesuitenpater vielleicht nicht gänzlich unrecht, da sich das Kräfteverhältnis mit und durch Hebb's Buch verschoben hatte. Die Kluft zwischen europäischen Gestalttheoretiker*innen und US-amerikanischen Behaviorist*innen war ebenso kleiner geworden wie die zwischen Physiolog*innen/Psycholog*innen und Ingenieurwissenschaftler*innen/Informatiker*innen. Ganzheit sowie Innerlichkeit konnte nun nicht nur im Gehirn, sondern auch in technischen Systemen materialisiert werden. Damit war ein langanhaltender und grundlegender Streitpunkt psychologischer und phy-

58 Louis I. Bannan an Manager George H. Lovitt (John Wiley & Sons, Inc), kein Datum, ca. Juli 1950, Donald Hebb Fonds, McGill University, CA MUA MG1045-C0015-0000-2364-01-195. Diesen Brief als Rezension und Kommentar leitete George H. Lovitt an Hebb weiter am 17.01.1951.

59 George H. Lovitt an Donald O. Hebb, 17.01.1951, Donald Hebb Fonds, McGill University, CA MUA MG1045-C0015-0000-2364-01-195.

siologischer Forschung vor 1950 teilweise aus der Welt geschafft, bzw. war nun vermeintlich nur noch ein Übersetzungsproblem.⁶⁰

Ein nicht unerheblicher Teil von Hebb's Erfolg bei der Verbreitung seiner Ideen bestand, wie gezeigt werden konnte, darin, dass er die Interdependenz von psychologischen und physiologischen Konzepten erkannte und propagierte. Mit und durch Hebb kommt es zu einer starken disziplinären Kommunikation für die Weiterentwicklung bestimmter Fragen des Geistes:

Es ist nicht notwendig«, so fasst Hebb zusammen, »dass der Psychologe in neurologischen Begriffen spricht, aber seine Begriffe sollten in der Lage sein, in die Neurologie übersetzt zu werden, wenn es nötig ist. Die Physiologisierung ist kein Ersatz für die Psychologie, sondern eine Hilfe für sie.⁶¹

Damit korrelieren für Hebb mentale Prozesse und neuronale Funktionen »perfekt«, so dass »das eine vollständig durch das andere verursacht wird.«⁶² Plastizität und Denken verbinden sich nicht nur, das wäre auch nicht sonderlich neu, sondern sind nun technisch simulierbar. In den Dialog von Biologie und Psychologie können mit und durch Hebb jetzt auch die Technikwissenschaften einsteigen. Sie werden, wie man bei den Hixon-, Macy- und Dartmouth Konferenzen sieht, in den 1950er Jahren zu Gesprächspartnern auf Augenhöhe, die Anregungen liefern und Konzepte übernehmen. Im interdisziplinären Diskurs wurde Verhalten das Problem einer Aktivität des Nervensystems und das Nervensystem ein technisches, elektrisches, informationsverarbeitendes System.

60 Vgl. zu diesem Übersetzungsproblem den aufschlussreichen Briefwechsel Donald O. Hebb und Jerome Bruner (1957), Donald Hebb Fonds, McGill University, CA MUA MG1045-C0015-0000-2364-01-11.

61 *Hebb*, The role of neurological ideas in psychology (wie Anm. 16), 53, Übersetzung vom Autor.

62 *Hebb*, Organization of Behavior (wie Anm. 4) xiii.

