

Programmierung und Auswertungsergebnisse des sequentiellen Lernens bei Tauben

Von Dr. H. ZEIER, Dipl.-Ing. G. TSCHANNEN, Dipl.-Ing. H. SEITZ und Prof. Dr. KONRAD AKERT, Zürich

Sequenzen gleichartiger Handlungen wie zum Beispiel die Pickbewegungen bei der Nahrungsaufnahme des Vogels sind klassische Versuchsmodelle für das Studium des vorsprachlichen Zählvorgangs. OTTO KOEHLER hat dieses Verhalten als Grundlage seiner weltbekannten Experimente benützt, in welchen der Nachweis der beiden Grundvermögen: das simultane Erfassen und das sukzessive Abhandeln einer Anzahl, gelang. Die vorliegenden Versuchsreihen über sequentielles Lernen gehen von den folgenden Überlegungen aus: Die strukturelle Organisation des Vorderhirns (Großhirn) bei Vögeln und Säugetieren (Abb. 1—3) weist derartig fundamentale Unterschiede

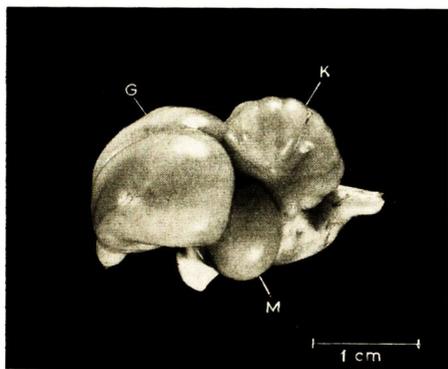


Abb. 1. Gehirn der Taube von der Seite gesehen. Außerlich ist es demjenigen der Ratte nicht unähnlich. Die fundamentalen Unterschiede sind erst im mikroskopischen Schnitt (Abb. 2 und 3) erkennbar. — G: Großhirn. — K: Kleinhirn. — M: Mittelhirn (Tectum opticum).

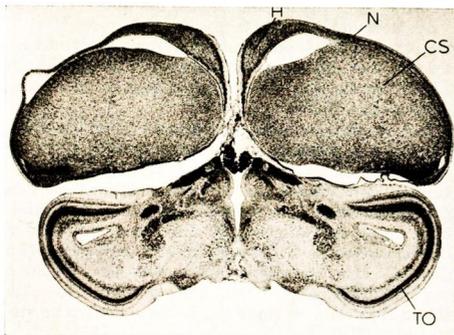


Abb. 2. Mikroskopischer Frontalschnitt durch das Gehirn der Taube. Das Vorderhirn besteht aus einem mächtigen zentralen Ganglienlager (Corpus striatum CS). Das Rindengrau ist auffallend wenig entwickelt und besteht medial aus Palaeocortex (Hippocampus H) und lateral aus Neocortex (N). Das Mittelhirn weist dagegen erstaunlich hoch differenzierte Rindenstrata (TO) auf.

auf, daß sich hier für den vergleichenden Neurophysiologen wie für den Ethologen ein Ansatzpunkt interdisziplinärer Bemühungen ergibt. Liegt darin

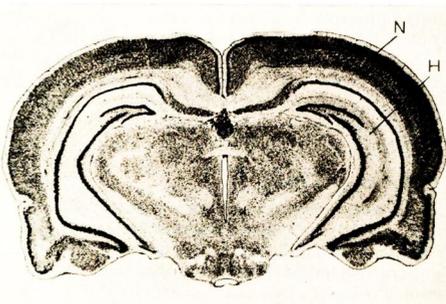


Abb. 3. Mikroskopischer Frontalschnitt durch das Gehirn der Ratte. Man beachte die viel mächtiger entwickelten Rindenschichten des Vorderhirns, die in doppelter Faltung: als Neocortex (N) und Palaeocortex (Hippocampus: H) angelegt sind.

eine Erklärung für die weit stärker entwickelten Instinktbewegungen bei Vögeln? Sind aber nicht auch die Vögel zu intellektuellen Leistungen befähigt?

Die letzte Frage leitet zum zweiten Überlegungskreis: In der Lernpsychologie hat sich neuerdings die Methode des programmierten Unterrichts als überaus fruchtbar erwiesen. Die Grundlagen dieser Technik wurden zur Hauptsache vom amerikanischen Psychologen SKINNER entwickelt. Das „Programm“ besteht aus einer progressiven Skala logischer Schritte, wobei die unmittelbare Erfolgskontrolle (Feedback) und Erfolgsbelohnung (Motivation), im Sinne der zusätzlichen Information in den Lernvorgang eingebaut, den Konsolidierungsprozeß steuern und vertiefen. Bisher wurden bei programmierten Lernversuchen mit Tieren relativ einfache Diskriminationsprobleme im Dienste der Perzeptionsforschung bevorzugt. Sequentielles Verhalten, wie es der „Zählvorgang“ darstellt, ist mit dieser Methode nicht näher untersucht worden. Zweifellos stellt das Picken von bestimmten Sequenzen (z. B. 5mal usw.) hohe Anforderungen an eine Haustaube, und die Durchführung entsprechender Experimente prüft nicht nur die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit des Tieres, sondern auch diejenige der Lehrmethode. Was kann über die „Zählgrenze“, über das Immediatgedächtnis,

Prof. Dr. K. AKERT (geb. 21. Mai 1919) war 1953—1960 Professor für Physiologie und Anatomie an der Universität Wisconsin (USA) und ist seit 1961 Direktor des Instituts für Hirnforschung der Universität Zürich. — Die vorliegende Arbeit wurde mit Unterstützung der Stiftung Volkswagenwerk und des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung (Nr. 3434) im Institut für Hirnforschung in Zusammenarbeit mit der Entwicklungsabteilung der Albiswerk Zürich AG. durchgeführt.

über die Wirkung von Lernhilfen sowie über das Speichervermögen der zählenden Haustaube ausgesagt werden?

Das Problem: Sequentielles Lernen

Die Taube soll zwischen zwei simultan gebotenen Reizsignalen (z. B. rote und blaue Leuchtscheibe) zu unterscheiden lernen, also eine Diskrimination oder Zweifachwahl ausführen. Verlangt wird aber nicht nur eine Diskrimination, sondern eine bestimmte Folge von Diskriminationen, zum Beispiel 7mal nacheinander die Wahl von „rot“ — dann einmal die Wahl von „blau“. Eine Sequenz von 8 Zweifachwahlen, wie sie hier als Beispiel erwähnt wurde, kann auf $2^8 = 256$ voneinander verschiedene Arten ausfallen.

Wenn also, wie beim „Zählen“, eine ganz bestimmte Folge von Handlungen verlangt wird, so stellt eine solche Aufgabe sehr hohe Anforderungen an das Versuchstier, und man darf gespannt sein, ob und wie sie bewältigt wird.

Methodischer Aufbau

1. *Binäre Formulierung des Problems.* Bezeichnet man die beiden Antwortmöglichkeiten bei einer Zweifachwahl mit 1 und 0, so kann das beim „Zählen“ vorliegende Lernproblem wie folgt formuliert werden:

Stufe 1:	1 0
Stufe 2:	1 1 0
Stufe 3:	1 1 1 0
usw.	
Stufe n:	n mal 1; 0

Bemerkenswert an diesem Verfahren ist, daß die gegenseitige Entscheidung 0, welche die Sequenz gleichsinniger Entscheidungen abschließt, ein objektives und eindeutiges Kriterium ergibt, um die „abgehandelte Anzahl“ (KOEHLER) zu erfassen.

2. *Ein kybernetisches System: Taube contra Lehrgerät.* Die verwendete Versuchsmethodik beruht auf dem Prinzip der instrumentalen Konditionierung nach SKINNER. Sie benützt als konditionierte Reaktion die Betätigung eines „Instruments“, im vorliegenden Falle ist es die durch Picken bedingte Auslösung eines elektrischen Kontaktes. Ähnlich wie bei der klassischen Konditionierung von PAWLOW wird die Dressur an bestimmte Reizsignale gebunden, deren Bedeutung das Tier durch Assoziationsbildung erlernen muß. Der unkonditionierte Reiz, also Futter, wird bald ersetzt durch zwei Lichtsignale, welche die konditionierten Reize darstellen und die instrumentale Reaktion auslösen. Für dieses Vorgehen wird ein Lehrgerät verwendet, wie es Abb. 4 zeigt. Es besteht aus einem abgeschlossenen Käfig, Registriergeräten und einem elektronischen Steuergerät, welches den ganzen Versuchsablauf bestimmt. An der Stirnwand des Versuchskäfigs befinden sich zwei rot, blau oder weiß aufleuchtende Scheibchen, die als optische Reizsignale dienen.

Zwischen Reiz und Antwort, Lehrgerät und Versuchstier besteht eine Wechselbeziehung. Jede Sequenz beginnt mit dem Aufleuchten der Reizsignale. Die Taube pickt gegen eines der beiden Scheibchen. Jeder Treffer gilt als Antwort und löst über ein Relais einen Steuerimpuls und gleichzeitig

einen für die Taube hörbaren Klick aus. Die Reizsignale verschwinden nach richtiger Antwortfolge oder sobald die Taube von der vorgeschriebenen Sequenz abweicht. Im ersten Fall erhält sie zur Be-

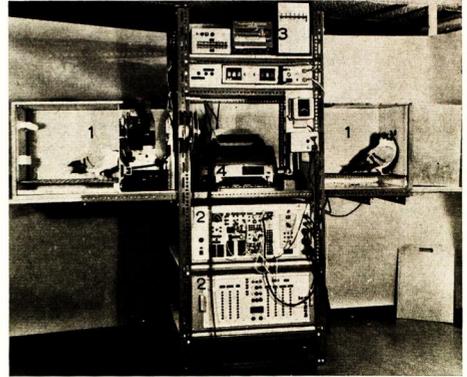


Abb. 4. Lehrgerät. — 1: Versuchsstand für instrumentelle Konditionierung (Frontwand entfernt). — 2: Elektronische Steuergeräte. — 3: Tintenschreiber zur Registrierung der Piktätigkeit. — 4: Fernschreiber mit Lochstreifen zur Registrierung des gesamten Wechselspiels zwischen Versuchstier und Lehrgerät.

lohnung 3 Sek. lang eine Schale mit Futter dargeboten, im zweiten nach falscher Antwortfolge tritt an Stelle der Belohnung eine Pause von 3 Sek., bis die Reizsignale zur nächsten Sequenz wieder aufleuchten.

3. *Registrierung und Auswertung der Antworten.* Die Erfassung des komplexen Versuchsablaufs ließ nach einer Registriermethode suchen, die eine Auswertung der Antworten der Versuchstiere wie der Reaktionen des Steuergerätes auf elektronischen Datenverarbeitungsanlagen erlaubt. Die Verwirklichung bestand in der Registrierung des gesamten Wechselspiels zwischen Taube und Lehrgerät in Form der auf einem Fernschreiber-Lochstreifen kodifizierten Relais-Impulse.

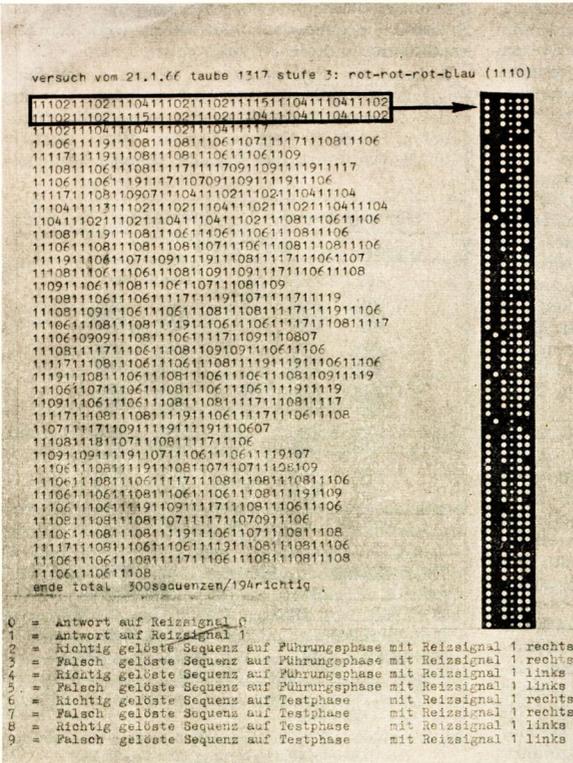
Das Steuergerät gibt in Form von Relais-Kontakten folgende Kriterien ab:

Antwort auf Reizsignal 1, Antwort auf Reizsignal 0 Richtig, Falsch, Führungsphase, Testphase, Position der Reizsignale 1 und 0.

Um eine möglichst einfache Darstellung zu erreichen, wurden von den Fernschreiberzeichen nur die Ziffern 0 bis 9 verwendet, und zwar mit dem in Abb. 5 angegebenen Schlüssel.

Zur Verfügung steht ein Fernschreiber, welcher parallel zum Stanzten des Lochstreifens einen Blattschreiber betätigt. Ein Uhrimpuls besorgt alle 60 Sekunden den Wagenrücklauf und anschließend den Zeilenvorschub. Dementsprechend sind auf einer Zeile stets die während 60 Sekunden anfallenden Informationen in Form von Ziffern aufgeschrieben (Abb. 5). Dies gestattet eine leichte Überwachung des Versuchsablaufes. Ohne Blattschreiber wäre eine solche Kontrolle an Hand des Lochstreifens sehr viel schwieriger.

Der Lochstreifen wird zur weiteren Auswertung der Informationen in einem elektronischen Rechner verwendet.



Der Anschluß des Fernschreibers an das elektronische Steuergerät vollzieht sich wie folgt (Abb. 6):

Die vom Steuergerät eintreffenden Kriterien werden der Anschaltung zugeführt. Diese markiert durch Anlegen einer Spannung, je nach der eintreffenden Information, eine der Ziffern 0 bis 9 der Kodier-Matrix. Die Anschaltung besorgt also auch die nötigen Verknüpfungen gemäß des in Abb. 5 angegebenen Schlüssels. Außerdem veranlaßt sie durch Abgabe eines Startimpulses an den Ein/Aus-Schalter den Beginn der Registrierung eines Fernschreibzeichens. Der Startimpuls bringt den Ein/Aus-Schalter in die Stellung „Ein“, wodurch der Taktoszillator und die Ringzählkette in Betrieb gesetzt werden. Der Taktoszillator gibt alle 20 ms einen Impuls an die Ringzählkette ab. Diese legt nacheinander während je 20 ms eine Spannung an ihre Ausgänge 1 bis 8. Der erste Schritt der Ringzählkette, das heißt das Anlegen von Spannung während 20 ms an den Ausgang 1, bewirkt über den Verstärker während eben dieser Dauer einen Stromunterbruch im Fernschreiber. Damit ist der 20-ms-Startschritt des Fernschreibzeichens erzeugt. Die Ausgänge 2 bis 6 der Ringzählkette entsprechen den Kode-Schritten. Je nachdem, welche der Eingänge 0 bis 9 der Kodier-Matrix durch die Anschaltung markiert ist, werden die nacheinander während jeweils 20 ms Dauer an den Ausgängen 2 bis 6 der Ringzählkette auftretenden Spannungen dem Fernschreibcode entsprechend auf den Verstärker durchgeschaltet beziehungsweise nicht durchgeschaltet. Die Stellungen 7 und 8 der Ringzählkette entsprechen dem Stop-Schritt des Fernschreibzeichens. Bei Erreichen der Stellung 8 bewirkt die an diesem Ausgang erscheinende Spannung die Rückstellung des Ein/Aus-Schalters in die Stellung „Aus“. Die Anordnung befindet sich dann wieder in der ursprünglichen Ruhestellung.

Abb. 5. Protokoll einer Versuchssession. — Links sind die Relaisimpulse durch den Fernschreiber wiedergegeben. — Rechts ist die gleiche Information auf dem Lochstreifen nach dem internationalen Telex-Code aufgezeichnet.

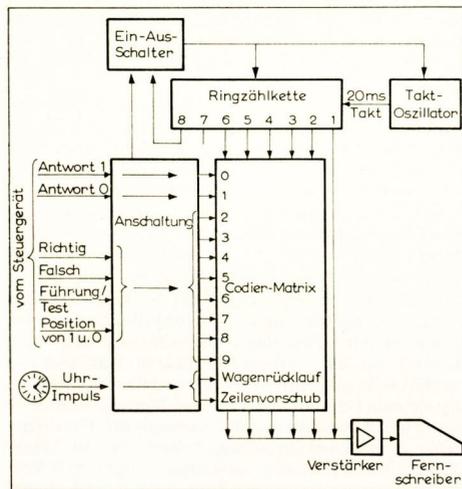


Abb. 6. Vom Relaisimpuls zum Fernschreibzeichen (Erklärung s. Text).

Von der Uhr gelangen alle 60 s die Uhrimpulse in die Anschaltung. Um Fehler zu vermeiden, falls diese Uhrimpulse gleichzeitig mit einer Information aus dem Steuergerät eintreffen, werden sie gespeichert und erst nach Vollendung der begonnenen Sequenz zur Betätigung des Wagenrücklaufes und des Zeilenvorschubes benützt.

I. Teil: Elemente der Programmierung

Lernversuche mit instrumentaler Konditionierung werden in der Regel so durchgeführt, daß das Tier zur richtigen Lösung allein durch konsequente Belohnung des richtigen Verhaltens geführt wird. Voraussetzung dazu ist allerdings, daß die richtige Verhaltensweise mit genügend großer Wahrscheinlichkeit zufällig auftritt. Im vorliegenden Falle, wo eine ganze Folge von Handlungen verlangt wird, ist diese Wahrscheinlichkeit sehr gering. Unter Umständen

tritt während längerer Zeit keine richtige Lösung auf. Die Aktivität der Versuchstiere nimmt ab, und nicht selten bildet sich sogar eine Experimentalneurose. Damit eine Taube die verlangte Aufgabe: gleichsinnige Entscheidungen auf die Zahl 7 zu begrenzen, überhaupt lernen kann, werden *Lernhilfen* im Sinne des programmierten Unterrichts angewendet.

1. *Lernhilfe: Motivation.* Die instrumentale Tätigkeit der Versuchstiere wird durch die Belohnung aufrechterhalten. Jedesmal, wenn die Tauben in der richtigen Reihenfolge an die beiden Scheibchen picken, werden sie mit Futter belohnt. Da die Tiere auf 85% des Gewichtes gehalten werden, welches sie bei Fütterung ad libitum erreichen, benützen sie die einzig in den Versuchen gebotene Möglichkeit zur Futterbeschaffung. Bei falscher Lösung erfolgt keine Belohnung, aber auch keine physische Strafe im üblichen Sinne. Solche Strafen versetzen nämlich besonders Vögel in starke Erregung, was den Lernprozeß negativ beeinflusst.

Zu Beginn einer Versuchsreihe erfolgt die Adaptierung der Versuchstiere an das Lehrgerät; insbesondere wird in täglichen Sessions von je 30 Minuten die Betätigung der Kontakte eingeschliffen. Während dieses Vortrainings, das in der Regel rund 10 Tage dauert, werden die Tauben für jede erfolgreiche Antwort auf den konditionierten Reiz mit Futter belohnt. Man nennt das Bekräftigung (reinforcement). Zwischen Bekräftigung und instrumentellem Verhalten herrschen gesetzmäßige Beziehungen, die durch relativ diskrete Änderungen in der Belohnungsstrategie manifest werden. Die klassischen Untersuchungen auf diesem Gebiete wurden von FERSTER und SKINNER durchgeführt. Als Illustration der machtvollen Rolle der Belohnung oder Motivation sei hier der folgende Versuch an zwei Tauben angeführt: Die eine Taube wird regelmäßig nach 10 instrumentellen Antworten belohnt, die andere überhaupt nie. Abb. 7 zeigt, wie grundverschieden sich diese beiden

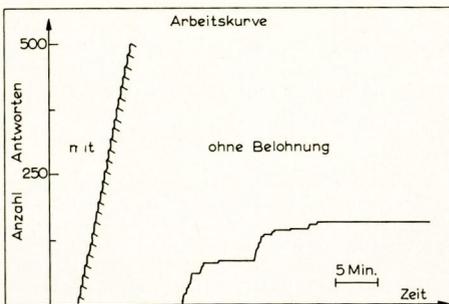


Abb. 7. Arbeitskurve (Anzahl der instrumentellen Antworten) kumulativ über die Zeit aufgetragen bei unterschiedlicher Motivation. — Links: Jede 10. Antwort wird mit Futter belohnt (schräger Strich). — Rechts: Die Antworten der Taube werden nicht belohnt.

Tiere verhalten. Anfänglich picken zwar beide mit gleicher Häufigkeit. Während aber die erste mit konstanter Frequenz weiterarbeitet, bis sie gesättigt ist, gibt die zweite immer weniger Antworten; schließlich stellt sie ihre Picktätigkeit ganz ein (horizontaler Verlauf der Arbeitskurve in Abb. 7). Entscheidend

für eine konstante Rate der instrumentellen Tätigkeit ist somit die genügende Motivation durch den un-konditionierten Reiz (Futter).

2. *Lernhilfe: Führungsphase.* Während der *Führungsphase* werden die beiden Reizsignale nacheinander, das heißt in der programmierten Reihenfolge geboten, anstatt gleichzeitig zur Wahl gestellt (Abb. 8). Das Reizsignal 1 bleibt solange bestehen,

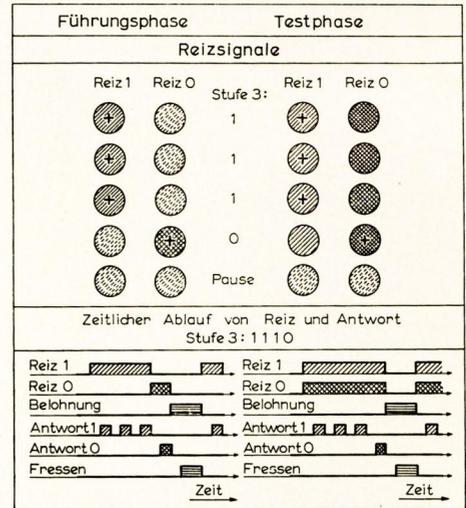


Abb. 8. Synopsis der Funktionsabläufe des Lehrgerätes und bei der Taube während Führungs- und Testphase.

bis die Taube die verlangte Anzahl Antworten darauf gegeben hat. Dann leuchtet Reizsignal 0 auf, und in den meisten Fällen wechselt das Versuchstier prompt auf Signal 0 hinüber. Das Verhalten der Taube wird also durch sukzessive Auslösung der Reizsignale gesteuert, mit anderen Worten, sie erhält während der Führungsphase *einen Zuwachs an Information*.

Während der sogenannten *Testphase* dagegen erscheinen die Reizsignale simultan. Das Versuchstier muß Art und Reihenfolge der Zweifachwahlen ohne jegliche Hilfe selbst treffen. Das eigentliche Lernproblem tritt erst jetzt an die Taube heran und ist dadurch gekennzeichnet, daß Informationen, die durch äußere Rückmeldung während der Führungsphase zugeführt wurden, nunmehr durch eine cerebrale Leistung ersetzt werden müssen.

Die sogenannte *Führungsphase* wirkt demzufolge in einem doppelten Sinne als Lernhilfe. Einmal vermittelt sie der Taube durch die Lichtsteuerung einen Hinweis auf das verlangte Problem, und überdies verstärkt sie noch die Motivation, da sie die richtige Lösungsmöglichkeit forciert. Der Verlauf von Versuch 2 (Abb. 9) zeigt, daß die während der Führungsphase erworbene Erfahrung tatsächlich mit Erfolg verwertet werden kann: Eine erste Gruppe zu 3 Versuchstieren absolviert die Stufe 1 (10) nach einem unspezifischen Vortraining *ohne Führungsphase*, eine zweite Gruppe nach einem spezifischen Vortraining

von 500 Sequenzen in der Führungsphase. Die zweite Gruppe erzielt in diesem Vergleichstest ein bedeutend höheres Leistungsniveau als die erste Gruppe.

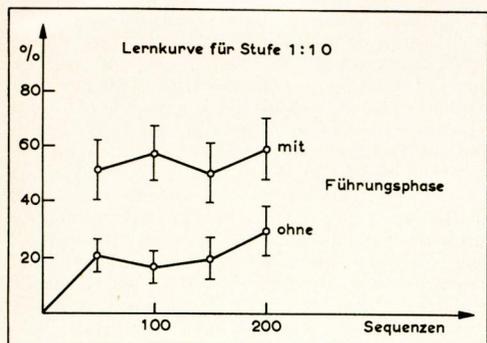


Abb. 9. Lernkurven mit und ohne Führungsphase mit Standardabweichung der Durchschnittswerte. Beide Gruppen bestehen aus je 3 Versuchstieren.

3. *Lernhilfe: Stufenweises Vorgehen.* In diesem Versuch prüfen wir die Wirkung des stufenweisen Programmaufbaus: 6 Tiere lernen die Stufe 3 (rot — rot — rot — blau) im Direktbeginn; 6 weitere Tiere werden vor dasselbe Problem gestellt, nachdem sie zuvor die Stufen 1 und 2 lernten. Als Maß für den Lernaufwand dient die Anzahl der Sequenzen, die erforderlich sind, bis ein Kriterium von „75% Richtig“ in einem Block von 20 Sequenzen erreicht wird. Das Ergebnis (Abb. 10) zeigt deutlich den Vorteil des stu-

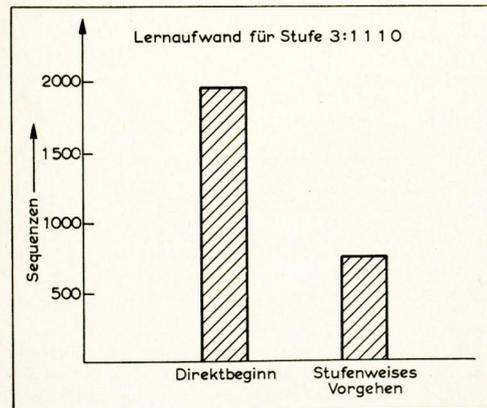


Abb. 10. Lernaufwand von 2 Gruppen (je 6 Versuchstiere) für die Stufe 3 bei Direktbeginn (links) und nach Absolvieren der Stufen 1 und 2 (rechts).

fenweisen Unterrichts, in dem sich der Lernerfolg und die Lernerfahrung bei einfachen Problemen im zeitsparenden Sinne auf die Bewältigung des Komplexeren auswirkt.

4. *Lernhilfe: Informationsgehalt der Reizsignale.* Der Informationsgehalt der zu wählenden Reizmerkmale kann qualitativ und quantitativ verschieden sein, je nachdem Farbe (rot — blau), Position (links — rechts) oder Farbe mit Position kombiniert (rot immer rechts — blau immer links) als Unterscheidungsmerkmal geboten wird.

Sollen sich die Reizsignale nur in der Farbe (bei gleicher Lichtintensität) unterscheiden, so ändert ihre Lage in zufälliger Reihenfolge; besteht der Unterschied von 1 und 0 in der Position, so sind beide Stimuli weiß und von gleicher Intensität.

Drei Gruppen zu 6 Tauben lernen in Versuch 4 die Stufen 1 bis 3 in aufsteigender Reihenfolge mit den obigen Unterschieden der Reizmodalität. Dabei wird wiederum der Lernaufwand gemessen, der erforderlich ist, um auf den einzelnen Stufen ein Kriterium von „75% Richtig“ zu erreichen. Die Ergebnisse in Abb. 11 zeigen, daß der Lernaufwand am geringsten

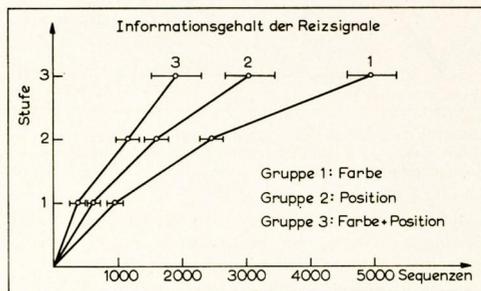


Abb. 11. Lernaufwand von 3 Gruppen (je 6 Versuchstiere) für die Stufen 1 bis 3 bei unterschiedlichem Informationsgehalt der Reizsignale. Die Standardabweichung der Durchschnittswerte ist bei den Meßpunkten angegeben.

ist, wenn Farbe mit Position kombiniert als Reizsignal geboten wird. Dieser Tatbestand findet durch das größere quantitative Angebot an Information eine befriedigende Erklärung. Daß Positionsmerkmale wirksamer als Farbmerkmale sind, mag vielleicht überraschen, könnte aber mit der Tatsache im Zusammenhang stehen, daß Raumsinn und räumliche Orientierung neben visuellen auch kinaesthetische und vestibuläre Afferenzen beanspruchen und bei Tauben besonders stark ausgeprägt sind.

5. *Lernhilfe: Information durch falsches Verhalten.* Zwei grundsätzlich verschiedene Prozesse können bewirken, daß die Taube die verlangte Sequenz mit großer Zuverlässigkeit ausführt. Erstens spielt sicher die Assoziation der verlangten Sequenz mit der Belohnung eine entscheidende Rolle. Es stellt sich nun die Frage, ob die Taube auch imstande ist, bei falscher Verhaltensweise das Ausbleiben der Belohnung mit dem betreffenden Fehler zu assoziieren und so durch Vermeiden von Irrtum zu lernen (sog. error learning). Diese Fähigkeit ist bekanntlich bei Primaten besonders stark entwickelt; ob sie auch bei Vögeln eine Rolle spielt, soll Versuch 5 entscheiden. Dazu werden die Fehlermöglichkeiten nach 3 Gesichtspunkten variiert, wobei die belohnte Verhaltensweise immer dieselbe ist.

Grundsätzlich sind auf einer Stufe zwei verschiedene Arten von Fehlern möglich: Entweder wird die Anzahl, auf welche das Versuchstier seine gleichsinnigen Entscheidungen begrenzen muß, überschritten, wir nennen das „Überpicken“, oder unterschritten, was wir als „Unterpicken“ bezeichnen. Durch geeignete Programmierung des Sequenzabbruchs kann man dem Versuchstier Rückmeldung über die eine oder andere Fehlart oder über beide zukommen las-

sen. Der Verlauf von Versuch 5 leistet den Nachweis, daß bei doppeltem Informationszufluß der Lernauf-

sprechenden Nachbilder noch als Erregungen im Kurzspeicher wirksam sind. Durch wiederholte Verstärkung derselben Nachbildkonstellation wird diese schließlich als festes Engramm ins Dauergedächtnis übergeführt. Dieses Engramm, das als Vorbild für die betreffende Sequenz dient, bezeichnen wir als *Sollwert-Engramm*. Wir stellen uns vor, daß der durch Picksequenzen manifestierte Zählprozeß so zustande kommt, daß die im Kurzspeicher aufsummierten Nachbilder der ausgeführten Pickbewegungen mit dem Sollwert-Engramm verglichen werden. Bei Übereinstimmung erfolgt die Hemmung für Antwort 1 beziehungsweise Auslösung der Antwort 0, welche die Sequenz beschließt. Gleichzeitig muß das „Istwert“-Nachbild gelöscht werden, damit der Kurzspeicher für die Aufnahme der Nachbilder der nächstfolgenden Sequenz bereit ist. Das in Abb. 13 wiedergegebene Modell arbeitet nach diesem Prinzip und verdeutlicht die zahlreichen Funktionsabläufe.

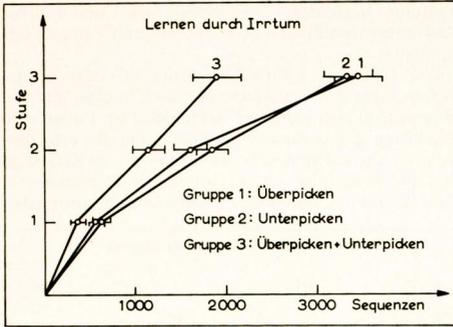


Abb. 12. Lernaufwand von 3 Gruppen (je 6 Versuchstiere) für die Stufen 1 bis 3 bei unterschiedlicher Rückmeldung der Fehlerart. Die Standardabweichung der Durchschnittswerte ist in den Kurven ersichtlich.

wand für die Stufen 1 bis 3 signifikant geringer ist, als wenn nur eine Art von Fehlern mitgeteilt wird (Abb. 12). Die Taube kann somit auch Information verwerten, die ihr bei falschem Verhalten zugeführt wird.

II. Teil: Gedächtnisstudien

Es wird heute allgemein angenommen, daß sich die Speicherung von Eindrücken in 2 Phasen vollziehe, die getrennten Funktionssystemen zugeordnet werden können: (A) Das *Immediatgedächtnis* (short term memory), ein labiler und eventuell vorwiegend elektrophysiologisch begründeter Erregungsmechanismus und (B) das *Dauergedächtnis* (long term memory), unter welchem ein zu stabilen Engrammen führendes und selbstreplizierendes, makromolekulares Biosynthese-System gemeint ist. Der Übergang von A nach B spielt nicht obligat, sondern nur unter gewissen Bedingungen, zu denen unter anderem die affektive Beteiligung gehört. Diese Gedächtniskonzeption leistet zum Verständnis der nachfolgenden Überlegungen und Experimente gute Dienste.

1. Ein Modell für das Zählverhalten der Taube.

Um eine vorbestimmte Anzahl gleichartiger Handlungen ausführen zu können, müssen die einzelnen Handlungen nach deren Vollzug bis zum Erreichen der verlangten Anzahl kurzfristig in Erinnerung bleiben. Es entstehen Nachbilder, die man sich als vorübergehende Erregungen im Immediatgedächtnis (Kurzspeicher) vorstellen kann. Zu Beginn eines Versuchs probiert die Taube verschiedene Pickfolgen aus, wobei nur die Nachbilder der zuletzt ausgeführten Pickbewegungen wirksam bleiben. Durch die Belohnung einer bestimmten Pickfolge wird die entsprechende Nachbildkonstellation nicht mehr, wie in den übrigen Fällen, gelöscht, sondern verstärkt. Entscheidend ist dabei, daß die Belohnung unmittelbar nach der richtigen Antwortreihenfolge gegeben wird, also zu einem Zeitpunkt, wo die ent-

2. *Immediatgedächtnis* und „Zähl“-Grenze. Die „Zähl“-Grenze einer Taube hängt vermutlich vom Umfang des Immediatgedächtnisses ab, da die einzelnen Antworten einer Sequenz kurzfristig behalten werden müssen, um die richtige Anzahl der Antworten ausführen zu können. In Versuch 6 wird die

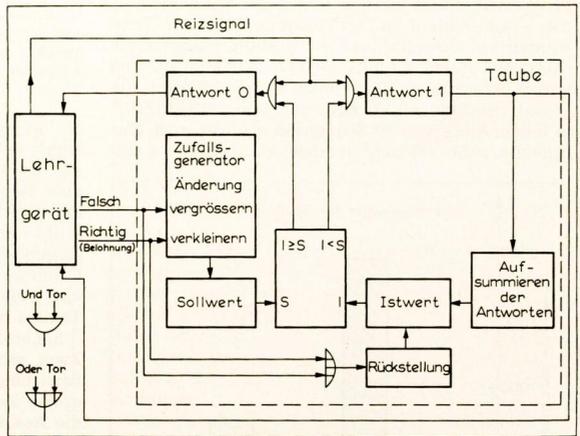


Abb. 13. Kybernetisches Modell zur Simulation von Sequenzen binärer Entscheidungen.

„Zähl“-Grenze von 82 Tauben und der Lernaufwand für die einzelnen Stufen bestimmen. Dabei werden sämtliche im ersten Teil besprochenen Lernhilfen beigegeben. Als Kriterium des Lernaufwandes dient die Anzahl der für einen 75%o-Testerfolg erforderlichen Sequenzen, und als „Zähl“-Grenze gilt die Stufe, die unter diesen Bedingungen noch erfolgreich bewältigt wird.

Aus den Resultaten in Abb. 14 geht hervor, daß das Lernziel auf den untersten beiden Stufen am schnellsten erreicht wird, nach rund 300 beziehungsweise 700 Sequenzen, während für jede folgende Stufe ein zusätzlicher Lernaufwand von rund 1000 Sequenzen benötigt wird. Die „Zähl“-Grenze fällt für die einzelnen Tiere ganz unterschiedlich aus: 4 Tiere erreichen das Lernziel nur auf den Stufen 1 und 2, 3 dagegen sind bis und mit Stufe 7 erfolgreich und

erzielen sogar noch auf Stufe 8 einen Erfolgsskore von 40%. Als Grenze dieser Funktion wurde bei höher entwickelten Vögeln und auch beim Menschen (Perzeptionsumfang) ebenfalls die Zahl 7 ermittelt.

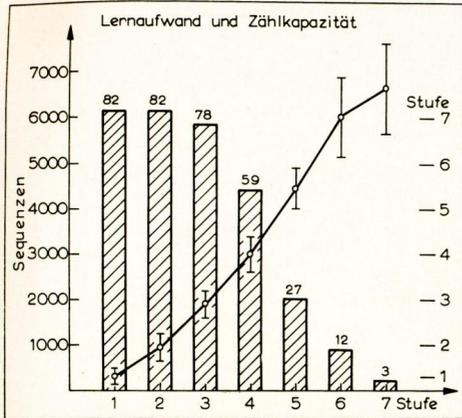


Abb. 14. Lernaufwand für die Stufen 1 bis 7 (kumulativ aufgetragen) und Anzahl der Tauben, die das Lernziel „75% Richtig“ auf den einzelnen Stufen erreichten.

Diejenigen Tauben, die auf den unteren Stufen stagnierten, fielen dadurch auf, daß sie meist unpräzise an die Scheibchen pickten und diese sogar öfters verfehlten. Um eine Sequenz dennoch richtig lösen zu können, mußten diese Tiere die gültigen Antworten von den ungültigen unterscheiden, was eine zusätzliche Belastung des Kurzgedächtnisses zur Folge haben dürfte. Die „Zähl“-Grenze dürfte also durch die Kapazität des Immediatgedächtnisses sowie durch sensorische Lernfähigkeiten entscheidend beeinflusst werden, weshalb diese Grenze eine charakteristische Größe des sequentiellen Lernverhaltens einer Taube darstellt. Man beobachtet denn auch, daß Tiere mit hoher „Zähl“-Grenze auch auf den unteren Stufen bessere Leistungen zeigen als Durchschnittstiere.

3. **Dauergedächtnis.** Wenn das „Zähl“-Verhalten der Taube auf einem im Dauergedächtnis gespeicherten Engramm beruht, so muß dieses Engramm auch nach längerer Zeit noch wirksam sein. Das Dauergedächtnis kann bekanntlich auf die 3 folgenden Arten geprüft werden: durch freie Reproduktion des Gelernten, durch Wiedererkennen von früher gelerntem Material aus einer vorgegebenen Auswahl

oder durch Wiedererlernen. Für den Tierversuch eignet sich vor allem die 3. Methode. Diese ist zwar zeitraubend, doch vermag sie auch relativ schwer mobilisierbare Residuen noch nachzuweisen.

In Versuch 7 werden die Lern- und Wiederlernkurven für die Stufen 1 bis 3 von 4 Gruppen, bestehend aus je 6 Tauben, miteinander verglichen. Die erste Gruppe bewältigt das Programm nur einmal und dient zur Kontrolle. Die übrigen 3 Gruppen lernen die Stufen 1 bis 3 ein zweites Mal, entweder gleich anschließend an den ersten Versuch oder nach einer Pause von 4 beziehungsweise 12 Monaten.

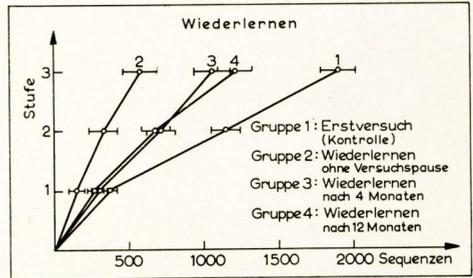


Abb. 15. Lernaufwand von 4 Gruppen (je 6 Versuchstiere) für die Stufen 1 bis 3 mit Standardabweichung der Durchschnittswerte (nach ZEIER 1966).

Die Resultate in Abb. 15 ergeben, daß alle Tauben zum Wiedererlernen einer Stufe bedeutend weniger Sequenzen benötigen als im Erstversuch, was nach der eingangs erwähnten Hypothese erwartet wird. Nach einer Versuchspause ist der Lernaufwand etwas größer als ohne, aber immer noch kleiner als beim erstenmal. Dabei läßt sich kein Unterschied nachweisen, ob nun die Unterbrechung 4 Monate oder 1 Jahr beträgt, was darauf hinweist, daß die sogenannte „Vergessenskurve“ auch bei der Taube exponentiell abfällt.

SCHRIFTTUM

M. E. BITTERMAN, Sc. Amer. 212, H. 1, S. 92 (1965). — C. B. FERSTER, B. F. SKINNER: Schedules of reinforcement. Appleton, New York 1957. — O. KOEHLER: „Zählende“ Vögel und vergleichende Verhaltensforschung. Acta XI. Congr. Int. Orn., Basel, 588—598 (1955). — W. R. HESS: Psychologie in biologischer Sicht. Thieme, Stuttgart 1962. — T. RICHARD, Neue Technik 7, 87 (1965). — F. O. SCHMITT: Macromolecular specificity and biological memory. M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1962. — W. H. THORPE: Learning and instinct in animals. 2. Aufl. Methuen, London 1963. — H. ZEIER, Z. Tierpsychol. 23 (1966). — H. ZEIER, Rev. Suisses Zool., im Druck, 1966.

Die NATURWISSENSCHAFTLICHE RUNDSCHAU erscheint monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung des In- und Auslandes, die Post oder der Verlag entgegen. In den Ländern Belgien, Dänemark, Großbritannien, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Portugal, Schweden, der Schweiz und der Vatikanstadt ist der Bezug durch die Post ebenfalls möglich. **Bezugspreis:** viertelj. DM 12.—, Einzelheft DM 4.50. Studenten u. Assistenten in nicht voll bezahlter Stellung viertelj. DM 9.60.

Probeheft: **kostenlos durch den Verlag.**

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m. b. H., Stuttgart N, Birkenwaldstraße 44, Postfach 40.