



Bodo Krause

Der Einfluss der Kybernetik auf die psychologische Forschungsmethodik¹

1. Vorbemerkungen

Der Einfluss der Kybernetik auf die Psychologie ist im deutschsprachigen Bereich unmittelbar und direkt mit Friedhart Klix (1927-2004) verbunden. Seine Begeisterung für einen systemischen und interdisziplinären Zugang prägte sein Wirken und fand ihren Ausdruck in dem allgemeinpsychologischen Standardwerk „Information und Verhalten“ (1971). In der Laudatio anlässlich der Verleihung des Wiener Schmidt-Preises 2002 an Friedhart Klix kennzeichnet Werner Krause dies mit den Worten: „Es bedurfte großer wissenschaftsorganisatorischer Anstrengungen, um die Kybernetikforschung in unserem Land zu installieren. ... Friedhart Klix hat sich mit aller Kraft dafür eingesetzt, diese durch die Kybernetik getragene Forschung mit aufzubauen“ (Krause, W., 2004, S. 114).

Den Weg dahin kennzeichnet Heinz Liebscher (2007), indem er die Kommission für Kybernetik an der DAW in ihrer Entstehung und Wirksamkeit beschreibt. „Unter maßgeblichem Einfluss von Georg Klaus“ (S. 113) wurde diese im Februar 1961 berufen. Zu den nachfolgenden Aktivitäten gehörte auch das Symposium „Psychologie und Kybernetik“ im Januar 1962 in Jena, das unter Leitung von Friedhart Klix einen Überblick über kybernetisch-mathematische Methoden in der Psychologie gab. Liebscher führt weiter aus (S. 121) „Eine Dokumentation zu diesem Symposium gab es m.W. nicht. Prof. Dr. Friedhart Klix wurde kurze Zeit später Direktor des Instituts für Psychologie der Humboldt-Universität Berlin. Er war nicht nur energischer Streiter für die Kybernetik, sondern ich lernte ihn auch als einen begeisterten Anhänger der philosophischen Ideen von Georg Klaus kennen und schätzen.“

Rainer Thiel (2004) beschreibt dann die weitere Entwicklung zur Gründung der Kybernetik-Kommission des Forschungsrats der DDR, die maßgeblich von Friedhart Klix initiiert wurde und auch zur Bildung des Forschungsbereichs „Mathematik-Kybernetik-Rechentechnik“ und der Gründung des „Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse“ mit einem Bereich Psychologie an der ADW führte. Dieser Bereich Psychologie wirkte in enger Zusammenarbeit mit der Forschergruppe „Psychophysik und Kybernetik“ am Institut für Psychologie der HU Berlin unter der gemeinsamen Leitung durch Friedhart Klix.

2. Ausgangspunkte

Einen ersten Ausgangspunkt zum Thema setzt Klix (1970), wenn er feststellt, dass „kybernetische Forschungsansätze dazu (beitragen), tiefliegende Zusammenhänge zwischen technischen Systemen, biologischen und speziell neural gesteuerten Prozessen und geistigen Vorgängen wie dem Lernen oder Denken nachzuweisen.

Einen zweiten Ausgangspunkt formulierte Klix vor 10 Jahren (Klix, 2004), als er auf dem Kolloquium zum 90. Geburtstag von Georg Klaus formulierte: „Die Gestaltpsychologie, in deren Denkgleisen ich erzogen wurde, fußte in ihrem Hintergrund zwar auf auch auf dem Entropiesatz von Clausewitz und Boltzmann, aber doch auf einem stationären Boden. Die völlig andere Sicht von Wiener, Weaver, Shannon u.a. betrachtete die Entropie in Verbindung mit

¹ Beitrag auf der Tagung „Kybernetik, Informatik, Logik und Semiotik“ anlässlich des 100. Geburtstages von Georg Klaus, Berlin, 7. und 8. Dezember 2012

dem Verteilungsgesetz über Wahrscheinlichkeiten. ... Von diesem Ausgangspunkt aus eröffnete sich in Verbindung mit nachrichtentechnischen Erörterungen die von Wiener vorbereitete Einsicht, daß auch die Reiz-Erregungsübertragung im Nervensystem innerhalb und zwischen Organismen ihrem Wesen nach Informationsübertragung ist“ (S. 118).

In Verfolgung dieser Ausgangspunkte will ich versuchen, den Einfluss der Kybernetik auf die Entwicklung der psychologischen Forschungsmethodik nachzuzeichnen. Genauer werde ich an ausgewählten Beispielen zeigen, wie kybernetisches Denken die psychologische Forschungsmethodik (und damit den psychologischen Erkenntnisfortschritt) in ihrer Weiterentwicklung beeinflusst hat. Dazu präzisiere ich den Gegenstand der psychologischen Forschungsmethodik als eine Untersuchungseinheit, die sich

- a) aus der Ableitung und Begründung von Untersuchungshypothesen
- b) über die Planung gezielter Beobachtungen
- c) bis hin zur Auswertung und Interpretation der Beobachtungsdaten erstreckt.

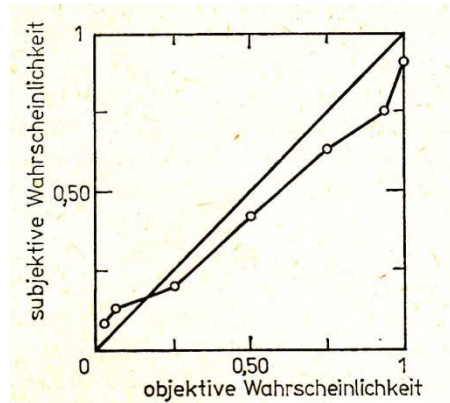
Dabei sind der Anfang und das Ende dieser Kette direkt mit dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand der Psychologie verbunden. Um den Einfluss der kybernetischen Ansätze auf die Begründung solcher psychologischen Untersuchungseinheiten auszuweisen, will ich nachfolgend an ausgewählten Beispielen aufzeigen, wie sich diese neuen Denkansätze auf die Wechselwirkung von Methodenentwicklung und wissenschaftlichem Erkenntnisfortschritt ausgewirkt haben.

3. Wahrscheinlichkeits- und Informationsbegriff in der Psychologie

Schon Klix (2004, S. 120) hebt als Marksteine der Wissenschaftsentwicklung „die großen Monografien von Wiener, Shannon, v. Neumann & Morgenstern, Markow ... und Ashby“ hervor. Bezogen auf unseren Kontext greifen wir als erstes den Einfluss des Wahrscheinlichkeits- und Informationsbegriffs heraus. Gezählt wurde in der Psychologie als einer empirischen Wissenschaft schon immer. Häufigkeiten, relative Häufigkeiten und Prozentzahlen gehörten zum Standardinventar der Datenanalyse. Schließlich hatte es ja u.a. Jacob Bernoulli mit seinem Münzwurf vorgemacht (Bernoulli Experiment) und gezeigt, dass sich mit wachsender Anzahl der Einzelversuche die relative Häufigkeit einem festen Wert annähert und das Gesetz der großen Zahl weist diesen als Wahrscheinlichkeit aus. Kolmogorow (1933) hat diesen Wahrscheinlichkeitsbegriff axiomatisiert und Gliwenko und Cantelli (1933) mit dem Hauptsatz der Statistik den Zusammenhang von empirischer und theoretischer Verteilungsfunktion als Grundlage des Schlusses von der Empirie auf die Theorie ausgewiesen (vgl. Krause, Metzler, 1984).

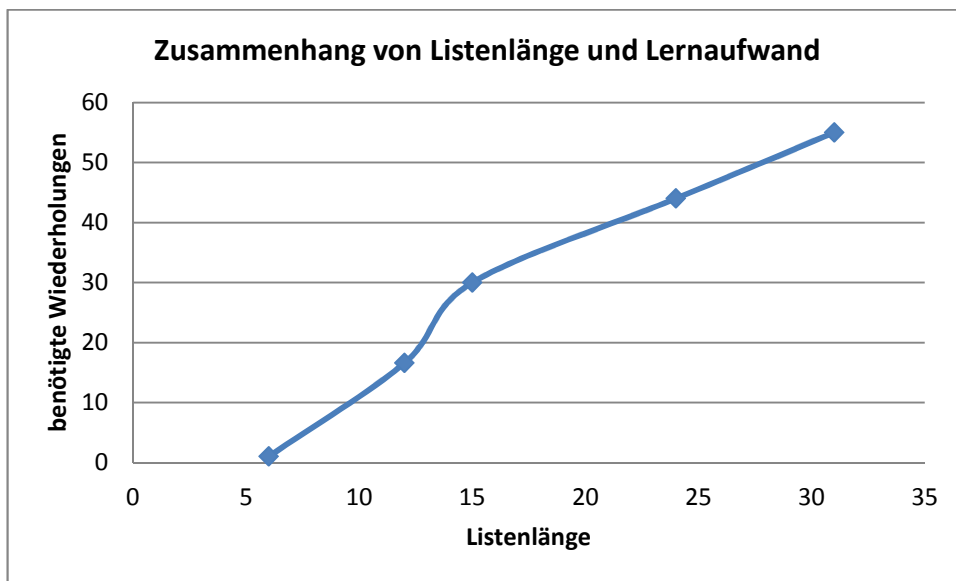
Für die psychologische Forschungsmethodik hatte dies wenigstens zwei Konsequenzen:

- a) Verbunden mit einer präzisen Fassung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs ergab sich die methodische Möglichkeit, diese quantitative Größe empirischen Untersuchungen zugänglich zu machen und sie als Einflussgröße des Verhaltens zu untersuchen. Dies erfolgte besonders bei der Analyse des menschlichen Entscheidungsverhaltens, wobei sich der Begriff der subjektiven Wahrscheinlichkeit als bedeutsam erwies und Grundlage einer ganzen Klasse von Erklärungsmodellen menschlichen Entscheidungsverhaltens wurde (vgl. auch Krause 1977). Den entscheidenden Ausgangspunkt dafür bildeten Arbeiten zur Bestimmung der subjektiven Wahrscheinlichkeiten, wie sie u.a. von Bayes 1763, de Finetti 1937 und Preston und Baratta 1948 durchgeführt wurde. Als prototypisches Ergebnis führe ich hier den Zusammenhang zwischen objektiver und subjektiver Wahrscheinlichkeit an, wie er von Preston und Baratta (1948) dokumentiert wurde:



Die Unterschiede bedingen auch, dass in der Psychologie mit Bezug auf diese subjektiven Wahrscheinlichkeiten der Begriff der subjektiven Information (Unsicherheit) eines Zeichens sowie die subjektive Entropie als mittlere subjektive Unsicherheit (Charkewitsch, 1964; Bongart, 1966) begründet und untersucht wurden (vgl. Klix, 1971 S.340 ff).

- b) In vielen Bereichen der Psychologie spielten Anzahlen als Einflussgrößen auf das Verhalten eine Rolle, so etwa bei Ebbinghaus (1880), dem Begründer der experimentellen Gedächtnisforschung, die Anzahl der sinnlosen Silben in einer zu erlernenden Liste. Ein Ergebnis zeigt die nachfolgende Abbildung:



Besonders intensiv wurden auch Reiz-Reaktionsuntersuchungen durchgeführt, in denen die Anzahl der dargebotenen Reize als Einflussgröße des Erkennungs- oder Lernaufwands untersucht wurde. Prototypisch aus diesem Bereich sind die Untersuchungen von Julius Merkel (1885), die in den Wundtbriefen der Universität Leipzig von Wontorra (2009) wie folgt gekennzeichnet werden: „Mit diesem (Versuchs-) Aufbau ermittelte Merkel unter anderem die Wahlzeit für eine adäquate Reaktion auf einen Reiz aus einer Reizmenge der Mächtigkeit zwei bis zehn ... Hierbei fand er einen kurvilinearen Zusammenhang zwischen der Anzahl der zur Disposition stehenden Reize und der Wahlzeit für die entsprechende Reaktion, was insofern bemerkenswert ist, als Merkel hiermit, wenigstens qualitativ, Hicks informationstheoretisches Gesetz um 70 Jahre antizipierte.“

Das und wie dies in der weiteren Entwicklung mit dem Einfluss der Kybernetik zusammenhängt, will ich nachfolgend mit Bezug auf den Informationsbegriff verdeutlichen:

4. Der Informationsbegriff in der Psychologie

Hick (1952) untersuchte in einem Wahlreaktionsexperiment die Reaktionszeiten von Versuchspersonen, wobei die Anzahl der Reize variiert wurde. Als Ergebnis ergab sich ein logarithmischer Zusammenhang der Reaktionszeit R_t mit der Anzahl der Reize n in der Form

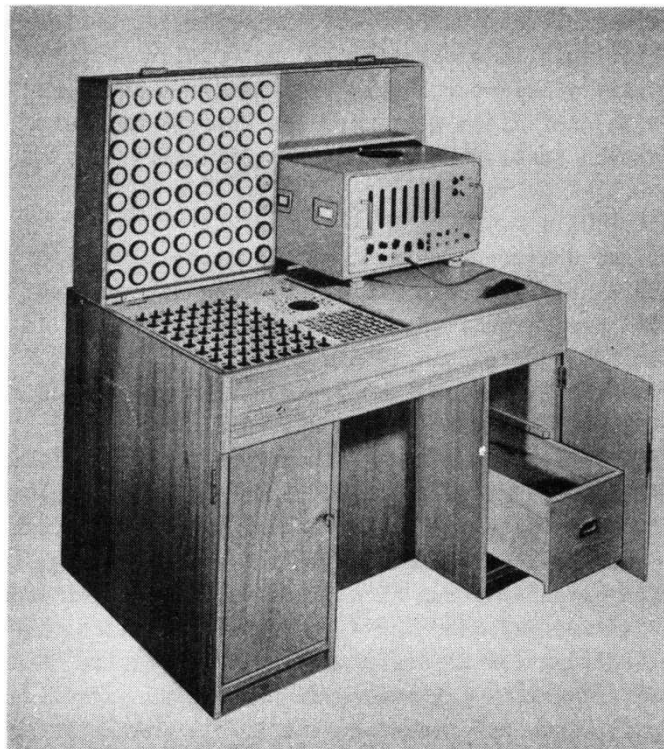
$$R_t = k \cdot \text{ld}(n),$$

- das nach Hick benannte Gesetz.

Methodische Voraussetzungen für die Untersuchungen waren,

- a) dass die Reize ohne Augenbewegung erfassbar sind und es zu jedem Reiz genau eine Handlungsalternative als Antwort gibt,
- b) dass die Zeiten für die motorischen Handlungsausführungen vergleichbar lang sind (der dadurch benötigte konstante Zeitaufwand ist hier vernachlässigt), und
- c) dass die Reize gleichwahrscheinlich auftreten, d.h. der Untersuchungsansatz basiert auf der klassischen Definition des Wahrscheinlichkeitsbegriffs.

Die Versuchssituation kann prototypisch durch ein Wahlreaktionsgerät, das am Institut für Psychologie der HU Berlin entwickelt wurde, demonstriert werden:



In unserem Kontext sind folgende Konsequenzen wichtig:

- (i) Die entscheidende Einflussgröße auf die Reaktionszeit ist die in der Kybernetik definierte Größe der Information. Definiert über den Logarithmus dualis $\text{ld}(n) = -\text{ld}(1/n)$ wird sie zu einer quantitativen Kenngröße der Information oder Unsicherheit, die im Rahmen der psychologischen Forschungsmethodik als neue Einflussgröße variiert oder kontrolliert und damit untersucht werden kann.
- (ii) Darüber hinaus ist mit dem Informationsbegriff eine Größe definiert, mit deren Hilfe eine Vielzahl psychologischer Prozesse als Prozesse des Informationsaustausches und der Informationsverarbeitung gekennzeichnet werden können und damit durch den Einfluss der Kybernetik neue theoretische Ansätze und oft auch prüfbare Modelle zu begründen gestatten.
- (iii) Fast gleichzeitig und unabhängig von Hick führte Hyman (1953) ebenfalls Untersuchungen zum Einfluss der Reizanzahl auf die Reaktionszeit durch, wobei die Reize

sinnlose Silben waren. Dabei waren im Unterschied zum Wahlreaktionsexperiment von Hick die Auftrittswahrscheinlichkeiten der Reize nicht mehr gleich sondern unterschiedlich. Diese Generalisierung entsprach dem axiomatischen Zugang zur Wahrscheinlichkeit von Kolmogorow (s.o.). Auch für diesen verallgemeinerten Wahrscheinlichkeits- und damit auch Informationsbegriff konnte Hyman den linearen Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit und dem dualen Logarithmus der Reizanzahl bestätigen.

- (iv) Die neue Einflussgröße Information kann zusätzlich in Verbindung mit weiteren Einflussgrößen auf das Verhalten untersucht werden. Beispielhaft seien dafür die Untersuchungen von Roth (1964) angeführt, der den Untersuchungsansatz von Hick unter differentiellem Aspekt mit der Einflussgröße Intelligenz (gemessen als Intelligenzquotient IQ) untersetzte. Das Ergebnis war, dass die Beziehung des Hickschen Gesetzes zwar unter allen Varianten des IQ linear blieb, aber der Anstieg der Geraden sich änderte. Je höher der IQ, desto geringer war der Anstieg der Geraden. Die Erklärung dieses Befundes begründete für die Psychologie das Konzept der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.

5. Der Entropiebegriff in der Psychologie

Im Zusammenhang mit der Informationstheorie erweitert Shannon (1948) den Informationsbegriff, indem er ihn auf eine Zeichenmenge (Alphabet) bezieht und den mittleren Informationsgehalt einer solchen Zeichenmenge definiert (Informationsdichte). Sei Z eine solche Zeichenmenge $Z = \{z_i; i=1, \dots, n\}$ und p_i die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Zeichens z_i , dann ist dessen Informationsgehalt

$$I(p_i) = -\log_2 p_i = -\log p_i.$$

Der mittlere Informationsgehalt eines gesendeten Zeichens ergibt sich dann als Erwartungswert in der Form $H(Z) = \sum p_i \cdot I(p_i) = -\sum p_i \cdot \log p_i$ die Größe der Entropie.

Für die psychologische Forschungsmethodik eröffnet diese Größe der Entropie eine weitere Einflussgröße für die Reiz-Reaktionsuntersuchungen. Wie schon beim Hickschen Gesetz kann die Zeichenmenge durch ihre Anzahl variiert werden oder aber man kann auch den mittleren Informationsgehalt konstant halten und weitere Einflussvariable unter diesen dann konstanten Bedingungen untersuchen. Dies beschreibt Klix (1970) in einem Untersuchungsansatz mit einem Wahlreaktionsgerät, das 36 Reize aufweist. Bei dieser konstanten Anzahl und gleichwahrscheinlichem Auftreten der Reize ergibt sich für die Entropie folgender Wert

$$H = -\sum p \cdot \log p = -\sum 1/36 \cdot \log (1/36) = -\log 1/36 = \log 36 = 5,17.$$

Der methodische Gedanke besteht nun darin, bei diesem konstanten mittleren Informationsgehalt die Reize unterschiedlich zu gruppieren: einmal als gleichabständiges Tableau der Form 4×9 oder aber 9×4 und in einer quadratischen Anordnung von 3×3 ebenfalls quadratisch angeordneter Vierergruppen. Damit kann der Einfluss der Reizanordnung auf das Reaktionsverhalten bei konstantem Entropiewert geprüft werden. Der Untersuchungsbefund (Klix, 1970, S.20) zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Verarbeitungsleistung von der Gruppierungsart. Und Klix folgert:

„Uns scheint hier ein Problem zu liegen, das zu tiefliegenden Zusammenhängen zwischen der phänomenalen Metrik des Wahrnehmungsraumes und Problemen der Zeichenerkennung in der Technik führt“ (S. 22).

Vergleichbar zum Informationsbegriff hat auch der Entropiebegriff direkte Konsequenzen für die psychologische Forschungsmethodik, da er eine neue übergreifende Variations- und Kontrollmöglichkeit des Informationsangebots/ Handlungsumfelds ermöglicht. Darüber hinaus war und ist der Entropiebegriff in einem weiteren Bereich der Forschungsmethodik bedeutsam, der Modellierung und damit Theoriebildung über psychische Prozesse. Dies will ich abschließend am Beispiel elementarer Lernprozesse diskutieren und wähle konsequenterweise

den aus der kybernetischen Sicht entwickelten Zugang der Modellierung mit neuronalen Netzen, der ja im Prinzip schon durch die „Lernmatrix“ bei Steinbuch (1961) angelegt wurde.

6. Neuronale Netze in der Psychologie

Im Weiteren wollen wir assoziative Lernprozesse, wie sie bei der Ausbildung bedingter Reflexe oder im Diskriminationslernen auftreten, betrachten. Ausgangspunkte dazu sind die bekannten Experimente von Pawlow mit seinen Hunden oder von Skinner mit seiner Rattenbox. Gemeinsam ist diesen Untersuchungen, dass die Ausbildung einer bedingten Reaktion oder Diskrimination von der Manifestationshäufigkeit abhängt (Stärke der Assoziation). Rescorla und Wagner (1972) haben diese Befunde zu einem allgemeinen Modell zusammengefasst, das in seiner allgemeinen Form sowohl die verstärkenden als auch hemmende Einflüsse auf die Assoziationsstärke beschreibt (mit Bezug auf konditionierte KR und unkonditionierte UR Reize):

Die Veränderung ΔE der Stärke des konditionierten Reizes KR ergibt sich

- a) bei *excitatorischen Wirkungen* des KR_i als: $\Delta E_i = \alpha_i \cdot \beta_1 \cdot (\lambda - \sum E_k)$ mit
 α_i = bestehende Intensität von KR_i ;
 β_1 = Lernrate von UR-trials;
 λ = maximal mögliches Level der Assoziationsstärke konditionierbar zur UR-Intensität;
 E_k = alle anderen auftretenden KR – Stimuli und UR;
- b) bei *inhibitorischen Wirkungen* des KR_i als: $\Delta E_i = \alpha_i \cdot \beta_2 \cdot (0 - \sum E_k)$ mit
 β_2 = Veränderungsrate bei Nichtbekräftigung.

Dieses Rescorla-Wagner-Modell ist aus zwei Gründen in unserem Kontext interessant (vgl. auch Krause, 2009):

- a) durch die Einschätzung von Pearce (1997), „that the Rescorla-Wagner model provides the ideal account of the conditions of learning“ (S. 63).
- b) durch den Nachweis, dass das Rescorla-Wagner-Modell auch in Form eines neuronalen Netzwerkes (Perzeptrons) darstellbar ist (vgl. Estes, Campbell, Hatsopoulos und Hurwitz 1989; Gluck und Bower 1988). [Letztere verweisen zusätzlich darauf, dass Sutton und Barto 1981 nachweisen konnten, dass die Lösungen nach dem R-W-M und nach dem Prinzip der LMS (least mean squares) eines neuronalen (backpropagation) Netzwerkes (Perzeptrons) übereinstimmen: „The LMS rule is essentially identical to the Rescorla-Wagner (1972) model of associative learning in animals“ (Gluck, Bower 1988, S. 230) und „... the perceptron is essentially the same the Rescorla-Wagner model“ (Sutton, Barto 1981, S. 156).]

Dies nun bedeutet für die psychologische Forschungsmethodik, dass alle Formen rein assoziativen Lernens durch neuronale Netze, hier speziell vom Typ des Perzeptrons, nachgebildet werden können. Oder umgekehrt: Verhaltensleistungen, die durch Perzeptrone erbracht werden, sind auf der Grundlage assoziativer Prozesse erklärbar. Und dies provoziert natürlich die Frage danach, ob und wo es Grenzen für dieses assoziative Lernen gibt. Erste Hinweise auf solche Grenzen finden wir schon bei den Untersuchungen von Wolfgang Köhler (1918), die er in der Forschungsstation auf Teneriffa mit Haushühnern durchführte. Sein dann in der Literatur sehr kontrovers diskutierter Befund, war der Nachweis, dass Haushühner beim Diskriminationslernen nicht auf assoziatives Merkmalslernen beschränkt sind, sondern Beziehungen zwischen Reizen erkennen und generalisieren. Ein Befund, den das Rescorla-Wagner-Modell nicht erklären kann und somit auch keine der oben angeführten (einfachen) Perzeptrone.

Zur Differenzierung dieses Befunds haben wir ebenfalls in Anlehnung an eine Reihe von Literaturbefunden zum Diskriminationslernen versucht, das Erkennen von logischen Verknüpfungen in solchen Erkennungsleistungen zu untersuchen. Relevante Verknüpfungen waren z.B. die logischen Funktionen AND, OR, XOR, ÄQUI. Dies alles sind Verknüpfungen

von zwei Reizen, die jedoch in ihrer Erkennung unterschiedlich schwierig sind (vgl. Krause, 2003, 2004) und die durch Wahrheitstabellen beschreibbar sind, z.B.

AND	0	1
0	0	0
1	0	1

OR	0	1
0	0	1
1	1	1

Die für uns entscheidende Frage war, ob menschliches Antwortverhalten und die Leistung der neuronalen Netze korrespondieren oder nicht. Im ersten Fall würde das belegen, dass die unterschiedlichen Schwierigkeiten durch assoziative Lernprozesse erklärbar sind, im zweiten Fall wäre eine solche einheitliche Erklärung nicht möglich. Da wir Lernschritte von Probanden und neuronalen Netzen nicht direkt miteinander vergleichen können, geben wir die Rangreihen des Lernaufwands bei den unterschiedlichen Anforderungen an:

Lernanforderung \ Lernsystem	AND	OR	NAND	NOR
Neuronale Netze	3	1	4	2
Probanden	1	2	3	4

Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied: Für die Perzeptrone waren oder-bezogene Aufgaben leichter, und es werden prinzipiell alle Anforderungen gelernt. Dies entspricht genau den Erkenntnissen der Väter des künstlichen Neurons, den Mathematikern Warren McCulloch und Walter Pitts (1943), die dieses logische Schwellenwert-Element mit mehreren Eingängen und einem Ausgang postulierten und das Erlernen einfacher logischer Funktionen beschrieben.

Um dies mit Bezug auf assoziative Lernprozesse weiter zu vertiefen, führten wir eine zweite Untersuchung durch (vgl. Krause 2002, 2003). Ziel war es herauszufinden, was beim Vorliegen unterschiedlicher Möglichkeiten erlernt wird. Dazu wurden jeweils Paare von logischen Funktionen ausgewählt, bei denen sich die Wahrheitstabellen in genau einem Wahrheitswert unterschieden, aber in den übrigen drei Wahrheitswerten identisch waren. Die folgenden Tabellen zeigen dies für die beiden von uns verwendeten Funktionspaare (das unterschiedliche Element ist markiert):

a)

AND	0	1
0	0	0
1	0	1

ÄQUI	0	1
0	1	0
1	0	1

b)

NAND	0	1
0	1	1
1	1	0

XOR	0	1
0	0	1
1	1	0

In beiden Paaren unterscheiden sich die Wahrheitstabellen genau an der Stelle (0, 0). Dies eröffnet nun die Möglichkeit zu prüfen, was gelernt wurde. Dazu verwenden wir jeweils als Trainingsmengen Items aus dem Bereich übereinstimmender Antwort und prüfen dann nach Erreichen eines Lernkriteriums mit dem Item (0, 0) welche der beiden Funktionen als zutreffend vorhergesagt wird. Das Ergebnis zeigt die Häufigkeiten, mit denen das Testitem im Sinne einer der beiden möglichen logischen Verknüpfungen benannt wurde:

	AND	ÄQUI	NAND	XOR
Versuchspersonen	14	14	4	24
Perzeptrone	28	0	28	0

- Die Perzeptrone erlernen in jedem Funktionenpaar stets die links stehende Verknüpfung, diese ist nach der Literatur die leichtere und kann auf der Grundlage eines einzelnen Merkmals entschieden werden.
- Die Probanden lernten gleichhäufig die Verknüpfungen des ersten Paares, deutlich häufiger die Verknüpfung XOR im zweiten Paar, weichen als dem erlernten Inhalt deutlich von den Perzeptronen ab.

Eine Interpretation dieses Befundes bedeutet, dass

- (i) Assoziatives Lernen, wie es durch die Perzeptrone beschrieben wird, stets merkmalsbezogen erfolgt (Wirkung der Manifestationshäufigkeit) und damit die einfachere Erkennungsregel ausbildet. Dagegen ist menschliches Lernverhalten dadurch gekennzeichnet, dass es eine größere Flexibilität im Erkennungsprozess aufweist und auch komplexere Entscheidungsregeln (hier auf zwei Reizmerkmale bezogen) ausbildet. Dies kann als erfahrungsbedingte Wirkung menschlicher Informationsverarbeitung verstanden werden und kennzeichnet sowohl einen typischen Gedächtniseffekt als auch den psychologisch begründeten Ansatz, Informationsverarbeitung aus der Wechselwirkung von Informationsangebot, Wissen und nichtkognitiven Einflüssen zu erklären.
- (ii) Beachtenswert ist auch der Unterschied im zweiten Funktionenpaar. Nachdem der Psychologe Donald Hebb (1949) seine assoziative Lernregel formulierte, die Lernen durch aktivierende und hemmende Wirkungen prä- und postsynaptischer Aktivitäten erklärte, war es Rosenblatt (1958), der das Perzeptron als Modell eines neuronalen Netzes ausarbeitete. Es zeigte sich jedoch schnell, dass einfache (einschichtige) Perzeptrone nicht alle logischen Funktionen erlernen konnten, wie das von Minsky und Papert (1969) am Beispiel des XOR (einer nicht linear separierbaren Funktion) nachgewiesen wurde. Den Ausweg ermöglichten dann die mehrlagigen (multi-layer) Perzeptrone entwickelt. Somit ist es auch nicht verwunderlich, dass unsere Perzeptrone das XOR mieden und die einfachere NAND-Funktion erlernten. Eine Modifikation würde bei Weiterführung der Lernserie eintreten, aber sicher keine Abstraktion auf die „Anzahl der Reizelemente“, wie sie durch Untersuchungen von Gauger (2002) nahegelegt wurde.

Zusätzlich ist zu beachten, dass nicht nur die Perzeptrone, allgemein neuronale Netze mit der Lernregel des „error-back-propagation“ zur Modellierung menschlicher Leistungen herangezogen wurden. Klix (2004, oben zitiert) wies darauf hin, dass schon die Gestaltpsychologie wesentlich auf den Entropiesatz von Clausewitz und Boltzmann Bezug nahm, „aber doch auf einem stationären Boden“. Eine probabilistische Erweiterung der Perzeptrone waren die Boltzmann-Maschinen, bei denen die stochastische Übergangsfunktion der Form

$$P\{a_j(t) = 1\} = \frac{1}{1 + \exp\left[-\frac{\sum w_{ij} \cdot a_i(t) + x_j - \sigma_j}{T}\right]}$$

kennzeichnet, dass die Zustände ihre Werte mit zeitabhängigen Wahrscheinlichkeiten annehmen.

Werner Ebeling (u.a. 2003, 2008) hat wiederholt darauf hingewiesen, dass es in diesem System zwei Formen der Veränderung gibt, ein kurzfristiges „Flackern“ des gesamten Netzes und einen langfristigen Lernprozess, der bis zur Erreichung des Entropieminimums verläuft und durch das „simulated annealing“ modelliert und zu stabilen Zuständen geführt werden kann. Allerdings ergaben sich bezogen auf die oben diskutierten assoziativen Lernaufgaben damit keine weitergehenden Differenzierungen.

7. Fazit

Der Einfluss der Kybernetik auf die psychologische Forschungsmethodik kann durch zwei Feststellungen beschrieben werden:

- a) Durch die interdisziplinäre Wechselwirkung zur Kybernetik wurde der Informationsbegriff für die Psychologie sowohl zu einer messbaren Größe, die notwendig mit einem Empfänger verbunden ist, als auch zu einem theoretischen Erklärungsmodell der Informationsübertragung. Schon Klix (1971) präziserte, dass die Entstehung von Information immer auf einem Auswahlprozess beruht und in der Realität immer an einen Trägerprozess gebunden ist (S.79). Er führt weiter aus (S.80), dass zur Information die Erzeugung, Übertragung und der Empfang gehören. Damit werden Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung zu entscheidenden Prozessen der menschlichen Handlungsregulation, die mit kybernetischen Zugängen beschreib- und untersuchbar werden. Dies entspricht auch der von Fuchs-Kittowski (2007) geführten Diskussion „Zum ‚Für und Wider‘ der Kybernetik und zur Entwicklung der Kybernetik II. Ordnung“ (S. 291). Bezugnehmend auf die Differenzierung in der Erklärung der American Society for Cybernetics stellt er fest: „Die von Anbeginn bestehenden zwei unterschiedlichen Orientierungen sind auch als unterschiedliche Paradigmen zu verstehen: zum einen als Orientierung am Informationsverarbeitungsansatz, zum anderen als Orientierung an der Konzeption der Selbstorganisation und der Informationsentstehung.“ Und gerade in der Psychologie bestätigt sich seine Schlussfolgerung, dass „ein enger Zusammenhang zwischen Informationsverarbeitung und Informationsentstehung (besteht)“ (S. 293). Dies zeigt sich in der folgenden Feststellung:
- b) Durch die interdisziplinäre Wechselwirkung zur Kybernetik wurden Modellierungsmethoden insgesamt und speziell als methodische Mittel entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Der Versuch, psychisches Geschehen durch Modellierungen nachzubilden oder zu erklären, wurde bestimmend für die Entwicklung des Fachgebiets (vgl. für die Methodenentwicklung z.B. Rost, 2003; Krause, 2009, 2012).

In der letzten Ausgabe des Wissenschaftsmagazins „Science“ vom 30.11.2012 kennzeichnet der Artikel einer kanadischen Forschergruppe unter Leitung von Chris Eliasmith die Entwicklung dieser Modellierung durch zwei Feststellungen

- a) der zunehmenden Größe solcher Neuronenmodelle (z.B. von einer Milliarde Neuronen bei IBM oder von 2,5 Millionen Neuronen im „Semantic Pointer Architecture Unified Network“ (Spaun) in Kanada)
- b) „Obwohl man diese beeindruckende Größenordnung erreicht hat, hat bisher kein Neuronenmodell tatsächlich beobachtetes Verhalten simulieren können.“

Dies verdeutlicht noch einmal den hypothetischen Charakter solcher Modelle, der sich an der funktionellen Nachbildung aber nicht der eigentlichen Simulation neuraler Prozesse orientieren. Dies eröffnet gleichzeitig ein weites Forschungsfeld für weiterführende Fragestellungen.

8. Literatur

- Bayes, Thomas (1763). An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the late Rev. Mr. Bayes, communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton, M. A. and F. R. S.
- Bongard, M.M. (1966). Über den Begriff der „nützlichen Information“. *Probl. Kybernetik* 6.
- Charkewitsch, A. A. (1964). Über den Wert einer Information. *Probl. Kybernetik* 4.
- Ebbinghaus, H. (1983). Urmanuskript „Über das Gedächtnis“ 1880. In: *Passauer Schriften zur Psychologiegeschichte* Nr. 1. Passavia Universitätsverlag: Passau.
- Ebeling, W. (2003). Selbstorganisation – Entwicklung des Konzeptes und neue Anwendungen. *Leibniz-Sozietät der Wissenschaften. Sitzungsberichte* 60(4), 37–47
- Ebeling, W. (2008). Über Helmholtz und Interdisziplinarität- Die Helmholtz-Schule als Wegbereiter interdisziplinärer Zusammenarbeit an der Humboldt-Universität. In: Krause, B. (Hrsg.) *Entwicklungen in der Experimentellen Psychologie an der Humboldt-Universität zu Berlin. ZeE-Publikationen, Reihe Wissenschaftliche Veranstaltungen* Band 3, 33-38. ZeE-Verlag: Berlin.
- Eliasmith, C., Steward, T.C., Bekolay, T., DeWolf, T., Tang, Y., Rasmussen, D. (2012). A large-scale model of the functioning brain. *Science*, Vol. 338, 1202-1205. 30. November 2012.
- Estes, W.K.; Campbell, J.A.; Hatsopoulos, N.; Hurwitz, J.B. (1989): Base rate effects in category learning: A comparison of parallel network and memory storage-retrieval models. *Journal of Exp. Psychology; Learning, Memory and Cognition*, 15, 556-571.
- Fuchs-Kittowski, K. (2007). Zum „Für und Wider“ der Kybernetik und zur Entwicklung der Kybernetik II. Ordnung. In: Frank Dittmann, Rudolf Seising (Hrsg.): *Kybernetik steckt den Osten an – Aufstieg und Schwierigkeiten einer interdisziplinären Wissenschaft in der DDR*, Trafo Verlag, Berlin, S. 291-321.
- Fuchs-Kittowski, K. (1998). Information und Biologie: Informationsentstehung – eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie, in: *Biochemie – ein Katalysator der Biowissenschaften, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät*, Band 22, Heft 3, S. 5-17.
- Gauger, U. (2002). Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung von Lernprozessen mit neuronalen Netzwerken. *Dissertationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin*
- Gluck, M., Bower, G.H. (1988). From conditioning to category learning: An adaptive network model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 227-247.
- Hebb, D. O. (1949). *Organization of behaviour*. Wiley: New York
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 4, 11-26.
- Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology* 45, 188-196.
- Klix, F. (1970). Neue Ergebnisse und Entwicklungstendenzen in der kybernetisch-psychologischen Erforschung kognitiver Prozesse. In: Klix, F. (Hrsg.). *Kybernetische Analysen geistiger Prozesse*. Deutscher Verlag der Wissenschaften: Berlin.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Akademie-Verlag: Berlin.
- Klix, F. (2004): Über kybernetische Aspekte in der Psychologie: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. In: . In: Fuchs-Kittowski, K. und Piotrowski, S. (Hrsg.). *Kybernetik und In-*

- terdisziplinarität in den Wissenschaften. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät Band 11. Trafo-Verlag: Berlin.
- Köhler, W. (1918). Nachweis einfacher Strukturfunktionen beim Schimpansen und beim Haushuhn. Über eine neue Methode zur Untersuchung des bunten Farbensystems. Abhandlungen der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse.
- Kolmogorow, A. (1933). Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Springer: Berlin.
- Krause, B. (1977). Zur Analyse und Modellierung individueller Entscheidungsprozesse. Probleme und Ergebnisse der Psychologie, 61, 13-37.
- Krause, B., Metzler, P. (1984). Angewandte Statistik. Verlag der Wissenschaften: Berlin.
- Krause, B. (2000). Entwicklungstendenzen mathematischer Methoden in der psychologischen Forschung. Z.Psychol. 208, 357-384
- Krause, B. (2003). Erkennen diskreter Merkmalsstrukturen. Ein Beitrag zur Untersuchung und Modellierung menschlicher Lernprozesse. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät. Berlin: Trafo-Verlag: Berlin.
- Krause, B. (2004). Schwierigkeit beim logischen Denken. In: Krause, B. und Krause, W. (Hrsg.). Psychologie im Kontext der Naturwissenschaften. Beiträge zur menschlichen Informationsverarbeitung – Festschrift für Friedhart Klix zum 75. Geburtstag. Ehrenkolloquium der Leibniz-Sozietät im November 2002 in Berlin. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät. Trafo-Verlag: Berlin.
- Krause, B. (2009). Mathematik in der Psychologie: Von der Strukturbeschreibung zur Modellierung psychischer Prozesse des Erlebens und Verhaltens. In: Banse, G., Küttler, W. und März, R. (Hrsg.). Die Mathematik im System der Wissenschaften. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften. Band 24. Trafo-Wissenschaftsverlag: Berlin.
- Krause, B. (2013). Ausgewählte Entwicklungen der psychologischen Messtheorie. In: Witruk, E. und Wilcke, A. (Hrsg.). Historical and Cross-Culture Aspects of Psychology. Lang Verlag: Frankfurt a.M.
- Krause, W. (2004). Laudatio anlässlich der Verleihung des Wiener-Schmidt-Preises 2002 der Gesellschaft für Pädagogik und Information und der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik an Friedhart Klix. In: Fuchs-Kittowski, K. und Pietrowski, S. (Hrsg.). Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät Band 11. Trafo-Verlag: Berlin.
- Liebscher, H. (2007). Die Kommission für Kybernetik an der DAW und ihre Denkschrift von 1962. In: Dittmann, F. und Seising, R. (Hrsg.). Kybernetik steckt den Osten an. Trafo-Verlag: Berlin.
- McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bull. Math. Biophys. 5.
- Merkel, J. (1885). Die zeitlichen Verhältnisse der Willenstätigkeit. Philosophische Studien, 2, 73-128.
- Minsky, M. L., Papert, S. A. (1969). Perceptrons. M.I.T. Press: Oxford
- Pearce, J.M. (1997). Animal learning and cognition. Psychology Press: Hove, East Sussex.
- Preston, M.G., Baratta, P. (1948). An experimental study of the auction value of an uncertain outcome. Amer. J. Psychol. 61, 183-193.

- Rescorla, R. A., Wagner, A. R. (1972): A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In: A.H. Black & W.F. Prokasy (Eds.), Classical conditioning II, pp. 216-271. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Reviews* 65, 386-408.
- Rost, J. (2003). Zeitgeist und Moden empirischer Analysemethoden. *Forum Qualitative Sozialforschung* 4,2.
- Roth, E. (1964). Die Geschwindigkeit der Verarbeitung von Information und ihr Zusammenhang zur Intelligenz. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* 11, 616-622.
- Steinbuch, K. (1961). *Automat und Mensch*. Springer-Verlag: Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Thiel, R. (2004). Die Kybernetik-Kommission des Forschungsrats der DDR 1968 ff. In: Fuchs-Kittowski, K. und Piotrowski, S. (Hrsg.). *Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften*. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät Band 11. Trafo-Verlag: Berlin.
- Wontorra, H.M.C. (2009). Apparategestützte experimentelle Psychologie an Wundts Institut. <http://www.uni-leipzig.de/~wundtbriefe/persons/hmw.htm>

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Bodo Krause, Waldemarstr. 15, 13156 Berlin