

**Visuelle Diskrimination bei Haushühnern  
unterschiedlicher Rasse: ein  
exemplarbasiertes Modell**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Christian W. Werner

aus Bremen

Düsseldorf, 2004

Gedruckt mit der Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen  
Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Gerd Rehkämper

Korreferent: Prof. Dr. Joseph P. Huston

Tage der mündlichen Prüfung:

Prüfungsfach Zoologie am 26.01.05

Prüfungsfächer Hirnforschung und Psychologie am 28.01.05

meinen Eltern gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Lernpsychologie.....	3
1.1.1 Der Stimulus.....	4
1.1.2 Lernen: klassische und instrumentelle Konditionierung.....	5
1.1.3 Diskriminationslernen.....	6
1.1.3.1 Elementare Diskriminationstheorien.....	7
1.1.3.2 Konfigurale Diskriminationstheorien.....	10
1.1.4 Generalisation und Ähnlichkeit.....	11
1.1.4.1 Ähnlichkeit in merkmalsbasierten Diskriminationstheorien.	12
1.1.4.2 Exkurs: Der Schlüsselreiz.....	13
1.2 Der Verbundstimulus.....	15
1.2.1 Separabel vs. integral.....	17
1.2.2 Merkmalsbasierte Erklärungsansätze.....	19
1.3 Beiträge der Neurophysiologie.....	20
1.4 Vergleichende Forschung.....	21
1.4.1 Das Huhn als Forschungsgegenstand.....	23
1.5 Eigene Vorarbeiten.....	24
1.6 Fragestellung.....	26
<b>2 Allgemeine Materialien und Methoden</b> .....	<b>30</b>
2.1 Tiere.....	30
2.1.1 Chabo.....	30
2.1.2 Zwerg-Cochin.....	31
2.1.3 Bantam.....	32
2.1.4 Holländer Haubenhühner.....	33
2.2 Apparatur.....	35
2.3 Stimulusmaterial.....	38
2.4 Prozedur.....	39
2.4.1 Shaping.....	39
2.4.1.1 1. Abschnitt.....	40
2.4.1.2 2. Abschnitt.....	40
2.4.1.3 3. Abschnitt.....	41
2.4.2 Autoshaping.....	41

	Seite
2.4.3 Diskrimination.....	43
2.5 Statistik.....	45
<b>3 Experiment 1.....</b>	<b>47</b>
3.1 Einleitung.....	47
3.2 Material und Methode.....	52
3.2.1 Tiere.....	52
3.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial.....	52
3.2.3 Prozedur.....	53
3.2.4 Statistik.....	54
3.3 Resultate.....	54
3.3.1 Resultate - gesamte Stichprobe.....	55
3.3.1.1 Elementstimulusdiskrimination 1 (E1).....	55
3.3.1.2 Verbundstimulusdiskrimination 1 (V1).....	55
3.3.1.3 Elementstimulusdiskrimination 2 (E2).....	57
3.3.1.4 Verbundstimulusdiskrimination 2 (V2).....	60
3.3.2 Resultate - Rassevergleich.....	63
3.3.2.1 E1 separat für die einzelnen Rassen.....	64
3.3.2.2 V1, E2 und V2 bei der Rasse Chabo.....	65
3.3.2.3 V1, E2 und V2 bei der Rasse Zwerg-Cochin.....	66
3.3.2.4 V1, E2 und V2 bei der Rasse Bantam.....	67
3.3.2.5 V1, E2 und V2 bei der Rasse Holländer Haubenhühner.....	68
3.4 Diskussion.....	70
3.4.1 Merkmalsbasierte vs. exemplarbasierte Erklärungsansätze.....	70
3.4.2 Die exemplarbasierte Interpretation.....	71
3.4.3 Separabel vs. integral.....	73
3.4.4 Alternative Interpretationen.....	74
3.4.4.1 Helligkeitskontraste oder der Anteil der Farbe.....	75
3.4.4.2 Der <i>overtraining-reversal</i> Effekt.....	75
3.4.4.3 Verbundstimuluspezifische Merkmale.....	76
<b>4 Experiment 2.....</b>	<b>79</b>
4.1 Einleitung.....	79
4.2 Material und Methode.....	80
4.2.1 Tiere.....	80
4.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial.....	81

	Seite
4.2.3	Prozedur..... 81
4.2.4	Statistik..... 81
4.3	Resultate..... 81
4.4	Diskussion..... 83
<b>5</b>	<b>Experiment 3..... 84</b>
5.1	Einleitung..... 84
5.2	Material und Methode..... 87
5.2.1	Tiere..... 87
5.2.2	Apparatur und Stimulusmaterial..... 87
5.2.3	Prozedur..... 87
5.2.4	Statistik..... 89
5.3	Resultate..... 89
5.4	Diskussion..... 93
<b>6</b>	<b>Experiment 4..... 98</b>
6.1	Einleitung..... 98
6.2	Material und Methode..... 100
6.2.1	Tiere..... 100
6.2.2	Apparatur und Stimulusmaterial..... 100
6.2.3	Prozedur..... 100
6.2.4	Statistik..... 101
6.3	Resultate..... 101
6.4	Diskussion..... 103
<b>7</b>	<b>Experiment 5..... 106</b>
7.1	Einleitung..... 106
7.2	Material und Methode..... 107
7.2.1	Tiere..... 107
7.2.2	Apparatur und Stimulusmaterial..... 107
7.2.3	Prozedur..... 107
7.2.4	Statistik..... 108
7.3	Resultate..... 108
7.4	Diskussion..... 110
<b>8</b>	<b>Experiment 6..... 111</b>
8.1	Einleitung..... 111
8.2	Material und Methode..... 112

	Seite
8.2.1 Tiere.....	112
8.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial.....	112
8.2.3 Prozedur.....	112
8.2.4 Statistik.....	113
8.3 Resultate.....	113
8.4 Diskussion.....	114
<b>9 Experiment 7.....</b>	<b>116</b>
9.1 Einleitung.....	116
9.2 Material und Methode.....	118
9.2.1 Tiere.....	118
9.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial.....	118
9.2.3 Prozedur.....	118
9.2.3.1 Redundante Kategoriedefinition.....	119
9.2.3.2 Orthogonale Kategoriedefinition.....	119
9.2.3.3 Unidimensionale Kategoriedefinition.....	119
9.2.4 Statistik.....	120
9.3 Resultate.....	120
9.3.1 Redundante Kategoriedefinition.....	121
9.3.2 Orthogonale Kategoriedefinition.....	122
9.3.3 Unidimensionale Kategoriedefinition.....	123
9.4 Diskussion.....	124
<b>10 Allgemeine Diskussion.....</b>	<b>126</b>
10.1 Zusammenfassende Diskussion der einzelnen Experimente.....	126
10.2 Schlußfolgerungen.....	129
10.2.1 Rassevergleich.....	129
10.2.2 Visuelle Diskrimination bei Haushühnern.....	131
10.2.3 Grundannahmen des exemplarbasierten Modells (configural exemplar model).....	133
10.2.4 Mathematisches Modell.....	134
10.2.5 Kognitives Modell.....	139
10.3 Fazit.....	142
<b>11 Zusammenfassung.....</b>	<b>144</b>
<b>12 Danksagung.....</b>	<b>146</b>
<b>13 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>148</b>

# 1 Einleitung

Das Sehen wird allgemein als der biologisch bedeutendste Sinn des Menschen und allgemein der Gruppe der Primaten betrachtet. Die biologische Bedeutung spiegelt sich in seiner Spezialisierung auf das räumliche Sehen und in der Größe der mit visueller Information befaßten Kortextareale wider (De Valois & De Valois, 1988; DeYoe & Van Essen, 1988; Van Essen et al. 1990). Die Spezialisierung besteht in nach vorn gerichteten Augen, die ein sehr großes binokulares Gesichtsfeld zur Folge haben. Damit wird nahezu jeder Punkt im Gesichtsfeld von zwei unterschiedlichen Positionen aus betrachtet, die den beiden Augen entsprechen. Die stets vorhandene konjugierte Augenbewegung sorgt für eine gleichsinnige Ausrichtung der Augen auf den gleichen Punkt im Raum. Dem entspricht im Gehirn die Organisation des visuellen Kortex in okulare Dominanzsäulen, in denen die Aktivität gleicher Retinabereiche beider Augen räumlich direkt nebeneinander verarbeitet werden (z.B. LeVay et al., 1975). Dies deutet auf eine Spezialisierung des Menschen im Bereich des räumlichen Sehens hin. Bei ihm ist eine relativ hohe Sehschärfe verbunden mit einer Schwerpunktsetzung in der Farbwahrnehmung. Dies wird deutlich durch die große Dichte der farbsensitiven Zapfenzellen in der Fovea, der Stelle schärfsten Sehens in der Retina [nach Starck (1982) 320000/mm<sup>2</sup>]. Diese strukturellen Merkmale unterstützen die Wahrnehmung räumlicher Aspekte der Umwelt durch Informationen, die aus der Stellung der Augen im Raum und aus Helligkeits- und Farbkontrasten stammen. Die Kontrastwahrnehmung wird durch den Rezeptorzellen nachgeschaltete Neurone, die eine Kontrastverstärkung bewirken, noch weiter intensiviert (z.B. Michael, 1978).

Der Verlauf der Lichtstrahlen aus der Umwelt in das Auge führt zu einer zweidimensionalen und seitenverkehrten Abbildung auf der Netzhaut. Diese Abbildung variiert nicht nur abhängig von Ereignissen in der Umwelt, sondern auch in Abhängigkeit vom Betrachter und seiner Position im Raum. Dies macht deutlich, daß es fast unmöglich ist, zweimal ein identisches Netzhautbild zu erhalten. In Anbetracht dieser Variabilität stellt sich die Frage, wie es möglich ist, die Identität von Objekten zu bestimmen. Wie identifizieren wir eine bekannte Person, wenn wir womöglich niemals dasselbe Netzhautbild von ihr erhalten? Es muß Mechanismen geben, die auf der Netzhaut auftreffende Informationen so

verarbeiten, daß Gemeinsamkeiten bei physikalisch unterschiedlichen Objektbildern gefunden werden können. Auf der Grundlage dieser Gemeinsamkeiten ließe sich dann die Identität des Objektes beurteilen, d.h. seine Übereinstimmung mit einem bekannten Objekt feststellen. Die visuelle Wahrnehmung findet beim Menschen letztlich ihr Ziel in dem Erkennen von Objekten. Die Forschung an dieser Funktion stellt einen bedeutenden Bereich der Kognitionsforschung dar. Das gesamte Spannungsfeld soll stellvertretend durch seine zwei Extreme skizziert werden. Es ist das Verdienst J. J. Gibsons (1950; 1979), mit seinem Konzept der „ökologischen Wahrnehmung“ und des „optischen Flusses“ (engl. *optical flow*) eindringlich darauf aufmerksam gemacht zu haben, daß Wahrnehmung keine Momentaufnahme von einem fixen Punkt in Raum und Zeit ist, sondern die Funktion eines sich im Raum und über die Zeit hinweg bewegenden Organismus ist. Dabei hat er immer wieder darauf hingewiesen, daß die in der Umwelt verfügbare Information (engl. *ambient optic array*), die sich aus dieser Interaktion von Organismus und Umwelt ergibt, noch lange nicht hinreichend berücksichtigt worden ist. Er nannte diese Informationsaufnahme aus der Umwelt „direkte Wahrnehmung“ (engl. *direct perception*) und verband damit vornehmlich Invarianzen, die aus Bewegungsparalaxen über die Zeit hinweg entstanden (Gibson, 1950; 1966; 1979; siehe auch Guski, 1996). Im deutlichen Gegensatz zu dem Konzept der „ökologischen Wahrnehmung“ steht der Ansatz der computationalen Wahrnehmung, wie er von Marr (1982) begründet wurde. Er ist sehr stark von der Künstlichen Intelligenz (KI) und dem Versuch geprägt, eine Objekterkennung auf einem Computer zu realisieren. Der Ausgangspunkt ist eine zweidimensionale Pixelmatrix als Bild einer visuellen Szene, von deren Punkten ausgehend zunächst Linien, dann Flächen und schließlich Objekte konstruiert bzw. interpretiert werden müssen, denn eine solche Szene ist in vielen Aspekten nicht definiert. Der direkten Wahrnehmung Gibsons (1950; 1966; 1979) steht damit die computationale Wahrnehmung nach Marr (1982) gegenüber. Zwischen diesen Extremen lassen sich Konzepte einreihen wie diejenigen der Gestaltpsychologie mit ihrer primären Wahrnehmung von Gestalten oder diejenigen der Atomisten, die von einer Zerlegung des Reizes in seine Elemente ausgehen, aus denen dann das Perzept konstruiert wird (z.B. Palmer, 1999).

Die vorliegende Arbeit ist mit dem Problem, das sie bearbeitet, ebenfalls in den großen Bereich der Objekterkennung einzuordnen, denn ihre Grundlage ist die

Unterscheidung und Identifikation zweidimensionaler Figuren. Dabei beschäftigt sie sich vornehmlich mit der Frage, ob bei diesen Leistungen die Figur als Ganzes oder aber die einzelnen Werte ihrer Dimensionen von Bedeutung sind. Da diese Frage am Haushuhn untersucht wird, berührt die vorliegende Arbeit unterschiedlichste Bereiche der Psychologie. Vor allem ist dies die Lernpsychologie als das Ergebnis der Forschung überwiegend an Tieren zur Zeit der Dominanz des Behaviorismus in der Experimentalpsychologie, daneben aber auch die Psychophysik mit ihrer systematischen Untersuchung des Zusammenhangs zwischen physikalischem Stimulus und subjektiver Empfindung, die Kognitionsforschung mit ihren Konzepten mentaler Aktivität insbesondere im Rahmen visueller Stimulusverarbeitung, die beobachtbarem Verhalten zugrunde liegt, sowie die Biopsychologie mit Einsichten in die Hirnaktivität, die psychische Funktionen begleitet.

Naturgemäß kann die vorliegende Arbeit nur eine Auswahl der für sie relevantesten Aspekte aus der Forschung dieser Teildisziplinen treffen, soweit sie sie direkt berührt. Im Vordergrund steht dabei v.a. die Lernpsychologie, da sie die Methoden entwickelt hat, die die Voraussetzung darstellen, um das zu untersuchende Problem so aufbereiten zu können, daß es an Hühner herangetragen werden kann. Darüber hinaus haben viele Theorien der vergleichenden Kognitionsforschung ihre Wurzeln in den Konzepten des Behaviorismus.

## **1.1 Lernpsychologie**

Die Lernpsychologie entstand als Behaviorismus am Anfang des 20. Jahrhunderts. Als ihr erstes Werk gilt die Monographie von J. B. Watson „Behavior from the standpoint of a Behaviorist“, die 1919 erschien. 1924 erschien dann ebenfalls von ihm das einflußreiche Buch „Behaviorism“, das die Grundlage für eine mehrere Jahrzehnte andauernde Dominanz des Behaviourismus in der wissenschaftlichen Psychologie legte. Sie war eine methodische und theoretische Gegenbewegung zu einer Psychologie, die von introspektiven Methoden und mentalen Konstrukten dominiert wurde. Der Forschungsgegenstand des Behaviorismus sollte ausschließlich beobachtbares Verhalten sein und ihre theoretischen Konzepte sollten sich auf beobachtbare Phänomene beziehen (Watson, 1913; z.B., Schorr, 1999, Uttal, 2000). Dies sollte die Psychologie in die Gruppe der exakten

Naturwissenschaften einreihen, wobei die experimentelle Physik als ihr Vorbild diene.

Die Beschränkung auf das beobachtbare Verhalten sowie dessen Vorhersage und Kontrolle führt unmittelbar zur Auseinandersetzung mit dessen Flexibilität und Modifizierbarkeit und damit zu einer Psychologie des Lernens, dessen zentrales Thema die Modifikation des Verhaltens durch Erfahrung ist. Ihr angestrebtes Ziel war die Formulierung von Lerngesetzen.

Die Fokussierung auf die Verhaltensmodifikation bringt bestimmte Schwerpunkte und damit auch gewisse „Nachlässigkeiten“ mit sich, die für die theoretische Diskussion der vorliegenden Arbeit bedeutsam sind.

### **1.1.1 Der Stimulus**

In dem Bemühen um eine möglichst eindeutige Beschreibung der bei der Verhaltensmodifikation wirksamen Variablen wurde das Experiment mit seinen stark kontrollierten Bedingungen die Methode der Wahl. In diesem Bestreben wurde der Stimulus als Energie betrachtet, die Sinnesorgane anregt und zu Reaktionen in Muskeln oder Drüsen führt. Dieses Wechselspiel wurde in Stimulus-Response-Theorien des Lernens (S-R-Theorien) dargestellt. Dies gelingt naturgemäß um so präziser, je übersichtlicher die angebotene Stimulussituation ist. Darüber hinaus ist das Interesse am Stimulus als Auslöser von Verhalten ein anderes als ein Interesse am Stimulus als Auslöser von Wahrnehmungsempfindungen, wie es die Psychophysik charakterisiert, die sich im Gegensatz zum Behaviorismus auch introspektiver Daten der Versuchspersonen bediente (z.B. Stevens, 1975). Dies führte zu einer Reduktion des Stimulus auf ein gut reproduzierbares Einzelereignis (z.B. ein Lichtreiz, eine Farbe, ein Klicklaut, ein Sinuston oder ein Stromstoß). Der Glaube an die Generalisierbarkeit der Lerngesetze, und damit verbunden eine freie Kombinierbarkeit von Stimuli und Reaktionen, machte außerdem die Stimuli prinzipiell untereinander austauschbar (vgl. Domjan, 1983).

Der Stimulus wird meist in der Form des römischen Buchstaben „S“ oder bei Verwendung mehrerer Stimuli als „A“, „B“ usw. dargestellt. Physikalische Beziehungen der Stimuli untereinander spielen gewöhnlich keine Rolle (vgl. Kapitel 1.1.4 „Generalisation und Ähnlichkeit“, S. 11). Damit wird vor dem Hintergrund der experimentellen Situation ein Ereignis „S“ herausgestellt, dessen

Einfluß auf das Verhalten als Verhaltensänderung im Vordergrund steht. Die experimentelle Hintergrundsituation wird als „Kontext“ (engl. *context*) bezeichnet, dessen Bedeutung als dem Stimulus äquivalente Quelle für Verhaltensänderungen erst in der neueren Literatur diskutiert wird (Balsam & Tomie, 1985).

Demzufolge können mit einem Buchstaben so unterschiedliche Stimuli repräsentiert sein wie ein Licht einer bestimmten Helligkeit, die gesamte experimentelle Situation ohne den eigentlichen Stimulus oder ein Teil eines aus mehreren Aspekten zusammengesetzten Stimulus. Im Rahmen der Lerngesetze sind sie meistens vollkommen äquivalent.

### **1.1.2 Lernen: klassische und instrumentelle Konditionierung**

Aus den Konzepten der Lernpsychologie sind für die vorliegende Arbeit die beiden assoziativen Lernkonzepte der klassischen oder Pavlovschen und der instrumentellen oder operanten Konditionierung von besonderer Bedeutung. Begründer des Konzeptes der klassischen Konditionierung war I. P. Pavlov, dessen Hauptwerk 1927 in einer englischen Übersetzung erschienen ist. Die klassische Konditionierung wird heute als „Stimulus-Stimulus-Konditionierung“ der „Response-Stimulus-Konditionierung“, die als operante Konditionierung von Skinner 1938 begründet wurde, gegenübergestellt (z.B. Pear, 2001).

Bei der Stimulus-Stimulus-Konditionierung ist das Auftreten von zwei Stimuli miteinander zeitlich assoziiert, von denen einer neutral ist, konditionierter Stimulus (CS) genannt. Sein Auftreten alleine hat zunächst keinerlei Verhaltensänderung des Tieres zur Folge. Der andere Stimulus ist der sogenannte unconditionierte Stimulus (US). Sein Erscheinen führt von vornherein durch Auslösen einer bestimmten Reaktion, der unconditionierten Reaktion (UR), zu einer Verhaltensänderung. In der Folge ist das Auftreten des zuvor neutralen Stimulus, CS, mit einer Verhaltensänderung verbunden, die derjenigen bei Auftreten des unconditionierten Stimulus, US, entspricht oder ähnlich ist. Diese Verhaltensänderung wird dann konditionierte Reaktion (CR) genannt. Dies läßt sich in Anlehnung an Pear (2001) folgendermaßen formal darstellen:

$$(CS, US) \rightarrow UR, (CS, US) \rightarrow UR, \dots, (CS, US) \rightarrow UR \Rightarrow CS \rightarrow CR$$

Während der *response*-Stimulus-Konditionierung ist eine Assoziation zwischen dem Verhalten eines Organismus, der *response*, und einem Stimulus, in der Regel eine Konsequenz der *response*, vorhanden. Abhängig von der hedonischen Qualität des Stimulus wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der *response* erhöht oder erniedrigt. Eine mögliche formale Darstellung wäre nach Pear (2001) für einen Stimulus mit positiver hedonischer Qualität,  $S_+$ , d.h. einem Verstärker:

$$(R, S_+), (R, S_+), \dots, (R, S_+) \Rightarrow \uparrow R$$

Für einen Stimulus mit negativer hedonischer Qualität,  $S_-$ , wäre die Darstellung entsprechend:

$$(R, S_-), (R, S_-), \dots, (R, S_-) \Rightarrow \downarrow R$$

### 1.1.3 Diskriminationslernen

Ausgehend von diesen beiden grundlegenden Lernsituationen läßt sich durch die Verwendung weiterer Stimuli eine zunehmende Flexibilisierung des gelernten Verhaltens erreichen. So können Lernsituationen stimulusabhängig modifiziert werden. Das Ergebnis ist die Stimuluskontrolle (engl. *stimulus control*) des Verhaltens. Im Rahmen der Stimulus-Stimulus-Konditionierung hieße das, daß abhängig von einem Stimulus  $S_1$  oder  $S_2$  auf den neutralen Stimulus CS ein unconditionierter Stimulus, US, folgt oder auch nicht folgt:

$$\begin{aligned} &(S_1, CS, US) \rightarrow UR, (S_2, CS, \sim US) \rightarrow \sim UR, \dots, (S_1, CS, US) \rightarrow UR, (S_2, CS, \\ &\sim US) \rightarrow \sim UR \\ \Rightarrow &(S_1, CS \rightarrow CR), (S_2, CS \rightarrow \sim CR) \end{aligned}$$

wobei das Symbol „ $\sim$ “ dem Nicht-Auftreten des folgenden Ereignisses entspricht. Analog ergibt sich für die *response*-Stimulus-Konditionierung für die Assoziation eines Stimulus  $S_1$  oder  $S_2$  mit einem Verstärker,  $S_+$ , oder dem Ausbleiben eines Verstärkers oder einer Bestrafung,  $S_-$ , folgende Formalisierung:

$$(S_1, R, S_+), (S_2, R, S_-), \dots, (S_1, R, S_+), (S_2, R, S_-) \Rightarrow S_1 \rightarrow \uparrow R, S_2 \rightarrow \downarrow R$$

Da die Stimuluskontrolle des Verhaltens die Unterscheidung der beiden Stimuli  $S_1$  und  $S_2$  voraussetzt, werden sie als diskriminative Stimuli bezeichnet. Die Koppelung eines Stimulus  $S_1$  mit dem Erscheinen eines US oder eines  $S_+$  (die im Einzelfall identisch sein können) und die Koppelung eines Stimulus  $S_2$  mit dem Ausbleiben eines US oder einem  $S_-$  kann dementsprechend verwendet werden, um das Erlernen unterschiedlicher Verhaltensweisen als Reaktion auf die Präsentation der diskriminativen Stimuli zu erzielen. Dieses Verfahren wird als Diskriminationslernen bezeichnet. Eine entsprechende Wahl der diskriminativen Stimuli,  $S_{1-n}$ , ermöglicht nun, die Wahrnehmung dieser Stimuli über das direkt beobachtbare Verhalten zu untersuchen, denn das Ausmaß und die Zeit bis zum Erreichen einer Stimuluskontrolle ist abhängig von der Wahl der diskriminativen Stimuli (bei Konstanz aller anderen Faktoren).

Für Theorien des Diskriminationslernens bedeutet dies, daß sie explizit oder implizit ein Konzept des Stimulus und der Beziehung der Stimuli untereinander enthalten müssen, wenn sie über einzelne einfache Beispiele hinaus Erklärungswert beanspruchen wollen.

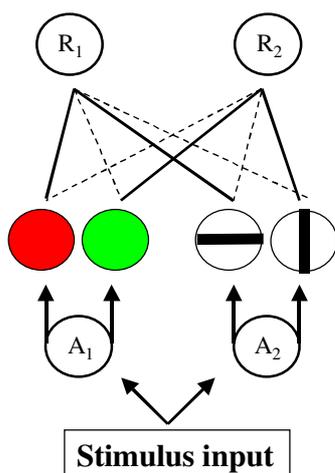
Im folgenden Kapitel sollen die wichtigsten Diskriminationstheorien vorgestellt werden, wobei der wichtigste Unterschied zwischen ihnen darin besteht, was in seinem Einfluß auf das Verhalten modifiziert wird: die Koppelung eines  $S_+$  oder US mit Merkmalen des diskriminativen Stimulus oder mit dem diskriminativen Stimulus als Ganzes. Demzufolge unterscheidet man zwischen sogenannten elementaren (engl. *elemental*) und konfiguralen (engl. *configural*) Diskriminationstheorien. Erstere lassen sich nach der Art der Modifikation des Verhaltens durch den Verstärker,  $S_+$  oder US, in kontinuierliche (engl. *continuity*) und nicht-kontinuierliche Theorien (engl. *non-continuity theories*) unterscheiden.

### 1.1.3.1 Elementare Diskriminationstheorien

Die erste einflußreiche Vorstellung zum nicht-kontinuierlichen Diskriminationslernen war die Idee eines Lernens durch Einsicht nach Krechevsky (1938). Er ging davon aus, daß im Rahmen einer simultanen Diskrimination, z.B. bei Darbietung zweier Stimuli im T-Labyrinth, Tiere erst erkennen müssen, was in der gegenwärtigen Reizsituation mit der Verstärkung

gekoppelt ist. Die zunächst zufällige Wahl der Tiere hängt nach Krechevsky (1938) damit zusammen, daß irrelevante Aspekte die Wahl der Tiere beeinflussen, z.B. der Ort (rechter oder linker Arm des Labyrinths) statt des hellen Stimulus bei einer Helligkeitsdiskrimination. Fällt die Wahl aber auf den relevanten Aspekt und das Tier macht die Erfahrung, daß es unter dieser Voraussetzung verstärkt wird, so sollte dies zu einem abrupten Anstieg der Diskriminationsleistung führen, gemessen als Anteil richtiger Wahlen an der Gesamtsumme aller Wahlen.

Diesen Ansatz haben Sutherland und Mackintosh (1971) zu einer Aufmerksamkeitstheorie des Diskriminationslernens ausgearbeitet. Sie unterscheiden dabei zwischen Analysatoren (engl. *analyzer*) und Antworten (engl. *responses*), die als zwei aufeinander folgende Ebenen das Diskriminationsverhalten steuern (Abb. 1.1). In der ersten Ebene der Analysatoren,  $A_1$  und  $A_2$ , wird der Stimulus zerlegt. Jeder Dimension entspricht dabei ein Analysator, dessen mögliche *outputs* die Werte der entsprechenden Dimension sind, z.B. *rot*, *grün*, *horizontal* oder *vertikal*. Zwischen diesen *outputs* und den möglichen Antworten,  $R_1$  und  $R_2$ , bestehen Verbindungen (engl. *response attachments*). In diesem Netzwerk gibt es zwei Möglichkeiten der Modifikation (engl. *two process model*) durch das Diskriminationslernen. Zum einen ist dies das Einschalten der relevanten Analysatoren und zum anderen die Verstärkung oder Abschwächung der Verbindung zwischen Analysator-*output* und Antwort. Das Einschalten der Analysatoren kann im Verhältnis zur Modifikation der Verbindung schnell gehen und stellt damit die nicht-kontinuierliche Komponente des Modells dar. Hierfür werden Aufmerksamkeitsprozesse angenommen, die selektiv Analysatoren an- oder abschalten. Die Modifikation der Antwortanbindungen erfolgt dagegen graduell abhängig von Ausmaß und Häufigkeit der Verstärkung (Sutherland & Mackintosh, 1971).



**Abbildung 1.1.** Schema der Aufmerksamkeitstheorie des Diskriminationslernens (engl. *two process model*) aus Sutherland und Mackintosh (1971). Erläuterung siehe Text.

Obgleich v.a. die nicht-kontinuierliche Aufmerksamkeitstheorie des Diskriminationslernens das Denken in ihrer Zeit beeinflusst hat (z.B. Riley & Roitblat, 1978), zumal sie zeitlich mit dem Wiederaufleben der Kognitionsforschung (z.B. Neisser, 1967) zusammengefallen ist, konnte sie sich nicht durchsetzen. Statt dessen ist mit dem Rescorla-Wagner-Modell eine kontinuierliche Diskriminationstheorie bis heute von großem Einfluß geblieben (Miller et al., 1995; Rescorla & Wagner, 1972; Siegel & Allan, 1996; Wagner, 1981; 2003). Das Rescorla-Wagner-Modell war ursprünglich als Gegenteil zur Aufmerksamkeitstheorie des Diskriminationslernens gedacht (Wagner, 2003), die ohne die Annahme von Aufmerksamkeitsprozessen auskommt. Das Modell ist außerdem einfacher und leichter anzuwenden, weil seine zentralen Annahmen sich in einer mathematischen Formel darstellen lassen, die die Modifikation des Assoziationswertes (engl. *associative value*) eines Stimulus auf der Grundlage einer Koppelung von zwei Stimuli beschreibt:

$$V_{j,n+1} = V_{j,n} + \Delta V_{j,n+1} \quad (1)$$

Die Gleichung besagt, daß der Assoziationswert  $V$  des Stimulus  $x_j$  in der Präsentation (engl. *trial*)  $n+1$  der Summe aus seinem Assoziationswert der

vorhergehenden Präsentation,  $V_{j,n}$ , und der Änderung des Assoziationswertes in der Präsentation  $n+1$ ,  $\Delta V_{j,n+1}$ , entspricht.

$$\Delta V_{j,n+1} = \alpha_j \beta_y d_n \quad (2)$$

mit  $0 \leq \alpha_j \leq 1$  und  $0 \leq \beta_y \leq 1$ .

Die Änderung des Assoziationswertes in der Präsentation  $n+1$ ,  $\Delta V_{j,n+1}$ , setzt sich zusammen aus der Auffälligkeit (engl. *saliency*) oder Konditionierbarkeit (engl. *conditionability*) von  $x_j$ ,  $\alpha_j$ , der Effektivität (engl. *effectiveness*) von  $y$  als US (oder Verstärker),  $\beta_y$ , sowie der verbleibenden Menge an Assoziationswert, der noch konditionierbar ist,  $d_n$ .

$$d_n = \lambda_y - \sum_{i=1}^m V_{i,n} \quad (3)$$

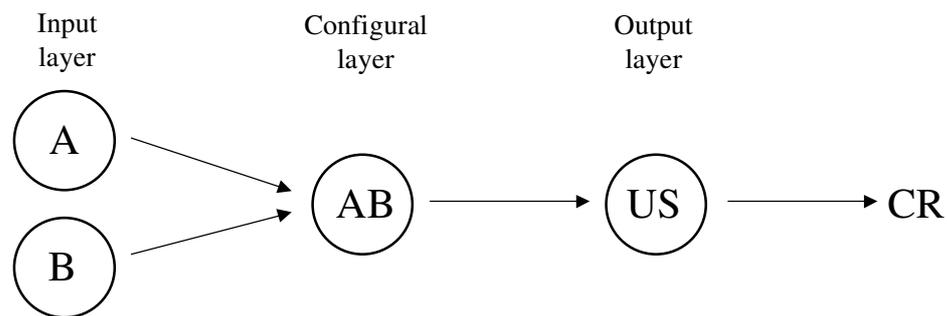
Der noch konditionierbare Assoziationswert,  $d_n$ , ergibt sich aus der Konstante für die Intensität (engl. *intensity* oder *magnitude*) des US  $y$ ,  $\lambda_y$ , abzüglich der bereits konditionierten Assoziationswerte, die sich aus der Summe der Assoziationswerte aller in der Präsentation  $n$  vorhandener Stimuli  $i$  mit  $1 \leq i \leq m$  errechnen (Pear, 2001; Rescorla & Wagner, 1972).

Dieses Modell wurde ursprünglich für die Erklärung der Stimulus-Stimulus-Konditionierung entwickelt (Rescorla & Wagner, 1972), läßt sich aber ebenso gut für das Diskriminationslernen auf der Grundlage der Response-Stimulus-Konditionierung einsetzen (Pear, 2001).

### 1.1.3.2 Konfigurale Diskriminationstheorien

Die bekannteste konfigurale Diskriminationstheorie wurde von Pearce (1987) vorgestellt und in den 90er Jahren im Rahmen eines konnektionistischen Modells, d.h. eines neuronalen Netzwerkmodells, weiterentwickelt (Pearce, 1994a; 2002). Das Modell geht von drei Schichten (engl. *layers*) aus (Abb. 1.2). Die erste ist die *input*-Schicht, deren Knoten (engl. *input units*) den Stimulusmerkmalen (engl. *features* oder *elements*) entspricht. Damit beinhaltet das Modell in seiner ersten Schicht eine Merkmalsanalyse und eine Zerlegung des Gesamtstimulus in unabhängige Merkmale. Diese Merkmale werden in einer zweiten Schicht, der sogenannten *hidden layer*, die Pearce (2002) als *configural layer* bezeichnet,

einzeln mit einem konfiguralen Knoten (engl. *configural unit*) verbunden (engl. *feature binding*). Die dritte Schicht stellt die *output*-Schicht dar, auf die die konfiguralen Knoten projizieren. Diese Projektion ist in ihrer Stärke abhängig von Lernprozessen. Für die Erklärung verschiedener empirischer Befunde werden eine ganze Reihe zusätzlicher Annahmen gemacht, die z.B. reziproke Projektion zwischen konfiguralen und *input*-Knoten oder exzitatorische Verbindungen von konfiguralen zu *input*-Knoten einschließen, um nur zwei von ihnen zu nennen.



**Abbildung 1.2.** Das konfigurale Netzwerkmodell (engl. *configural unit network*) nach Pearce (2002).

### 1.1.4 Generalisation und Ähnlichkeit

Eine wissenschaftliche Bearbeitung des Diskriminationslernens ist ohne ein Konzept der Beziehung zwischen unterschiedlichen diskriminativen Stimuli,  $S_{1-n}$ , nicht denkbar. Diese Beziehung, die subjektiver Natur ist, auch wenn sie von den physikalischen und damit objektiven Eigenschaften der Stimuli abhängig ist, wird allgemein als Ähnlichkeit bezeichnet. Es gilt, daß eine Reaktion, CR, die nach wiederholter Koppelung eines diskriminativen Stimulus  $S_1$  mit einem US, auf die Präsentation von  $S_1$  erfolgt, um so wahrscheinlicher auch auf  $S_2$  erfolgen wird, je ähnlicher  $S_2$  verglichen mit  $S_1$  ist. Diese Ähnlichkeit läßt sich nicht quantitativ darstellen, solange sie nicht mit psychophysikalischen Methoden untersucht worden ist. Sind dagegen die Stimulusdimensionen subjektiv skaliert, d.h. spiegeln sie die wahrgenommene Ähnlichkeit wider, so läßt sich auch der in diesem besonderen Fall immer gleichförmige Generalisationsgradient auftragen (Shepard, 1987), der die Abschwächung der Reaktionsstärke über die Dimensionen darstellt (Domjan, 1999; Hanson, 1959). Der Begriff der

Generalisation oder des Generalisationsdekrements (engl. *generalisation decrement*) bezeichnet damit die Abnahme der Reaktionsstärke als Funktion abnehmender Stimulusähnlichkeit. Somit läßt sich unter der Annahme eines von der Art des Stimulus unabhängigen Generalisationsprozesses (nicht aber von seiner Ähnlichkeit zu anderen Stimuli) nach Shepard (1987) aus dem Ausmaß der Generalisation einer Reaktion von  $S_1$  (auf den die Reaktion ursprünglich konditioniert wurde) auf  $S_2$  auf die wahrgenommene Ähnlichkeit zwischen diesen beiden diskriminativen Stimuli rückschließen. Danach sind zwei Stimulussituationen  $S_1$  und  $S_2$  einander ähnlich, wenn eine Reaktion, die mit  $S_1$  konditioniert wurde, auch bei einer Präsentation von  $S_2$  mit gleicher oder geringerer Wahrscheinlichkeit oder in gleicher oder geringerer Intensität auftritt. Eine Ausnahme von dieser Definition stellt der *peak-shift*-Effekt dar (Domjan, 1999; Hanson, 1959). Er bezeichnet ein Phänomen, bei dem es durch das Diskriminationslernen, d.h. durch die zusätzliche Verwendung eines negativen Stimulus (S.) mit dem kein oder ein hedonisch negativer US gekoppelt ist, zu einer Modifikation des Generalisationsgradienten kommt. Hierbei verschiebt sich das Maximum des Gradienten von der nicht verstärkten Stimulussituation S. weg und liegt dadurch nicht mehr bei der ursprünglich verstärkten Stimulussituation  $S_1$ , die in diesem speziellen Fall des Diskriminationslernens besser  $S_+$  genannt würde (Domjan, 1999; Hanson, 1959).

#### 1.1.4.1 Ähnlichkeit in merkmalsbasierten Diskriminationstheorien

Im Rahmen merkmalsbasierter Diskriminationstheorien, zu denen hier auch die konfigurale Theorie von Pearce (1987; 1994a; 2002) gezählt wird, ist das Ausmaß der Generalisation einer Reaktion auf  $S_2$  definiert durch die Zahl gemeinsamer Merkmale von  $S_1$  und  $S_2$  unter Berücksichtigung aller Merkmale von  $S_1$  und  $S_2$ . Formal ist dies in Anlehnung an Gleichung 4 in Pearce (2002) folgendermaßen darzustellen:

$$s_1s_2 = N_C/N_{S_1} * N_C/N_{S_2} \quad (4)$$

wobei  $s_1s_2$  die Ähnlichkeit zwischen  $S_1$  und  $S_2$  ist,  $N_C$  die Zahl gemeinsamer input-Einheiten und  $N_{S_1}$  bzw.  $N_{S_2}$  die Zahl der input-Einheiten für jeden Stimulus

alleine. Da Pearce input-Einheiten und Stimulusmerkmale synonym verwendet, entspricht diese Formel dem oben gesagten.

Damit ergibt sich das Ausmaß der Generalisation zwischen zwei mehrdimensionalen Stimuli aus den ihnen gemeinsamen Werten, die im Rahmen merkmalsbasierter Theorien als Merkmale (engl. *features*) oder Elemente (engl. *elements*) bezeichnet werden (siehe auch Rescorla & Wagner, 1972). Vereinfacht läßt sich sagen, je mehr Merkmale zwei Stimulussituationen gemeinsam haben, um so ähnlicher sind sie einander.

Dieser Ansatz vernachlässigt allerdings die dimensionale Struktur des Stimulus, da alle Merkmale prinzipiell gleichwertig sind. Die Verwendung von Gewichtungsfaktoren, die perzeptive Aspekte wie die Auffälligkeit (engl. *saliency*) eines Merkmals oder das Ergebnis von Aufmerksamkeitsprozessen repräsentieren könnten, würde das merkmalsbasierte Konzept der Ähnlichkeit zwar flexibler und komplizierter machen, wäre aber dennoch nicht in der Lage, Interaktionen, d.h. Abhängigkeiten, zwischen den Stimulusdimensionen zu berücksichtigen.

#### **1.1.4.2 Exkurs: Der Schlüsselreiz**

Im Rahmen der Verhaltensforschung in der Biologie sind Stimuli und durch sie ausgelöste Verhaltensweisen ebenso wie in der Lernpsychologie von zentraler Bedeutung. Dies wird durch die häufige Verwendung des Begriffes „Schlüsselreiz“ deutlich. Demzufolge gibt es auch in dieser wissenschaftlichen Disziplin eine mehr oder weniger explizite Theorie des Stimulus. Sie soll im Folgenden anhand der Experimente zum Schlüsselreiz von Tinbergen (1950) skizziert werden.

Passend zu der zeitgenössischen Strömung der Gestaltpsychologie macht Tinbergen (1953) deutlich, daß Schlüsselreize Gestalten sind und damit aus mehreren für das Verhalten relevanten Aspekten bestehen. Demzufolge untersucht er in seinen Attrappenversuchen unterschiedlichste Stimulusaspekte hinsichtlich ihrer Fähigkeit ein bestimmtes Verhalten auszulösen. Dabei geht er so vor, daß er immer nur eine Dimension variiert, während er die anderen bei einem Wert konstant hält, der das interessierende Verhalten effektiv auslöst. Damit ist sein Vorgehen den lernpsychologischen Generalisationsexperimenten sehr ähnlich. Als Beispiel eines Ergebnisses seiner Untersuchungen mag seine Zusammenfassung

der Arbeiten zur Gestalt des Schnabelflecks und der damit verbundenen Fähigkeit, eine Pickreaktion bei frisch geschlüpften Silbermöwenküken auszulösen, genügen. Er gibt folgende relevante Stimulusdimensionen an, die alle das Ausmaß der Pickreaktion beeinflussen: Farbe des Fleckes; Helligkeitskontrast zwischen Fleck und Schnabel; Lage des Fleckes; Form, Länge und Haltung des Schnabels.

Dennoch wird der Schlüsselreiz als einfacher und eng umgrenzter Aspekt der Umwelt betrachtet, bis hin zu der Vorstellung, einzelne Merkmale eines Objektes würden einzelne, und möglicherweise unterschiedliche, Verhaltenstendenzen auslösen. So interpretiert Tinbergen (1950) einen Wahlversuch mit Silbermöwen, denen er alternativ zu einem Nest mit „natürlich“ gefärbten Eiattrappen aus Holz eines mit Eiern anderer Farbe anbot, folgendermaßen: „Die roten Eier sind höchst anziehend geformt, doch abstoßend gefärbt. Das Rot löst Hacken, die runde Eiform Brüten aus, und daraus gibt sich das seltsame Antwortgemisch... (1950/1958, p. 156)“. Diese Darstellung entspricht den merkmalsbasierten Konzepten des Behaviourismus. Auch nach Tinbergens Auffassung sind einzelne Stimulusmerkmale mit Reaktionen oder Reaktionstendenzen verbunden. Nur liegt in diesem Fall keine gelernte, sondern eine angeborene Verbindung vor.

Im Gegensatz zu dieser einfachen und damit theoretisch attraktiven Auffassung zeigen Tinbergens (1950) Versuche zum Zusammenhang zwischen der Gestalt des Schnabelflecks und der Pickreaktion von frisch geschlüpften Möwenküken die Komplexität eines Schlüsselreizes.

Eine mögliche Interpretation seiner Befunde, die der Vielzahl der Stimuluseigenschaften gerecht würde, wäre die Annahme, daß ein Schlüsselreiz aus einer Anzahl unabhängiger Merkmale besteht, die für die effektive Auslösung einer Reaktion zusammen erscheinen müssen. Dies wäre dem Gestalt-Begriff insoweit verwandt, als mehrere Aspekte für die Auslösung eines Verhaltens bedeutsam sind. Tinbergen stellt sein Stimuluskonzept nicht explizit vor, aus dem Zitat oben wird aber deutlich, daß er die Reaktionen in vergleichbarer Weise von isolierten Merkmalen gesteuert sieht. In einem weiteren Zitat wird deutlich, daß er möglicherweise auch nur einzelne Aspekte und nicht mehr den aus ihnen bestehenden Stimulus als Schlüsselreize bezeichnet. So schreibt er: „Für uns ergibt sich daraus erstens, daß der rote Fleck umso weniger wirkt, je weiter er von der Schnabelspitze entfernt ist, zweitens daß die Spitze selber noch andere wichtige Schlüsselreize aussenden muß (ebd., p. 202)“.

Obwohl sich Tinbergen also der Komplexität der Beziehung zwischen Stimulussituation und Verhalten durchaus bewußt ist, vereinfacht er die Befunde seiner Untersuchungen drastisch. Vergleichbar ist die Situation bei den Arbeiten von Ewert, einem Vertreter der gegenwärtigen Neuroethologie. Er untersucht sowohl die Beziehung zwischen Schlüsselreiz und Reaktion als auch deren neuronales Substrat. Dabei bezieht er sich auf Tinbergen und verwendet wie dieser den Begriff der Gestalt (Ewert, 1997a; b). Er stellt deutlich heraus, daß das Beutefangverhalten der Erdkröte nicht auf einem einzigen einfachen Merkmal als Schlüsselreiz beruht, sondern auf einer Kombination oder, wie er selber sagt, einer Konfiguration von zwei Merkmalen, nämlich der Orientierung einer rechteckigen Figur und seiner Bewegungsrichtung (Wachowitz & Ewert, 1996). Obwohl sein Konzept des Schlüsselreizes mit der Konfiguration zweier Merkmale von der einfachen Vorstellung abweicht, die einzelne Merkmale als Auslöser von Verhalten betrachtet, so geht auch er von einer Kontrolle des Verhaltens durch voneinander unabhängige Merkmale aus. Dies wäre nach der hier vertretenen Auffassung ebenfalls ein merkmalsbasierter Erklärungsansatz.

## 1.2 Der Verbundstimulus

Stimuli, wie sie in der klassischen Psychophysik untersucht wurden, entsprechen gewöhnlich einer Anzahl von Werten, die entlang einer physikalischen Dimension angeordnet werden können. So läßt sich z.B. die Dimension Lautstärke eines Sinustons, dessen andere Dimensionen (Frequenz, Ort der Geräuschquelle etc.) konstant gehalten werden, entlang verschiedener Werte variieren, die sich prinzipiell mit einem numerischen Wert und der Einheit Dezibel angeben lassen, weil physikalische Stimuli skalierbar sind. Ein eindimensionaler Stimulus besitzt damit nicht nur eine Dimension, sondern er unterscheidet sich von anderen im Rahmen eines Experimentes ebenfalls relevanten Stimuli nur innerhalb einer Dimension. Alle anderen Dimension werden konstant gehalten. Es gibt keine Stimuli, die nur aus einer Dimension bestehen. Dies bleibt in vielen Fällen unberücksichtigt und man ist verleitet, denjenigen Aspekt des Stimulus als den relevanten für das Verhalten des Versuchsobjektes zu erachten, der uns als menschliche Experimentatoren am auffälligsten erscheint.

Der Unterschied zu zwei- und mehrdimensionalen Stimuli besteht damit nicht eigentlich in der Zahl der vorhandenen Dimensionen, sondern in der Zahl der

variierenden Dimensionen. Solche mehrdimensionalen Stimuli werden als Verbundstimuli (engl. *compound stimuli*) bezeichnet. Im Vergleich zu einer Diskrimination mit zwei Alternativen, die zwei Werten einer Dimension entsprechen (z.B. 100 und 10000 Lux der Dimension Helligkeit), erweitert sich mit den Verbundstimuli der Untersuchungsgegenstand. Denn die beiden Dimensionen können, obgleich sie physikalisch unabhängig sind und sich damit unabhängig voneinander variieren lassen, für den wahrnehmenden Organismus abhängig sein. Damit entsteht die Frage, wie der Einfluß der Variation jeder einzelnen der Dimensionen sich zu einem gemeinsamen Einfluß kombiniert. Dies ist die Frage nach der Kombinationsmetrik in einem zwei- oder mehrdimensionalen Stimulusraum, mit der sich die multidimensionale Psychophysik beschäftigt (Ashby, 1992; Gärdenfors, 2000; 2001; Gregson, 1975; Shanks, 1995). Je näher Stimuli einander in einem solchen Stimulusraum sind, um so ähnlicher sind sie einander, d.h. um so ähnlicher ist ihr Einfluß auf die Perzeption oder das Verhalten des Organismus.

Von Kendler und Kollegen wurde die Diskrimination von Verbundstimuli im Rahmen einer Kontinuitätstheorie formalisiert (Kendler et al., 1970). Für den Fall, daß Komponenten einer Dimension einen stärkeren Einfluß auf die Diskrimination von Verbundstimuli haben als die Komponenten einer anderen Dimension, nehmen sie eine unterschiedliche Ähnlichkeit zwischen den Komponenten jeder Dimension an. Die Diskrimination von Verbundstimuli bestehend aus den Dimensionen FARBE (*rot* und *grün*) und FORM (*Dreieck* und *Kreis*) war bei ihren Laborratten stärker von den Farben beeinflusst als von den Formen. Gemäß ihrer Theorie waren die Komponenten (engl. *cues*) der Dimension FARBE einander unähnlicher als die beiden Komponenten der Dimension FORM es untereinander waren: *Dreieck* und *Kreis* sind ähnlicher als *rot* und *grün*. Verbunden mit dem Konzept der Generalisation bedeutet dies, daß die größere Ähnlichkeit mit einer stärkeren Überlappung der Generalisationsgradienten für jede Komponente verbunden wäre. Dementsprechend käme es zu einer Angleichung der Pickhäufigkeiten und damit zu einer schlechteren Diskrimination.

### **1.2.1 Separabel vs. integral**

Die Frage nach der Kombinationsmetrik, d.h. nach dem Ausmaß perzeptiver Abhängigkeit verschiedener Dimensionen, entspricht der Frage nach der Separabilität oder Integralität zweier Dimensionen. Sie bezeichnen ein einziges Kontinuum der perzeptiven Abhängigkeit. An ihren Endpunkten sind zwei Dimensionen separabel, d.h. sie sind perzeptiv „ziemlich“ unabhängig, oder sie sind integral, d.h. sie sind perzeptiv „ziemlich“ abhängig. Dem ersten Fall entspricht im Idealfall die Summenmetrik (engl. *city-block-metric*) und dem zweiten die Euklidische Metrik (Kemler Nelson, 1993; Shepard, 1991).

Nach Lockhead (1966) und Garner (1974) verbinden sich mit der Separabilität oder Integralität von Verbundstimuli zwei unterschiedliche Arten der Informationsverarbeitung, die als analytisch im Fall separabeler oder holistisch im Fall integraler Verbundstimuli bezeichnet werden (siehe auch Monahan & Lockhead, 1977; Garner & Felfoldy, 1970). Das größte Problem dieser Unterscheidung ist die Schwierigkeit anhand der physikalischen Eigenschaften eines Verbundstimulus vorherzusagen, ob seine Verarbeitung eher analytisch oder eher holistisch sein wird, bzw., ob es sich um einen separablen oder integralen Verbundstimulus handelt (Shepard, 1991). Von Monahan und Lockhead (1977) wurde zwar der Versuch unternommen, Integralität zu definieren, diese Definition hat sich aber nicht durchsetzen können. Die Autoren schlugen vor, daß zwei Dimensionen immer dann integral sind, wenn sie zu einer dritten übergeordneten Dimension gehören. Nach wie vor sind dafür Leistungsdaten des zu untersuchenden Organismus notwendig. Es werden allgemein vier Kriterien unterschieden, die die Separabilität oder Integralität zweier Stimulusdimensionen bei Menschen definieren (z.B. Garner, 1974; Kemler Nelson, 1993; Shepard, 1991):

- 1) Bei der Skalierung der Ähnlichkeit in Stimulusräumen gilt die Summenmetrik (engl. *city-block-metric*) für separabele und die Euklidische Metrik für integrale Verbundstimuli;
- 2) Die freie Klassifikation (ohne Instruktion von Kriterien) von Verbundstimuli mit separablen Dimensionen erfolgt entsprechend der dimensional Struktur, diejenige von Verbundstimuli mit integralen Dimensionen erfolgt nach globaler Ähnlichkeit (engl. *overall similarity*);

- 3) Eine Klassifikation unter Zeitdruck (engl. *speeded classification*, nach vorgegebenen Kriterien) mit einer orthogonalen Kategoriedefinition, bei der zwei Dimensionen unabhängig voneinander variieren, von denen eine die Kategoriezugehörigkeit der Stimuli definiert, führt zu einer Interferenz bei der Verarbeitung integraler aber nicht bei Verarbeitung separabler Verbundstimuli;
- 4) Eine Klassifikation unter Zeitdruck mit einer redundanten Kategoriedefinition, bei der beide Dimensionen gleichermaßen die Kategoriezugehörigkeit eines Stimulus festlegen, führt zu einer Verbesserung der Leistung mit integralen aber nicht mit separablen Verbundstimuli.

Um die Unterschiede in den Klassifikationsleistungen zwischen den beiden Arten von Verbundstimuli zu erklären, haben Lockhead (1966) und Garner (1974) eine 2-Stufen-Theorie der Verarbeitung vorgeschlagen, nach der integrale Stimuli in der Reihenfolge holistisch-analytisch verarbeitet werden; separable Stimuli dagegen in der Reihenfolge analytisch-holistisch. Diese unterschiedliche Reihenfolge sorgt für längere Verarbeitungszeiten bei den entsprechend ungünstigen Kombinationen von Stimulusart und Kategoriedefinition.

Entwicklungspsychologische Arbeiten haben gezeigt, daß Stimuli, die von erwachsenen Probanden vornehmlich (d.h. nach der 2-Stufen-Theorie in der ersten Stufe) analytisch verarbeitet werden, von Kindern zunächst holistisch und erst später analytisch verarbeitet werden (Smith & Evans, 1989; Ward, 1983). Daher wird angenommen, daß es einen Entwicklungstrend gibt, der stimulusunabhängig von einer primär (d.h. in der ersten Stufe) holistischen Verarbeitung ausgeht, die dann für separable Stimuli in eine primär analytische Verarbeitung übergeht. Demnach ließe sich spekulieren, daß es sich bei der holistischen im Vergleich zur analytischen Verarbeitung um eine einfachere und damit möglicherweise ursprünglichere Verarbeitungsstrategie handelt. Auch bei Makaken wurde eine holistische Verarbeitung separabler Verbundstimuli gezeigt (Cox & D'Amato, 1982). Dagegen gibt es für Tauben widersprüchliche Befunde. Lamb (1988) und Lamb und Riley (1981) zeigten analog den Befunden am Menschen eine analytische Verarbeitung separabler und eine holistische Verarbeitung integraler Verbundstimuli, während Leith und Maki (1977) und Cook und Kollegen (1992) eine analytische Verarbeitung beider Verbundstimulusarten fanden.

## **1.2.2 Merkmalsbasierte Erklärungsansätze**

Aus den lernpsychologischen Konzepten des Diskriminationslernens und den psychophysikalischen Konzepten der Stimulusverarbeitung ergeben sich Berührungspunkte, die den Einfluß der Eigenschaften des Stimulus auf das Verhalten betreffen. In die Diskriminationstheorien gehen mehr oder weniger explizit Theorien zum Stimulus mit ein. So wird im Zusammenhang mit Stimuluseigenschaften nicht von Werten und den ihnen übergeordneten Dimensionen gesprochen, sondern von Merkmalen oder Elementen. Diese Begriffe bezeichnen die gleiche Stimuluseigenschaft, berücksichtigen aber nicht deren physikalische Beziehungen im Sinne hierarchischer Strukturen, Abhängigkeit und Unabhängigkeit sowie Skalierbarkeit. Mit dem Begriff des Merkmals oder Elements wird oft ein unabhängiger, in seiner Bedeutsamkeit prinzipiell gewichtbarer Teil eines Ganzen verstanden. Seine Position zwischen einem theoretischen kleinsten Element und dem Ganzen ist nicht definiert und ergibt sich aus dem „*common sense*“ oder *a posteriori* aus dem Nutzen für eine Erklärung der empirischen Befunde, weniger aus den physikalischen Eigenschaften des Stimulus. Dieser Vorgehensweise wird durch den zunehmenden Einfluß der Neurowissenschaften Vorschub geleistet, indem zu Merkmalen und Elementen noch die Einheiten (engl. *units*) hinzukommen. Konnektionistische oder neuronale Netzwerkmodelle arbeiten mit Einheiten, die eine Analogie zum Gehirn insoweit darstellen, als dessen Funktionieren ebenfalls auf einer Vielzahl untereinander verbundener Einheiten, den Neuronen, beruht. Das Problem der kleinsten Stimuluseinheit kann damit in der kleinsten Einheit des informationsverarbeitenden Organs oder des Modells eines Teiles von ihm seine Antwort oder Fortsetzung finden. Dieses Phänomen findet sich sowohl in den input-Schichten der merkmalsbasierten Theorie von McLaren und Mackintosh (2000; 2002) als auch in der konfiguralen Theorie von Pearce (2002).

Grundsätzlich ergibt sich die lernpsychologisch relevante Frage, wessen Assoziationswert durch eine Kopplung verschiedener Verbundstimuli modifiziert wird: die des Verbundstimulus als Ganzes oder die der Merkmale, aus denen er besteht. Im letzteren Fall wäre weiter zu fragen, wie die Assoziationswerte der Merkmale von Verbundstimuli miteinander interagieren. Weiter schließt sich die Frage an, wie die Generalisation von Reaktionen zwischen Verbundstimuli zu beschreiben ist.

Die vorgestellten Diskriminationstheorien unterscheiden sich in ihrer Antwort auf die Frage, was einen bestimmten Assoziationswert aufweist, in elementare und konfigurale Theorien. Elementare Diskriminationstheorien ordnen den Assoziationswert den Merkmalen zu. Ihre Antwort auf die Frage der Kombination von Assoziationswerten in Verbundstimuli ist, daß der Assoziationswert eines Verbundstimulus durch eine Addition der Assoziationswerte der Merkmale gegeben ist. Die Generalisation ist abhängig von der Ähnlichkeit, die sich aus der Zahl gemeinsamer Merkmale im Verhältnis zu der Gesamtzahl der Merkmale beider Verbundstimuli ergibt (z.B. Rescorla & Wagner, 1972).

Die konfigurale Diskriminationstheorie von Pearce (1994a; 2002) dagegen verbindet den Assoziationswert mit der konfiguralen Einheit des Netzwerkes, d.h. mit der Kombination aller Merkmale des Verbundstimulus, während sich die Generalisation zwischen Verbundstimuli ebenso wie bei den elementaren Theorien herleitet.

### **1.3 Beiträge der Neurophysiologie**

Im Zusammenhang mit der Diskussion merkmalsbasierter und exemplarbasierter Erklärungsansätze wird häufig unter dem Begriff der „konvergierenden Evidenzen“ auf Befunde der Neurophysiologie verwiesen, um Argumente für den merkmalsbasierten Ansatz zu liefern. Vor allem die klassischen Arbeiten von Hubel und Wiesel (z.B. Hubel, 1988) haben gezeigt, daß im primären visuellen Kortex einzelne Stimulusaspekte in unterschiedlichen Bereichen verarbeitet werden. Dabei haben sie Neurone unterschieden, die ihr Aktivitätsmaximum in unterschiedlichen Stimulussituationen zeigten. Die verwendeten Stimuli waren z.B. Linien verschiedener Orientierung. Je weiter man im visuellen Kortex mit der Ableitung von occipital nach temporal geht, um so komplexer werden die Stimuli, die eine maximale Aktivität einzelner Neurone hervorrufen.

Diese Befunde finden ihren Widerhall in einer Theorie der hierarchisch konvergierenden Objekterkennung, bei der Neurone der untersten Ebene als Merkmalsdetektoren für das Extrahieren von Merkmalen aus der Stimulussituation zuständig sind, während diese Information auf höheren Ebenen wieder konvergiert, um komplexere Reize zu repräsentieren. Am Ende dieser „Verarbeitungspyramide“ stünden im Extremfall gnostische Neurone, wie sie von

Konorski (1967) vorgeschlagen wurden. Ihre Aktivität wäre das neuronale Äquivalent des Erkennens eines Objektes.

Gegen die Evidenzen dieser Befunde und Theorien ließe sich anführen, daß eine Selektivität von Neuronen zu erwarten ist, weil ohne sie schon alleine eine Koordination der verschiedenen Muskeln für einen Bewegungsablauf undenkbar wäre. Daß diese Selektivität mit zunehmender Entfernung vom Ort des Eintreffens der Information aus den Rezeptorzellen und abnehmender Entfernung zum Ort der Initiation motorischer Handlungen sich von der Repräsentation einzelner Rezeptorzellen (= geringe Komplexität) hin zu der Repräsentation der Informationen vieler Rezeptorzellen (= hohe Komplexität) verändert, ist ebenfalls zu erwarten, denn das Objekt der Handlung ist ein komplexer Reiz. Darüber hinaus gibt es theoretische Alternativen, die von einer Repräsentation durch Populationen von Neuronen ausgehen, die über weite Strecken im Gehirn verteilt sind (engl. *parallel distributed processing*; McClelland & Rumelhard, 1985; 1988). Dieser Ansatz widerspricht der Selektivität einzelner Neurone nicht (Page, 2000).

Auf der Grundlage dieser Befunde von einer Evidenz für eine merkmalsbasierte Stimulusverarbeitung zu sprechen, ist mindestens voreilig, da eine Verhaltensrelevanz von untereinander unabhängigen Merkmalen, wie sie der Begriff des Merkmalsdetektors nahelegen und wie es den elementaren Theorien des Diskriminationslernens entsprechen würde, noch zu zeigen wäre. Darüber hinaus ist die Diskussion der Implikationen neurowissenschaftlicher Befunde für die Verhaltenswissenschaften in vollem Gange, wobei die Positionen zwischen keinerlei Implikationen (Oatley, 1978; Uttal, 1998; 2000; 2003) und dem Ersetzen der Verhaltenswissenschaften durch die Neurowissenschaften (Eliminativismus, *neuron doctrine*) schwanken (Churchland, 1988; Gold & Stoljar, 1999).

## 1.4 Vergleichende Forschung

Die Untersuchung psychologischer Phänomene bei Tieren, insbesondere Aspekte des Lernens und der Stimuluswahrnehmung, kann unterschiedliche Ziele verfolgen. Das theoretisch am leichtesten zu begründende ist ein Interesse an den kognitiven Leistungen einer Tierart. Dieses kann in anatomischen (z.B. eine besonders großes Gehirn) oder ökologischen Besonderheiten (z.B. das Leben in

einem Sozialverband mit komplexer Struktur) dieser Art wurzeln, aber auch in Verhaltensauffälligkeiten, die besondere Leistungen dieser Art vermuten lassen (z.B. das Aufspüren ungewöhnlicher Futterquellen im anthropogenen Lebensraum). So läßt sich zum Beispiel zeigen, daß Funktionen, die man bisher nur dem Menschen zurechnet, v.a. die Sprache, auch bei anderen Spezies gezeigt werden können (z.B. Gardner & Gardner, 1985; Herman, 1986; Moynihan & Rodaniche, 1982; Pepperberg, 2002; Rumbaugh et al., 1985; von Frisch, 1927; Wynne, 2001; vgl. Macphail, 1982). Darüber hinaus legt die mittlerweile große Anzahl kognitiver Untersuchungen bei unterschiedlichsten Tierarten nahe, daß kognitive Leistungen nicht nur kostspielige Entwicklungen weniger großhirniger Tiergruppen sind (z.B. Shettleworth, 1998; Wynne, 2001).

Im Rahmen evolutionsbiologischer Fragestellungen, die phylogenetische Aspekte in den Vordergrund stellen, kann die vergleichende Untersuchung eines Merkmals, sei es ein anatomisches oder ein Verhaltensmerkmal, von besonderer Bedeutung sein. Eine Untersuchung von Tiergruppen, die sich zeitlich nacheinander entwickelt haben, könnte Aufschluß darüber geben, wie sich Merkmale über die Zeit entwickelt haben, wie und wann sie entstanden sind und wie und wann sie sich verändert haben (z.B. Bitterman, 1960; 1965; 1975). Vergleiche dieser Art sind aber stark kritisiert worden, v.a. wenn sie auf einer stark vereinfachten Vorstellung von der Phylogenese in Form einer *scala naturae* basierten (Hodos & Campbell, 1969). Berücksichtigt man aber die Überlegung, daß es keine direkte Sequenz zwischen rezenten Tiergruppen geben kann, sondern nur Rückschlüsse auf einen gemeinsamen Vorfahren möglich sind, so kann ein Vergleich einen Anhaltspunkt für eine zeitliche Entwicklungsfolge eines Merkmals liefern (Campbell, 1976).

Eine solche Entwicklungsfolge bleibt aber naturgemäß „nur“ plausibel, denn sie stellt eine historisierende Interpretation dar und kann nicht Gegenstand experimenteller Forschung sein (Popper, 1987). Da Entwicklung im Sinne eines evolutionären Prozesses seit Darwin als Resultat der Wirkung von Selektionsdrücken der Umwelt auf den lebenden Organismus, d.h. dessen Phänotyp, aufzufassen ist, besteht prinzipiell immer die Möglichkeit analoger Entwicklungen. Ihnen zufolge sind Merkmale aufgrund funktioneller Rahmenbedingungen ähnlich, ohne daß ihnen ein verwandtschaftliches Verhältnis der Merkmalsträger zugrunde liegt (Homologie vs. Analogie). Der Vergleich

spielt aus der Sicht einer an der Funktion interessierten Evolutionsbiologie ebenfalls eine große Rolle, da er es möglich macht, den Einfluß ökologischer Parameter auf den Organismus zu untersuchen. Dadurch kann geklärt werden, welche Umweltparameter zur Ausprägung bestimmter Merkmale führen und welche Mechanismen dabei eine Rolle spielen.

Schließlich kann ein Vergleich dazu dienen, einzelne Mechanismen innerhalb einer komplexen Funktion sichtbar zu machen. Zum Beispiel kann der Umstand, daß eine Tierart eine bestimmte Aufgabe lösen kann, die eine andere Tierart dagegen nicht oder anders löst, ein Hinweis auf kognitive Mechanismen sein, die für das Lösen der Aufgabe notwendig oder hilfreich sind. Man könnte nun durch den Vergleich der beiden Arten in anderen Aufgaben oder durch die Hinzunahme weiterer Arten versuchen, diese Mechanismen weiter einzugrenzen (z.B. Bitterman & Mackintosh, 1969; Mackintosh, 1969).

### **1.4.1 Das Haushuhn als Forschungsgegenstand**

Vögel sind ebenso wie der Mensch stark visuell orientiert. Sie haben verhältnismäßig große Augen (Nickel et al., 1973) Für die Futtersuche spielt ein relativ schmaler frontaler binokularer Bereich des Gesichtsfeldes eine große Rolle. Der größte Teil des Gesichtsfeldes ist monokular und die Stellung der Augen ist entsprechend lateral am Kopf. Die Spezialisierung auf ein bin- und monokulares Sehen findet bei Hühnern und Tauben ihren Ausdruck in zwei Areaschärfsten Sehens, die entweder dorsosuperior oder zentral in der Retina gelegen sind (Bloch & Martinoya, 1982; Nye, 1973; Salomon, 1993; Starck, 1982). Die Retina der Vögel ist der des Menschen in Aufbau und Schichtung ähnlich (Hayes, 1982; Martin, 1985). Die Sehstärke der Taube ist mit der des Menschen vergleichbar (Hodos, 1993). Darüber hinaus wird eine parallele Entwicklung der visuellen Hirnareale von Vögeln und Säugern diskutiert (Güntürkün, 1984).

Die Bedeutung der visuellen Information für das Huhn wird auch in seiner Biologie deutlich. Hühnervögel (*Galliformes*) tragen häufig auffällige Körpermerkmale. Zu ihnen gehören beim Haushuhn v.a. der Kopfschmuck, Kamm und Kehllappen, aber auch eine ausgeprägte und besonders gezeichnete Schwanz- und Halsbefiederung, v.a. bei den Hähnen. Folgt man den Theorien der „Guten Gene“, wie z.B. der Signal-Theorie oder des Handicap-Prinzips Zahavis (1975; Zahavi & Zahavi, 1997), so sollte dieser Schmuck im Zusammenhang mit

der Fortpflanzung von großer Bedeutung sein, da er den Hennen die Fitneß des Hahns anzeigt (Ligon et al., 1990; Zuk et al., 1992). Dementsprechend konnte gezeigt werden, daß die Ausprägung des Schmuckes mit der Parasitenfreiheit des Hahns korreliert und daß Hennen Hähne mit ausgeprägterem Schmuck bevorzugen (Hamilton & Zuk, 1982; Zuk et al., 1990a; b; c).

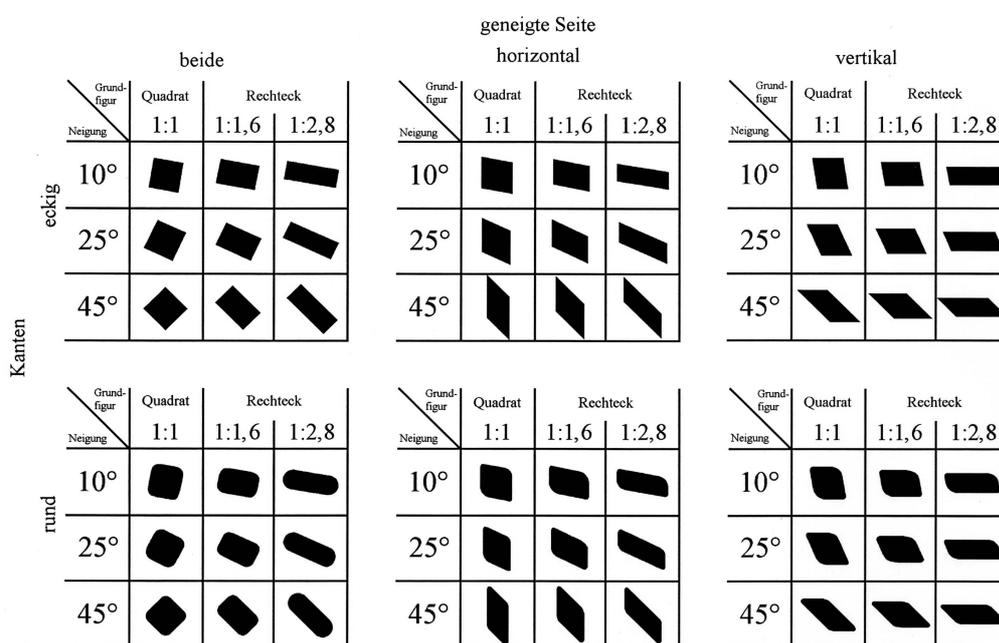
Ein weiteres Beispiel, das die biologische Bedeutung visueller Informationsverarbeitung für das Huhn zeigt, ist der Sozialverband in dem v.a. die Hennen leben. Schjelderup-Ebbe (1922) hat erstmalig beschrieben, daß für die Aufrechterhaltung des Sozialverbandes das individuelle Erkennen der Gruppenmitglieder eine Voraussetzung ist (s. auch Masure & Allee, 1934). Diese Individualerkennung scheint ebenfalls von visuellen Aspekten, v.a. den Kopfpunkten (Kamm und Kehllappen), der individuellen Henne abhängig zu sein (Bradshaw, 1991; 1992; Bradshaw & Dawkins, 1993; Dawkins, 1995; Guhl & Ortman, 1953; Marks et al., 1960).

Darüber hinaus zeigen Haushühner eine enorme Variabilität des äußeren Erscheinungsbildes, die mit erheblichen anatomischen Veränderungen einher geht. Zu den psychologisch gesehen interessantesten von ihnen zählt die Entwicklung einer Schädelprotuberanz beim Holländer Haubenhuhn, die mit einem vergrößerten Innenvolumen des Schädels verbunden ist (Darwin, 1868; Frahm & Rehkämper, 1998; Requate, 1959). Dieser Raum wird von einem Gehirn ausgefüllt, das einerseits vergrößerte Ventrikelsysteme aufweist, andererseits aber auch vergrößerte di- und telencephale Strukturen im Vergleich zu einer ganzen Reihe von Vergleichsrassen ohne Haube aufweist (Frahm & Rehkämper, 1998). Möglicherweise sind mit diesen Hirnunterschieden auch Unterschiede im Verhalten verbunden. So sind z.B. das Neostriatum und das Hyperstriatum ventrale/dorsale der Holländer Weißhauben vergrößert (Frahm & Rehkämper, 1998). Da es sich hierbei um multimodale Regionen handelt, die u.a. für Gedächtnisleistungen verantwortlich sind (Güntürkün, 1997; Johnson & Horn, 1987; McCabe & Nicol, 1999; Nicol et al., 1995), liegt die Vermutung nahe, daß auch Unterschiede in kognitiven Leistungen bestehen könnten.

## **1.5 Eigene Vorarbeiten**

Im Rahmen von Kategorisierungsexperimenten mit multidimensionalen geometrischen Figuren (Abb. 1.3) konnte am Beispiel der Rasse Chabo gezeigt

werden, daß Haushühner, prinzipiell in der Lage sind, komplexes Stimulusmaterial nach geometrischen Aspekten zu kategorisieren (Werner & Rehkämper, 1999). Dabei wurden sie nicht nur trainiert, auf zwei Gruppen von Figuren unterschiedliche Reaktionen zu zeigen, nämlich Picken der verstärkten und Vermeiden der nicht-verstärkten Figuren, wie es einer um zusätzliche Stimuli erweiterten Diskrimination mit zwei Alternativen entspräche (Pearce, 1994b), sondern auch mit neuen Stimuli konfrontiert, die sie vorher nicht gesehen hatten. Die korrekte Klassifikation oder Kategorisierung unbekanntem Stimulusmaterials gilt als eigentlicher Beleg einer Kategoriebildung durch das Tier (Wright, 1992).



**Abbildung 1.3.** Geometrische Figuren verändert nach Werner und Rehkämper (1999). Zur Definition der beiden zu diskriminierenden Kategorien diente die Dimension KANTEN mit den Werten *rund* und *eckig*. Die Werte aller anderen Dimensionen waren ebenso häufig Teil der Exemplare der verstärkten wie der nicht verstärkten Kategorie.

Darüber hinaus wurde versucht, diese Leistung der Hennen mit einem merkmalsbasierten Ansatz, wie er in der Literatur zu Kategorisierungsleistungen bei Tieren häufig gefunden werden kann (z.B. Pearce, 1994b; Zentall et al. 2002), zu erklären. Zu diesem Zweck wurde die Leistung bei der Kategorisierung unbekannter Figuren nach zwei unterschiedlichen Mengen gelernter Kategorieexemplare überprüft. Werden die Figuren und damit schließlich auch die Kategorien auf der Grundlage von Merkmalen repräsentiert, so sollte die Leistung mit Zunahme der gelernten Kategorieexemplare ebenfalls zunehmen oder gleich

bleiben, denn die Zunahme an Figuren war mit einer gleichbleibenden Zahl von Merkmalen verbunden und stellte damit keine weitere Belastung des Gedächtnisses dar. Vor dem Hintergrund einer größeren Variabilität der Merkmalskombinationen sollten darüber hinaus die für die Kategoriedefinition relevanten Merkmale deutlicher hervortreten. Werden Figuren als Ganzes und Kategorien anhand der gelernten Kategorieexemplare repräsentiert, sollte die Leistung abnehmen, da die zunehmende Zahl gelernter Exemplare mit einer höheren Anforderung an die Gedächtnisleistung verbunden ist. Letzteres war der Fall und damit schienen die Hennen die geometrischen Figuren als Ganzes zu lernen, ohne sie in Merkmale zu zerlegen.

Weitere Befunde mit demselben Stimulusmaterial wiesen in die gleiche Richtung. So war nach asymptotischem Training der Kategorisierung das Pickverhalten nach wie vor von Stimulusdimensionen beeinflusst, die für die Definition der Kategorien irrelevant waren. Außerdem war Unterschiedlichkeit der Figuren untereinander von Bedeutung für das Pickverhalten, obgleich bis auf die kategorierelevante Dimension alle anderen Stimulusaspekte zwischen den Kategorien gleich waren. Auch diese Befunde weisen auf die Relevanz des gesamten Stimulus - im Vergleich zu seinen Merkmalen - für die Leistung der Hühner hin (Werner & Rehkämper, 1999).

Eine Analyse der Kategoriestruktur anhand der Pickhäufigkeit für die einzelnen Exemplare beider Kategorien bestätigte die Vorhersagen, wie sie auf der Grundlage exemplarbasierter Kategorisierungstheorien ableitbar sind, im Vergleich zu denjenigen von merkmalsbasierten oder Prototypentheorien (Werner & Rehkämper, 2001).

## **1.6 Fragestellung**

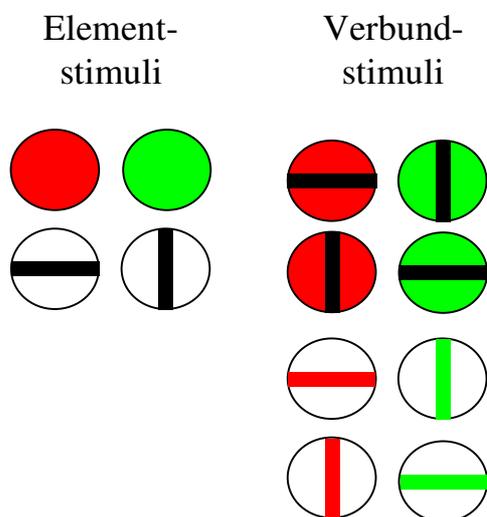
Die vorliegende Arbeit konzentrierte sich auf die Bearbeitung der Fragestellung, wie Hühner Diskriminationsaufgaben mit einfachen, mehrdimensionalen, visuellen Stimuli (Verbundstimuli) lösen. Im Rahmen des Diskriminationslernens kann diese Frage folgendermaßen formuliert werden: Modifiziert der Verstärker (US), der auf eine bestimmte Stimulussituation (Klassische Konditionierung) oder ein bestimmtes Verhalten im Kontext dieser Stimulussituation (operante oder instrumentelle Konditionierung) folgt, den assoziativen Wert einzelner Elemente, oder den assoziativen Wert des gesamten Stimulus?

In der Sprache der Verhaltensanalyse nach Skinner würde die Frage lauten: Wird das Verhalten der Hühner von den einzelnen Elementen eines Verbundstimulus oder von dem Stimulus als Ganzem kontrolliert?

Kognitivistisch formuliert wäre dies gleichbedeutend mit der Frage, ob Hühner visuelle Verbundstimuli holistisch oder analytisch verarbeiten.

Die Antwort auf diese - immer wieder anders gestellte - Frage kann von Faktoren des verarbeitenden Organismus oder auch von Stimulusfaktoren abhängig sein. Erstere sollen durch die Verwendung unterschiedlicher Hühnerrassen untersucht werden. Die hirnanatomischen Besonderheiten der Holländer Haubenhühner tragen dabei möglicherweise zu meßbaren funktionellen Unterschieden bei.

Die Stimulusfaktoren sind in den folgenden Experimenten durch zwei verschiedene Verbundstimulusversionen berücksichtigt, nämlich eine separable und eine integrale (Abb. 1.4). Darüber hinaus sollte das Stimulusmaterial möglichst einfach sein, da gezeigt wurde, daß die Kategorisierung relativ komplexer Stimuli primär vom Gesamtstimulus abhängig war (Werner & Rehkämper, 1999; 2001).



**Abb 1.4.** Das in fast allen Experimenten dieser Arbeit, abgesehen von Experiment 2, verwendete Stimulusmaterial. Sie bestehen aus den beiden Dimensionen FARBE und LINIENORIENTIERUNG, die jeweils zwei Werte aufweisen: *rot* oder *grün*, *horizontal* oder *vertikal*.

Humanpsychologische Arbeiten haben gezeigt, daß es einen positiven Zusammenhang zwischen dem Ausmaß an Komplexität und der

Wahrscheinlichkeit holistischer Verarbeitung gibt (Foard & Kemler Nelson, 1984). In dieser Arbeit wurden deshalb für die Konstruktion des Stimulusmaterials nur zwei Dimensionen, FARBE und LINIENORIENTIERUNG, mit jeweils zwei Werten, *rot* oder *grün* und *horizontal* oder *vertikal*, verwendet. Vergleichbares Stimulusmaterial wurde in diversen Arbeiten, v.a. in *matching-to-sample*-Experimenten, eingesetzt, die v.a. mit Tauben (z.B. Leith & Maki, 1977; Reynolds, 1961) aber auch mit Primaten (Cox & D'Amato, 1982; Ray, 1969) durchgeführt wurden. Die vorliegende Arbeit bietet daher gute Voraussetzungen für den Vergleich mit Arbeiten anderer Forschergruppen.

Mit diesem Stimulusmaterial wurden insgesamt sieben Experimente durchgeführt. Das Hauptexperiment, Experiment 1, bearbeitete die Frage nach der Art der Verarbeitung sowie Unterschieden in Abhängigkeit von den Kombinationsregeln, separabel oder integral, im Rahmen einer *half-reversal*-Prozedur (vgl. Leith & Maki, 1977; Werner et al., im Druck). Diese Prozedur ist charakterisiert durch eine Umkehr der Verstärkung nur einer von zwei Dimensionen zwischen Element- und Verbundstimulusdiskriminationen. Durch eine Aneinanderreihung von Diskriminationen mit *half-reversal* entsteht eine Sequenz, die auf zwei unterschiedliche Arten interpretiert werden kann: einerseits als *reversal* nur einer von zwei Dimensionen zwischen einem beliebigen Paar zweier aufeinander folgender Diskriminationen (diese Interpretation beschreibt der Begriff *half-reversal*) oder als verschachtelte Sequenz zweier Diskriminationen, von denen eine unverändert in der Verstärkung bleibt, während die andere eine Umkehr der Verstärkung beider Dimensionen erfährt (*full-reversal*). Durch diese Ambiguität ist es möglich, zu überprüfen, welche dieser Interpretationen das Verhalten der Hühner besser beschreibt. Damit läßt sich dann schlußfolgern, ob das Verhalten der Hühner eher abhängig ist von der Verstärkung einzelner Merkmale oder von der Verstärkung ganzer Stimuli und inwieweit sich dies für separable und integrale Verbundstimuli unterscheidet.

Experiment 2 überprüfte die in Experiment 1 gefundenen Effekte mit Stimulusmaterial, das andere Helligkeitskontraste aufwies, und diente damit dem Ausschluß alternativer Interpretationen wie z.B. der Annahme einer *stimulus degradation* (Maki & Leith, 1973).

Das anschließende Experiment 3 war eine Modifikation des Experiments 1 und war charakterisiert durch 1) eine längere Trainingssequenz, um die Entwicklung

der in Experiment 1 gefundenen Effekte über die Zeit zu untersuchen; 2) eine veränderte *half-reversal*-Prozedur, um zu zeigen, daß, was für Verbundstimuli Gültigkeit hat, prinzipiell auch für die Elementstimuli gilt; und 3) verändertes Stimulusmaterial, um den Einfluß der Größe der mit Farbe ausgefüllten Fläche auf das Verhalten zu untersuchen.

Experiment 4 verglich, inwieweit ein *half-reversal* bei separablen oder integralen Verbundstimuli unabhängig voneinander die Diskrimination der Elementstimuli beeinflußt.

In einer Situation ständigen Lernens am Beispiel eines *serial-reversals* untersuchte Experiment 5, inwieweit die Diskriminationsleistung zwischen den verschiedenen verwendeten Stimulusarten ähnlich ist.

Das folgende Experiment 6 untersuchte, ob die Aufmerksamkeit am Beispiel von *priming*-Effekten eine Rolle bei der Diskrimination des verwendeten Stimulusmaterials spielt.

Im Rahmen der Diskrimination von Kategorien mit unterschiedlicher Definition setzte Experiment 7 den Vergleich der beider Arten von Verbundstimuli fort.

Für die Erklärung der Ergebnisse aller Experimente wird schließlich eine Theorie der exemplarbasierten Diskrimination (engl. *configural exemplar model*, Werner et al. im Druck) vorgeschlagen, die ihr Gewicht auf möglichst wenige Grundannahmen und die Falsifizierbarkeit ihrer Hypothesen legt. Sie verbindet Konzepte der Lernpsychologie, der Psychophysik und der kognitiven Humanpsychologie, um Organismus- und Stimulusfaktoren Rechnung zu tragen.

## 2 Allgemeine Materialien und Methoden

Dieses Kapitel stellt die verwendeten Materialien und Methoden insoweit vor, als sie für alle im Folgenden beschriebenen Experimente zutreffen. Weitergehende Informationen finden sich dementsprechend in den Kapiteln „Material und Methode“ der einzelnen Experimente.

### 2.1 Tiere

Alle Experimente wurden mit Haushühnern (*Gallus gallus forma domestica*) unterschiedlicher Rassen durchgeführt. Verwendet wurden ausschließlich Hennen, da sie bei einer Gruppenhaltung verträglicher sind als Hähne und aufgrund ihres kleineren Kopfschmuckes (Kamm und Kehllappen) eher zur Futteraufnahme aus dem Futtergeber geeignet sind. Die Tiere stammten alle von privaten Züchtern, die im BDRG (Bund Deutscher Rassegeflügelzüchter) organisiert sind und an Ausstellungen teilnehmen. Es ist daher davon auszugehen, daß die Tiere über mehrere Generationen entsprechend des Zuchtstandards des BDRG gezüchtet wurden.

#### 2.1.1 Chabo

Die Chabos (engl. *Japanese bantam*) gehören zu den Zwerghühnern. Sie sind Urzwerge, d.h., sie sind nicht aus einer großen Rasse vergleichbaren Aussehens durch Selektion oder Einkreuzen gezüchtet worden. Das Ursprungsland ist Japan. Chabos wurden Mitte des 19. Jahrhunderts erstmalig nach Deutschland eingeführt.

Bei der Zucht stehen Aspekte der Form im Vordergrund. Zu den rassetypischen Merkmalen gehören v.a.: ein kurzer aber breiter, gedrungener Körperbau mit großem aufrecht getragenen Schwanz, der zu einer haarnadel- (Hahn) oder U-förmigen (Henne) Rückenlinie führt, sowie große Kopfpunkte (Kamm und Kehllappen). Schwanz und Kopfpunkte stehen in deutlichem Kontrast zum kleinen Körper und dem ausgeprägten tiefen Stand (Abb. 2.1). Zu dem charakteristischen Erscheinungsbild dieser Zwerghuhnrasse gehört ein ruhiger Bewegungsablauf.



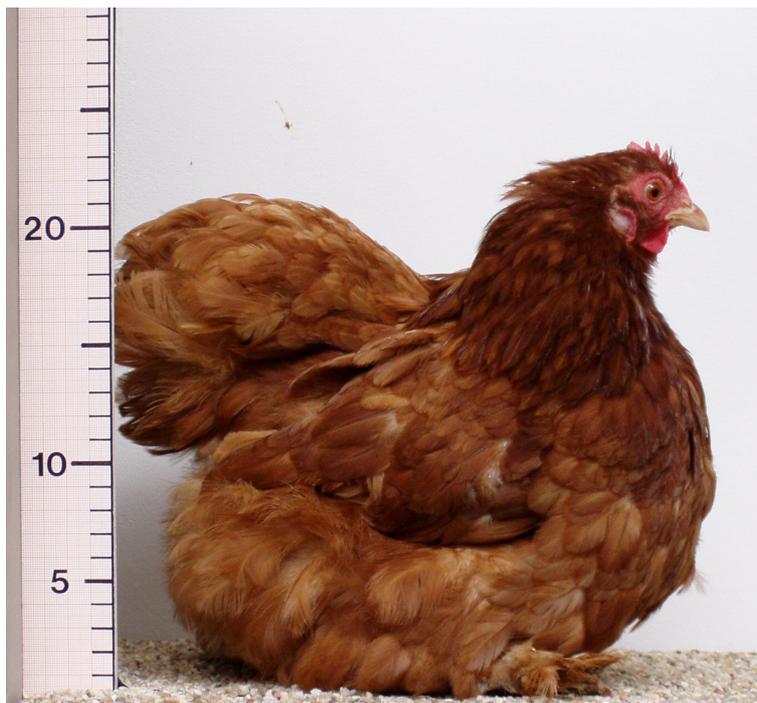
**Abbildung 2.1.** Erscheinungsbild wie es für eine Chabo-Henne typisch ist. Der Farbschlag ist gelb mit schwarzem Schwanz (Foto Inga Tiemann).

Verwendet wurden von dieser Rasse unterschiedliche Farbschläge (Goldweizenfarbig, Gelb mit schwarzem Schwanz u.a.) und Gefiederstrukturen (glatt, gelockt und seidenfedrig).

### **2.1.2 Zwerg-Cochin**

Bei den Zwerg-Cochin (engl. *Peking bantam*) handelt es sich ebenfalls um eine Zwerghuhnrasse. Der Name deutet an, daß es auch eine große Cochin-Rasse mit sehr ähnlichem Erscheinungsbild gibt. Auch die Zwerg-Cochin wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (1886) nach Deutschland eingeführt und dort weitergezüchtet. Sie stammen ursprünglich aus China.

Das Hauptaugenmerk der Zucht dieser Rasse liegt auf dem Gefieder. Es soll voll sein und ein hohes Maß an Flaumfedern enthalten. Das Erscheinungsbild läßt sich demzufolge als „Federball“ charakterisieren: Schenkel und Läufe sind kurz und reich befiedert und das flaumreiche Gefieder des Körpers rundet die gesamte Form der Tiere ab (Abb. 2.2).



**Abbildung 2.2.** Typisches Erscheinungsbild einer Henne der Rasse Zwerg-Cochin aus einem roten Farbschlag (Foto Inga Tiemann).

Von dieser Rasse wurde v.a. der schwarze Farbschlag verwendet, wobei für die vorliegende Arbeit ebenfalls einzelne rote Tiere zur Verfügung standen.

### **2.1.3 Bantam**

Auch die Bantam (engl. *Bantam*) gehören zu den Zwerghühnern. Sie sind wie auch die Chabos Urzwerge. Es gibt oder gab keine normal große Rasse gleichen Erscheinungsbildes, aus der die Bantam gezüchtet worden wären. Diese Rasse stammt vermutlich aus Java und wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nach Deutschland eingeführt.

Zu den rassetypischen Merkmalen gehören der Rosenkamm und die großen, weißen Ohrscheiben sowie eine im Verhältnis zum sonst zierlichen Körperbau auffällig breite und lange Schwanzpartie (Abb. 2.3).

Charakteristisch für diese Zwerghuhnrasse ist ein allgemein lebhaftes Verhalten.



**Abbildung 2.3.** Erscheinungsbild einer Bantamhenne eines schwarzen Farbschlags (Foto Inga Tiemann).

Von den Bantam wurde nur der schwarze Farbschlag, der als der älteste gilt, verwendet.

#### **2.1.4 Holländer Haubenhühner**

Die Holländer Haubenhühner (engl. *White Crested Polish*) sind die einzige Rasse in dieser Arbeit, die nicht zu den Zwergrassen zu zählen ist. Sie entstand entweder in den Niederlanden oder in Polen und wird seit vielen Jahrhunderten in Mitteleuropa gezüchtet.

Zentrales Rassemerkmal ist eine runde volle Federhaube auf dem Kopf der Tiere. Der Kamm fehlt. Ein farbiger, schmetterlingsförmiger Fleck (Schnippe) in der Haube direkt über dem Schnabel ist typisch. Auffällig ist außerdem eine deutliche weiße Ohrscheibe. Die Tiere entsprechen in ihrer Gestalt dem mittelgroßen, schlanken Landhuhntyp (Abb. 2.4).



**Abbildung 2.4.** Abbildung einer Haubenhuhn-Henne mit geschnittener Federhaube. Der Farbschlag ist schwarz mit weißer Haube (Foto Inga Tiemann).

Im Experiment wurden überwiegend schwarze Tiere mit weißer Haube verwendet. Einige wenige Tiere waren weiß mit weißer Haube. Für das Experiment mußte die Einschränkung der Sicht durch die Federhaube reduziert werden (s. Abb. 2.4). Dies erfolgte durch Rückschnitt der Federn mit einer Schere. Der Rückschnitt war so kurz, daß von der Seite und von vorne eine freie Sicht auf die Augen der Hennen möglich war. Damit ist davon auszugehen, daß eine Einschränkung des Gesichtsfeldes nach dem Rückschnitt auf den superioren Teil beschränkt war.

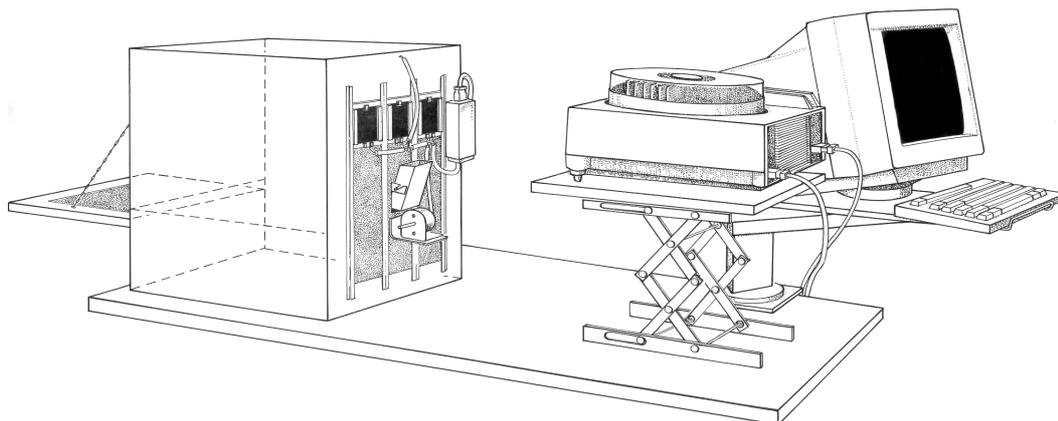
Die Haltung aller Hennen erfolgte getrennt nach Rassen in Volieren von ca. 3 m<sup>2</sup> Grundfläche. Insgesamt sechs von diesen Volieren standen in einem Freiluftlabor. Die Gruppengröße lag bei maximal zehn Tieren der Zwergassen (Chabo, Cochin, Bantam) und maximal sechs Tieren bei der größeren Rasse (Holländer Haubenhühner). Außerhalb der Zeiten, in denen die Tiere im Experiment eingesetzt wurden, erfolgte die Fütterung mit einem Gemisch aus Legemehlpellets (Firma Raiffeisen, Artikel Vitalgold) und Körnern (Firma Raiffeisen, Artikel Kükengrütze und L-Kö), denen eine Mineralstoffmischung beigefügt wurde. Futter und Wasser waren *ad libitum* verfügbar. Tiere, die im Experiment eingesetzt wurden, erhielten nur Legemehlpellets *ad libitum* für den Zeitraum nach der Beendigung der experimentellen Sitzung bis zum späten

Nachmittag. Verbleibende Pellets wurden dann aus der Voliere entfernt. Wasser war nach wie vor *ad libitum* verfügbar.

## 2.2 Apparatur

Alle Experimente wurden mit einer hölzernen Skinner-Box durchgeführt (Abb. 2.5). Es handelte sich um einen Eigenbau der Werkstätten in der Theoretischen Medizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, der sich an einer kleineren Box orientierte, die von Prof. Dr. Juan Delius dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurde. Ihre Elemente, deren Anordnung und Funktionsweise sind einer handelsüblichen Apparatur vergleichbar. Die Wände bestanden aus 8 mm starken Sperrholzplatten. Die Außenmaße der Box betragen 47x42x40 cm (HxBxT). Ihre Rückseite besaß eine Klappe, durch die Tiere hineingestellt und am Entweichen gehindert werden konnten. In allen Experimenten blieb die Klappe allerdings ständig geöffnet. Die Hennen wurden durch ein grünes Netz aus Plastik, wie es zur Abwehr von Vögeln für Obstgehölze verwendet wird, am Verlassen der Box gehindert. Der Vorteil war, das die Tiere mit Hilfe einer B/W-TV-CCD-Kamera oder einer Überwachungskamera (Firma ELMO, Modell ITM 321) und einem B/W Monitor (Firma E.I.C.O., Modell 12 ITM 35) beobachtet werden konnten. Dies war notwendig, um das Erreichen der Kriterien in der Eingewöhnungsphase (engl. *shaping*) zu überprüfen. Anschließend, während der eigentlichen Experimente, war die Möglichkeit der Beobachtung hilfreich, um weiterhin die Futteraufnahme zu kontrollieren und um Gründe für eine eventuell auftretende mangelnde Bereitschaft, die Pickscheiben zu betätigen, zu erkennen (z.B. Brütigkeit, Kränkeln oder Angst).

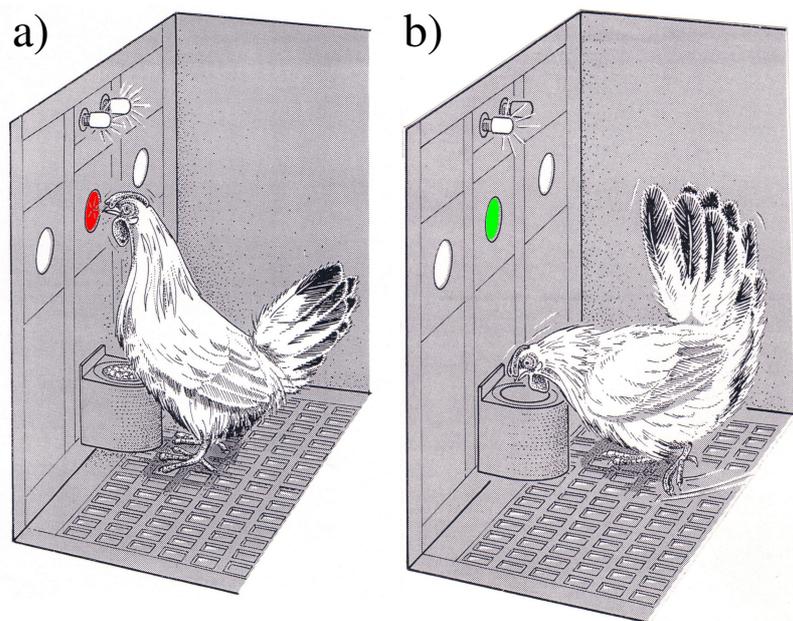
Als Boden diente für die große Rasse ein Gitterrost aus Metall, das auf einer Höhe von 8 cm über dem hölzernen Boden der Box eingeschoben war. Für die kleineren Rassen wurde ein Holzplateau in die Box gestellt, das den Boden für die Tiere auf 16,5 cm anhob. Auf dem Gitterrost und dem Holzplateau befand sich zusätzlich eine für diesen Zweck zugeschnittene Gummimatte, die den Tieren die Fortbewegung und dem Experimentator das Entfernen von Verunreinigungen erleichterte.



**Abbildung 2.5.** Gezeigt ist die verwendete Skinner-Box mit Diaprojektor und Teilen des PC. Gut zu sehen ist die Anordnung der drei, mit schwarzer Folie bedeckten, Pickscheiben. Auf sie wurde mittels des Projektors das Stimulusmaterial projiziert. Unter der mittleren Pickscheibe befand sich der Futtergeber mit dem Drehmagneten (Zeichnung Christine Opfermann-Rüngeler).

Das Innere der Box wurde mit einer Glühlampe (24 V, 50 mA) beleuchtet, im Folgenden als Hauslicht bezeichnet. Die Stromversorgung der Box übernahm ein Netzgerät (Firma Elektro-Automatik, Modell EA-4003).

Der Futtergeber bestand aus einem Fülltrichter aus Blech, der unten eine vorstehende kreisrunde Öffnung hatte. Sie ragte in das Innere der Box hinein, konnte aber von den Hennen aufgrund einer vor der Öffnung angebrachten Schürze, die ebenfalls aus Blech war, nicht erreicht werden (Abb. 2.6 rechts). Der Schnabel der Hennen war zu kurz um die Distanz zwischen der kreisrunden Öffnung der Schürze und derjenigen des Futtergebers zu überwinden. Wurde der Futtergeber aber durch einen Drehmagneten (Firma Kuhnke, Modell D 54 BDR - F), der sich unter ihm befand und durch einen Draht mit dem Fülltrichter verbunden war, angehoben, so stieß der Futtergeber unter den Rand der Schürze und beide Öffnungen lagen direkt übereinander. Die Hennen konnten nun dem Futtergeber das Körnergemisch entnehmen (Abb. 2.6 links). Die Erreichbarkeit des Futters wurde zusätzlich zu dem sie begleitenden akustischen Ereignis (Anschlagen des Futtergebers an die Schürze) und der Möglichkeit der visuellen Wahrnehmung des Futters von dem Erleuchten einer zweiten Glühlampe (24 V, 50 mA), dem „Futterlicht“, begleitet.



**Abbildung 2.6.** Blick in die Skinner-Box. Die linke Seitenwand und der Deckel fehlen. **links** Ein verstärkter Stimulus wird präsentiert. Der Futtergeber wird ausgelöst und das Futter ist für die Henne erreichbar. Zusätzlich wird die Futtergabe mit einem weiteren Licht, dem Futterlicht, angezeigt. **rechts** Wie a aber mit Präsentation eines nicht verstärkten Stimulus. Der Futtergeber wird nicht ausgelöst. Die Henne kann das Futter aufgrund der Metallschürze nicht erreichen (Zeichnung Christine Opfermann-Rüngeler).

Der obere Rand der Futtergeberschürze lag 14 cm oberhalb des Gitterrostes oder 5,5 cm oberhalb des Holzplateaus in der Mitte der vorderen Wand, der „Funktionswand“ (engl. *control panel*), die die für die Henne zu bedienenden Elemente aufwies. Weitere 13 cm oberhalb des Randes der Futtergeberschürze befand sich der Mittelpunkt der mittleren der drei Pickscheiben. Die beiden äußeren Pickscheiben befanden sich jeweils ca. 10 cm links und rechts von ihr (ebenfalls von Mittelpunkt zu Mittelpunkt gemessen). Diese Pickscheiben bestanden aus transparentem Plexiglas. Sie lagen von außen einer Metallplatte an, die ein Loch mit 2,5 cm Durchmesser aufwies. Durch dieses Loch konnten die Hennen direkt auf das Plexiglas picken. Die Pickscheiben waren an ihrem oberen Rand an einer Metallstange befestigt, die als Drehachse diente. Durch einen Pickschlag auf die Scheibe schwang diese zurück, wobei ihre Unterkante eine Kreisbahn beschrieb bis sie auf eine Konterschraube auftraf (nach ca. 2 mm). An der Unterkante jeder Pickscheibe befand sich senkrecht zur Oberfläche der Scheibe ein Stück Metallblech, das 5 mm über die Pickscheibe hinausragte.

Während des Zurückschwingens der Scheibe unterbrach dieses Blech eine Lichtschranke, die dieses Ereignis in einen elektrischen Impuls umwandelte, der vom PC mittels einer Schnittstellenkarte (Firma PLUG-IN Electronic, Modell CIO-PDISO8) registriert werden konnte.

Die Pickscheiben dienten nicht nur dem Registrieren von Pickschlägen, sondern gleichzeitig auch als Präsentationsfläche für das Stimulusmaterial. Zu diesem Zweck befand sich ein Diaprojektor (Firma Kodak, Modell Ektapro 9020 oder 5000) vor der Skinner-Box, so daß die Rückseite der Pickscheiben angestrahlt werden konnte (Abb. 2.5). Die Steuerung des Diaprojektors übernahm ebenfalls der PC über die serielle Schnittstelle. Bei dieser Versuchsanordnung pickten die Hennen direkt auf das Stimulusmaterial und betätigten dabei die Pickscheibe. Da die Pickscheiben transparent waren, mußte ihre Oberfläche behandelt werden, damit einerseits das Dia abgebildet werden konnte, andererseits aber auch die Hennen diese Abbildung von der anderen Seite der Pickscheiben sehen konnten. Darüber hinaus sollten sie durch den Lichtstrahl des Projektors nicht zu stark geblendet werden. Es hat sich als praktikabler Kompromiß erwiesen, die Scheiben mit Letraset<sup>®</sup> *opaque black* Folie zweifach zu bekleben.

## 2.3 Stimulusmaterial

Das Stimulusmaterial für alle Experimente setzte sich aus mindestens zwei Paaren Elementstimuli und zwei Paaren Verbundstimuli zusammen. Erstere bestanden entweder aus Farbstimuli mit den Farben *rot* oder *grün*, zwei Werten der Dimension FARBE, oder aus Linienorientierungsstimuli, deren Linie *horizontal* oder *vertikal* orientiert war, zwei Werten der Dimension LINIENORIENTIERUNG (Abb. 1.4). Die Linie war schwarz und der Hintergrund weiß.

Die Verbundstimuli setzten sich aus diesen beiden Dimensionen zusammen. Sie wurden in einer separablen und einer integralen Version präsentiert. Separabele Verbundstimuli bestanden aus einer schwarzen Linie, *horizontal* oder *vertikal*, auf farbigem Grund (*rot* oder *grün*). Integrale Verbundstimuli beinhalten eine farbige Linie auf transparentem Grund (Für das Experiment 2 treffen diese Angaben nicht zu. Siehe Kapitel 5.2 „Material und Methoden“).

Für alle Stimuli waren zunächst Vorlagen angefertigt worden, die schließlich abfotografiert wurden. Hierfür wurden Folien entsprechend zugeschnitten und auf Pappe geklebt. Für die farbigen Anteile wurden die Letraset Folien *Super Warm*

*Red* - A für rote Flächen, Pantone 347 - A für grüne Flächen und *alfac GS* - 104 für schwarze Flächen verwendet. Die Fotografie erfolgte mit einer Fotokamera (Firma Leica, Modell MD-1160553) und einem Diafilm (Ektachrome 64T, Firma Kodak, Modell EPY 36) an einem feststehenden Reprovit-Gerät (Firma Leitz, Modell Reprovit IIa) in einem abgedunkelten Raum mit künstlicher Lichtquelle (4 x 100 W). Belichtet wurde 3 sec mit Blende 11.

Das Stimulusmaterial wurde im Diarahmen präsentiert. Die Präsentation der Farbstimuli nahm die gesamte Pickscheibe ein (aus dem Inneren der Box betrachtet 2,5 cm im Durchmesser). Die Präsentation der Linienorientierungsstimuli hatte eine Liniendicke von ca. 4 mm und war in der Längenausdehnung durch den von den Hennen sichtbaren Bereich der Pickscheibe begrenzt. Dies entsprach einer Linienlänge von 2,5 cm. Das Gleiche galt entsprechend auch für die Verbundstimuli.

## **2.4 Prozedur**

Bevor eine Henne im Experiment eingesetzt werden konnte, mußte sie an die Versuchsapparatur gewöhnt werden und das Picken der Pickscheiben erlernen. Erst dann war es möglich die Veränderung dieses, von der Henne erlernten, Verhaltens abhängig von der Stimulussituation und der mit ihr verbundenen Verstärkerkontingenz zu messen. Die Gewöhnung an die Apparatur wird im Kapitel 2.4.1 „*Shaping*“ beschrieben. Das Erlernen des Pickens auf die Pickscheibe wurde nach der sogenannten *autosshaping*-Prozedur (Brown & Jenkins, 1968) durchgeführt und ist im gleichnamigen Kapitel 2.4.2 dargestellt. Die Struktur der Mehrzahl der durchgeführten Experimente wird dann schließlich im Abschnitt „Diskrimination“ beschrieben.

### **2.4.1 *Shaping***

Das *shaping* stellte die erste Konfrontation einer experimentell naiven Henne mit der experimentellen Apparatur dar. Es diente der Gewöhnung der Hennen an die experimentelle Situation. Das Ziel dieses Abschnittes war, daß die Hennen lernten, aus dem Futtergeber zu fressen. Um die Hennen an dieses Ziel heranzuführen, gliederte sich das *shaping* wiederum in drei Abschnitte. Für jeden Abschnitt wurden maximal drei Sitzungen (engl. *sessions*) an aufeinanderfolgenden Tagen, jeweils eine pro Tag, durchgeführt, in denen ein

Verhaltenskriterium erreicht werden mußte (siehe unten). War dies nicht der Fall, so wurde die entsprechende Henne vom Experiment ausgeschlossen.

Allen Abschnitten gemeinsam war, daß, wenn die Henne in die Box gesetzt wurde, das Hauslicht an und der Futtergeber arretiert war. Letzteres hatte zur Folge, daß eine Futteraufnahme über die gesamte Zeit des *shapings*, die 10 min betrug, möglich war. Als Futter wurde Kükengrütze angeboten. Befand sich die Henne in der Box, so wurden die Zeitmessung und der Diaprojektor gestartet, der dann die mittlere Pickscheibe beleuchtete. Das Auftreten von Pickschlägen war in dieser Phase des Experimentes nicht von Bedeutung. Die Henne wurde über die Zeit des *shapings* beobachtet und Verhaltensauffälligkeiten wurden notiert. Letzteres diente der Beurteilung jeder individuellen Henne hinsichtlich ihrer Eignung für das Experiment. Erfüllte z.B. eine Henne die im Folgenden beschriebenen Kriterien des *shapings* nicht, so konnten die Notizen für die Entscheidung über einen erneuten Versuch eines *shapings* hinzugezogen werden.

#### **2.4.1.1 1. Abschnitt**

Der erste Kontakt einer naiven Henne mit der Apparatur, sollte möglichst rasch zu einer Futteraufnahme des Tieres führen und die Bereitschaft zu angstmotiviertem Verhalten reduzieren. Zu diesem Zweck wurde der Boden der Box mit einer kleinen Menge Futter eingestreut, so daß die Henne buchstäblich ins Futter gesetzt wurde. Beginn die Henne innerhalb der drei Sitzungen, dieses Futter vom Boden aufzunehmen, so erfüllte sie das Kriterium für die Fortsetzung des *shapings* mit dem zweiten Abschnitt. Zusätzlich zur augenscheinlichen Verfügbarkeit des Futters auf dem Boden, war der Futtergeber gehäuft gefüllt, d.h. in die Öffnung der Metallschürze wurde so lange Futter gefüllt, bis es deutlich von außen zu sehen war. Da direkt unter der Schürze der arretierte Futtergeber anlag, konnte das eingefüllte Futter nicht nach unten entweichen. Die Hennen hatten damit die Möglichkeit, zusätzlich zur Futteraufnahme vom Boden auch vom Futtergeber zu fressen. Dies war aber in diesem Abschnitt nicht Teil des Kriteriums für die Fortsetzung des *shapings*.

#### **2.4.1.2 2. Abschnitt**

Dieser Abschnitt unterschied sich von dem vorhergehenden darin, daß kein Futter mehr auf den Boden gestreut wurde. Unmittelbar sichtbares Futter befand sich nur

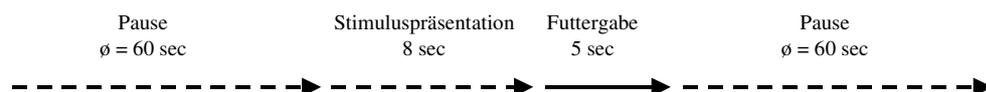
noch im gehäuft gefüllten Futtergeber. Kriterium für die Fortsetzung des *shapings* war die Futterraufnahme vom Futtergeber.

### 2.4.1.3 3. Abschnitt

In diesem Abschnitt wurde der Futtergeber nicht mehr gehäuft gefüllt. Im arretierten Futtergeber war damit das Futter zwar erreichbar, aber es konnte nicht mehr von jedem beliebigen Platz innerhalb der Box gesehen werden. Eine Annäherung an den Futtergeber war notwendig. Fraß eine Henne auch unter diesen Bedingungen innerhalb von drei Sitzungen aus dem Futtergeber, so wurde davon ausgegangen, daß die Verfügbarkeit von Futter an diesem Ort von dem Tier gelernt worden ist.

### 2.4.2 Autoshaping

Auf das Erreichen des Kriteriums im dritten Abschnitt des *shapings*, folgte direkt am nächsten Tag eine Sitzung, in der das *autoshaping* durchgeführt wurde. Es sah anfangs pro Sitzung 80 Präsentationen (engl. *trials*) vor, die später auf 40 reduziert wurden, ohne daß sich die Zahl der Sitzungen, die für ein erfolgreiches *autoshaping* notwendig waren, erhöht hätte. Ziel des *autoshapings* war, daß die Hennen mindestens die Hälfte der Präsentationen durch Picken den Futtergeber selbst auslösten. Die zeitliche Struktur einer Präsentation orientierte sich an der Arbeit von Brown und Jenkins (1968). Eine Präsentation begann mit einer Pause von durchschnittlich 60 sec (30 - 90 sec, in 10er Schritten). Auf sie folgte die Beleuchtung der mittleren Pickscheibe für 8 sec (Stimuluspräsentation). Anschließend erlosch die Beleuchtung der Pickscheibe, der Futtergeber wurde ausgelöst und ermöglichte die Futterraufnahme für 5 sec. Es folgte dann wiederum eine Pause von durchschnittlich 60 sec (Abb. 2.7).



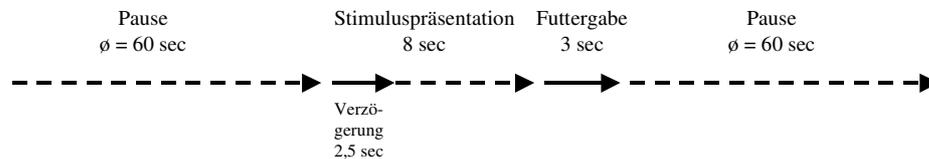
**Abbildung 2.7.** Zeitliche Struktur des *autoshapings*. Strichlierte Pfeile repräsentieren variable Zeitintervalle, die durch das Picken der Hennen beendet werden konnten. Nicht strichlierte Pfeile deuten auf feste Zeitintervalle hin.

Dieses Schema entspricht einer klassischen Konditionierung (engl. *Pavlovian conditioning*) insofern, als ein zunächst neutraler Stimulus, nämlich die Beleuchtung der Pickscheibe, einem unconditionierten Stimulus (US), dem Futter, vorausgeht. Die wiederholte Koppelung dieser beiden Ereignisse sollte zu ihrer Assoziation führen. Der neutrale Stimulus wird damit zum konditionierten Stimulus (CS), auf den eine konditionierte Reaktion (CR) erfolgt, d.h. auf die Beleuchtung der Pickscheibe sollte eine dem Freßverhalten ähnliche Pickreaktion auf die Pickscheibe als Ort der Stimuluspräsentation erfolgen.

War dies der Fall, d.h. pickte eine Henne auf die Pickscheibe, während sie beleuchtet wurde, so wurde der Futtergeber sofort ausgelöst und die Beleuchtung der Pickscheibe erlosch. Ein Picken auf die Pickscheibe in der Pause, d.h., wenn sie nicht beleuchtet war, führte zum Abbruch der Pause und zum Beginn der Stimuluspräsentation. Dies stellte den Anteil der operanten Konditionierung innerhalb der *autoshaping*-Prozedur dar. Das Picken war in diesem Fall das erwünschte Verhalten, das durch einen Verstärker in seiner Auftretenswahrscheinlichkeit gefördert wurde. Der Verstärker war hier die Futtergabe, die unmittelbar auf oder doch zeitnah zum gewünschten Verhalten erfolgt. Brown und Jenkins (1968) haben gezeigt, daß, wenn die Futtergabe nicht auf das Picken erfolgte, d.h. der Zeitplan einer Präsentation unabhängig vom Picken des Tieres war, das Picken auf die Pickscheibe nicht im gleichen Umfang aufrechterhalten wurde.

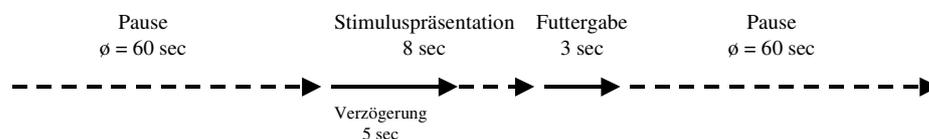
Hatte eine Henne das Kriterium für eine erfolgreiches *autoshaping* erreicht und damit den Futtergeber in der Hälfte der Durchgänge durch ihr Picken ausgelöst, wurde die zeitliche Struktur des *autoshapings* dem der folgenden Diskrimination angepaßt. Dies geschah in zwei Schritten (Abb. 2.8, 2.9). Zunächst wurde in das 8 sec-Intervall der Stimuluspräsentation ein 2,5 sec Intervall eingeschoben, in dem die Pickscheiben beleuchtet wurden, aber ein Picken keine Konsequenzen zur Folge hatte. Erst nach dieser 2,5 sec Verzögerung folgte ein 5,5 sec-Intervall, in dem das Picken auf die Pickscheibe zum sofortigen Abbruch der Stimuluspräsentation und zur Auslösung des Futtergebers führte. Das Zeitfenster der Stimuluspräsentation betrug damit nach wie vor 8 sec. Darüber hinaus wurde die Futterdauer von 5 sec auf 3 sec reduziert. Die längere Zeit ist anfänglich sinnvoll, um dem unerfahrenen Tier mehr Zeit zu geben, die Möglichkeit zur Futteraufnahme zu nutzen. Später ist dieses Zeitfenster zu lang, um eine vorzeitige

Sättigung zu verhindern und eine praktikable Anzahl von Durchgängen bei anhaltender Motivation sicherzustellen.



**Abbildung 2.8.** Zeitliche Struktur des *autoshapings* beim ersten Schritt der Adaptation der Zeiten an die Diskrimination (siehe auch Abb. 2.7).

Löste eine Henne auch nach dieser ersten Adaptation der Zeiten noch mindestens in der Hälfte der Durchgänge den Futtergeber durch ihr Picken aus, so folgte in einem zweiten Schritt die Verlängerung der Verzögerung auf 5 sec. Es schloß sich dann nur noch ein Intervall von 3 sec an, in dem das Picken den Futtergeber auslöste. Im Anschluß an diese nach wie vor 8 sec Stimuluspräsentation wurde der Futtergeber wie schon vorher unabhängig vom Picken ausgelöst, d.h. die Verstärkung für das Picken der Hennen bestand nur noch aus einem Zeitgewinn von 3 sec, um die die Stimuluspräsentation verkürzt werden konnte. Der Zeitgewinn durch das Picken in der Pause und dem damit verbundenen Pausenabbruch blieb unverändert. Dies war aber in fast allen Fällen ausreichend, um ein anhaltendes Picken der Hennen zu gewährleisten. Selten mußte eine Henne innerhalb des eigentlichen Experimentes ausgeschlossen werden.



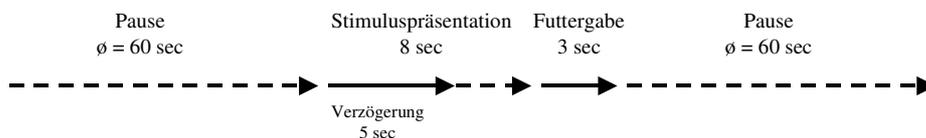
**Abbildung 2.9.** Zeitliche Struktur des *autoshapings* beim 2. Schritt der Adaptation an die Zeiten der Diskrimination (siehe auch Abb. 2.7).

### 2.4.3 Diskrimination

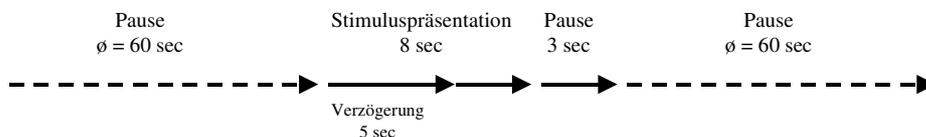
Die Verzögerung der Verstärkung um 5 sec war der wesentliche Unterschied zwischen dem *autoshaping* und der Diskrimination. Sie diente als Zeitfenster,

indem die Pickschläge als Maß für die Pickintensität gezählt werden konnten. Die Anzahl der Pickschläge auf einen bestimmten Stimulus war die einzige abhängige, d.h. gemessene, Variable. Die zeitliche Struktur einer Präsentation, in der ein verstärkter Stimulus gezeigt wurde, entsprach demnach derjenigen am Ende des *autoshapings* (Abb. 2.10 oben). Für die zeitliche Struktur einer Präsentation, in der ein nicht verstärkter Stimulus gezeigt wurde, war dagegen kennzeichnend, daß das 3 sec-Intervall nach der Verzögerung innerhalb der Stimuluspräsentation nicht abgebrochen werden konnte. Außerdem folgte auf die Stimuluspräsentation eine Pause von 3 sec, die ebenfalls nicht abgebrochen werden konnte. Sie war das Äquivalent zur Futtergabe im Fall einer Präsentation eines verstärkten Stimulus (Abb. 2.10 unten).

a)



b)



**Abbildung 2.10.** Zeitliche Struktur einer Präsentation während der Diskrimination bei einer Stimuluspräsentation **oben** mit einem verstärkten oder **unten** mit einem nicht verstärkten Stimulus.

Innerhalb einer Präsentation wurde immer nur ein Stimulus auf der mittleren Pickscheibe gezeigt. Zu diskriminierende Stimuli wurden daher nacheinander präsentiert (sukzessive Diskrimination). Von dieser Vorgehensweise wich nur Experiment 3 ab. Es bestand aus einer simultanen Diskrimination, bei der die zu diskriminierenden Stimuli eines Paares gleichzeitig jeweils auf einer der beiden äußeren Pickscheiben gezeigt wurden (Details siehe Kapitel 5.2 „Material und Methode“).

Die Präsentation verstärkter und nicht verstärkter Stimuli machte jeweils die Hälfte der Durchgänge einer Sitzung aus. Die Reihenfolge der Stimuluspräsentationen innerhalb einer Sitzung war pseudorandomisiert, so daß nicht

häufiger als dreimal ein verstärkter oder nicht verstärkter Stimulus hintereinander präsentiert wurde (Gellerman, 1933) und daß der gleiche Stimulus nicht häufiger als zweimal nacheinander präsentiert wurde.

## 2.5 Statistik

Alle Experimente, in denen eine sukzessive Diskrimination durchgeführt wurde, lieferten als Rohwerte Pickhäufigkeiten für jede einzelne Präsentation. Wurden in einem Experiment für einzelne Diskriminationsaufgaben Lernkriterien definiert, so erfolgte dies immer auf der Grundlage dieser Rohwerte einer Sitzung. Als Lernkriterium diente das Ergebnis eines Mann-Whitney U-Tests der Pickhäufigkeit für den verstärkten gegen die Pickhäufigkeit für den nicht verstärkten Stimulus eines Paares, das hoch signifikant sein mußte ( $\alpha \leq 0,0001$ ).

Ein direkter Vergleich dieser Rohwerte von verschiedenen Hennen hätte aber zur Folge gehabt, daß Hennen mit einer generell größeren Pickfrequenz das Ergebnis einer Gruppe von Hennen stärker beeinflussen könnten als andere Hennen dieser Gruppe, die eine generell geringere Pickfrequenz zeigen. Die Rohwerte jeder Henne ( $x$ ) wurden von dieser individuellen Pickfrequenz bereinigt, indem sie durch die maximale gefundene Pickfrequenz innerhalb einer Sitzung ( $\max$ ) dieser Henne geteilt wurden.

Diese Rohwerte wurden dann in den meisten Fällen für jeden Stimulus innerhalb einer Sitzung zu einem Mittelwert zusammengefaßt, der im Folgenden als Pickindex ( $x_p$ ) bezeichnet wird.

$$x_p = \frac{\sum \frac{x}{\max}}{n}$$

Aus diesen Pickindizes wurden Diskriminationsindizes ( $x_d$ ) errechnet, indem die Differenzen der Mittelwerte der Pickindizes eines jeden Paares zu diskriminierender Stimuli gebildet wurden.

$$x_d = x_{p+} - x_{p-}$$

Die Lernkriterien wurden mit der SAS-Statistiksoftware Version 6.2 überprüft.  
Für die sonstige deskriptive und Inferenzstatistik wurde Systat Version 9.0  
verwendet.

## 3 Experiment 1

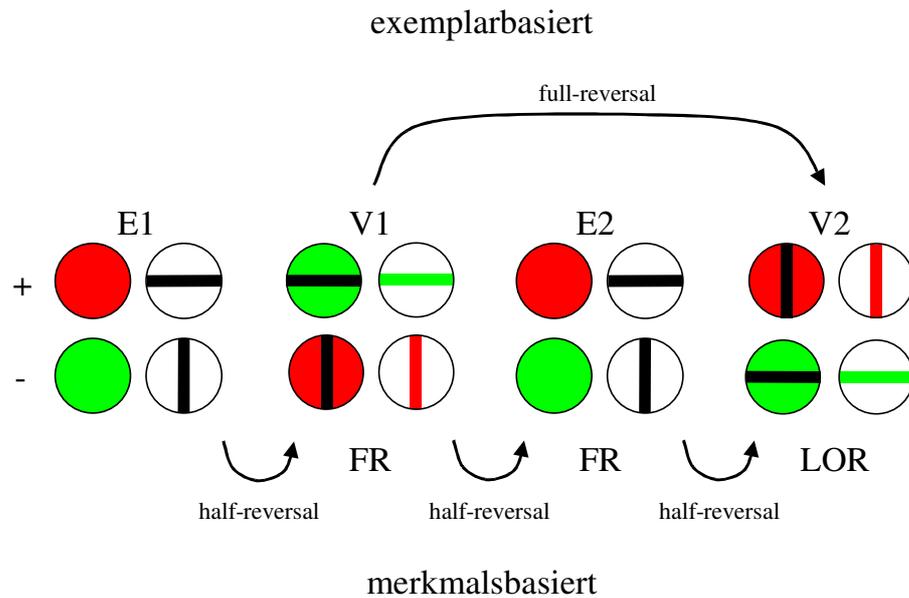
### 3.1 Einleitung

Das vorliegende Experiment wurde in Werner et al. (im Druck) beschrieben. Es untersuchte die Frage, ob die verwendeten zweidimensionalen Verbundstimuli analytisch oder holistisch verarbeitet werden und ob dies von der Art des Verbundstimulus, separabel oder integral, abhängig ist. Hierfür wurde eine *half-reversal*-Prozedur verwendet, mittels derer beide theoretischen Ansätze gegeneinander getestet werden konnten. Innerhalb einer Sequenz von vier Diskriminationsaufgaben, in der Elementstimulusdiskriminationen (E) mit Verbundstimulusdiskriminationen (V) abwechselten, wurden immer die beiden Werte einer der beiden Dimensionen in der Verstärkung gewechselt (Abb. 3.1).

Aus der Perspektive merkmalsbasierter Theorien würden im einfachsten Fall die Merkmale den Werten der Dimensionen entsprechen. Sie wären die für das Verhalten relevanten Variablen. Diese Art der Interpretation von Leistungsdaten findet sich in verschiedenen Arbeiten (z.B. Pearce, 2002). Die Trainingssequenz ließe sich dann folgendermaßen darstellen:

E1	V1	E2	V2
R+, G-, H+, V- →	G+, R-, H+, V- →	R+, G-, H+, V- →	R+, G-, V+, H-

mit R, G, H und V als Merkmale *rot*, *grün*, *horizontal* und *vertikal* sowie + und - als verstärkt bzw. nicht verstärkt. Dieses Schema macht deutlich, daß aus merkmalsbasierter Sicht die Sequenz gleichbedeutend ist mit dem erneuten Lernen der Verstärkerkontingenzen (zeitliche Koppelung mit Verstärker) derjenigen Merkmale, deren Dimension von einem *reversal* betroffen ist. Demzufolge wäre bei einem Wechsel zwischen den einzelnen Trainingsphasen mit einem Abfall der Diskriminationsleistung derjenigen Stimuli zu rechnen, deren Elemente zu dieser Dimension gehören. Entsprechend wäre in V1 im Vergleich zu E1 ein Leistungsabfall in der Diskrimination beider Verbundstimuli zu erwarten, denn sie enthalten beide die gleichen zwei Elemente, von denen eines in der Verstärkung im Vergleich zu E1 geändert wurde (z.B. *rot* und *grün*, Abb. 3.1).



**Abbildung 3.1.** Stimulusmaterial, Aufbau des Experimentes und dessen Interpretation nach konkurrierenden theoretischen Konzepten. Die Hennen durchliefen die Trainingssequenz von links nach rechts beginnend mit der Elementstimulusdiskrimination 1 (*E1*). In dem dargestellten Beispiel werden die Elementstimuli Rot und Horizontal verstärkt (+), Grün und Vertikal wurden nicht verstärkt (-). Nach Erreichen des Lernkriteriums folgte die Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) mit separablen (linkes Paar) und integralen Stimuli (rechtes Paar). Wiederum mußte das Lernkriterium erreicht werden. Verstärkt wurde die Kombination *grünhorizontal*. D.h., der Wechsel von *E1* zu *V1* verband sich (z.B.) mit dem *reversal* der Dimension FARBE (*FR*). Anschließend folgte die Elementstimulusdiskrimination 2 (*E2*) wieder mit den verstärkten Stimuli Rot und Horizontal. Im Vergleich zu *V1* verband sich dieser Wechsel wieder mit einem *reversal* der Dimension FARBE (*FR*). Verglichen mit *E1* aber, blieb die Verstärkung unverändert. Abschließend erfolgte ein Wechsel zu der Verbundstimulusdiskrimination 2 (*V2*). Dieser letzte Wechsel war verbunden mit einem *reversal* der anderen Dimension - in diesem Beispiel der LINIENORIENTIERUNG (*LOR*). Betrachtet aus der Perspektive merkmalsbasierter Ansätze des Diskriminationslernens, stellt diese Sequenz von Diskriminationsaufgaben eine Abfolge von *half-reversal*-Bedingungen dar, die die Verstärkung der Merkmale *rot* und *grün* oder *horizontal* und *vertikal* modifiziert. Aus der Sicht exemplarbasierter Theorien dagegen besteht diese Sequenz aus einer verschachtelten Abfolge von zwei verschiedenen Stimulusdiskriminationen: einer mit Stimuli, deren Verstärkung unverändert bleibt (Elementstimulusdiskriminationen), und einer mit Stimuli, deren Verstärkung vollständig umgekehrt wird (*full-reversal*; Verbundstimulusdiskriminationen).

Ein Unterschied in dem Ausmaß dieses Leistungsabfalls könnte zwei Ursachen haben: 1) beide Arten von Verbundstimuli werden unterschiedlich verarbeitet und 2) beide Verbundstimuli werden analytisch verarbeitet, aber der Einfluß der Merkmale auf das Verhalten verändert sich durch ihre Kombination.

Zu 1) Geht man davon aus, daß die aus der Humanpsychologie stammende Unterscheidung von separablen und integralen Verbundstimuli auch für Hühner von Bedeutung ist, so müßte man annehmen, daß separable Verbundstimuli analytisch und integrale Verbundstimuli holistisch verarbeitet werden. Nach Leith und Maki (1977) oder Riley und Roitblat (1978) würde das bedeuten, daß im Rahmen eines separablen Verbundstimulus das Verhalten auch nur von einzelnen Merkmalen abhängig sein kann. Sie nehmen an, das Tier (die Taube) selbst könnte seine Aufmerksamkeit selektiv auf eines der Merkmale richten.

Bei dieser Möglichkeit sollte der Leistungsabfall in V1 bei separablen Verbundstimuli schwächer sein als bei integralen. Bei ersteren sollte die Diskrimination durch Lenkung der Aufmerksamkeit auf die Merkmale, deren Verstärkerkontingenz unverändert bleibt (z.B. *horizontal*, Abb. 3.1), besser gelöst werden können. Ist ein solches „Ausblenden“ der Merkmale mit veränderter Verstärkerkontingenz bei integralen Verbundstimuli nicht möglich, so sollten diese Merkmale die Diskriminationsleistung entsprechend verschlechtern, d.h., separable Verbundstimuli sollten nach Änderungen in der Verstärkerkontingenz immer besser diskriminiert werden als integrale.

Zu 2) Es ist keineswegs zwingend, daß die beiden Merkmale in beiden Arten von Verbundstimuli, separabel wie integral, in gleichem Maße das Verhalten beeinflussen. So ist es durchaus denkbar, daß aufgrund der größeren farbigen Fläche im separablen Verbundstimulus der Einfluß des Farbmerkmals auf das Verhalten größer ist als das Linienorientierungsmerkmal. Ein ähnliches Konzept, das von dem Verlust des Einflusses eines Merkmals zugunsten eines zweiten im Rahmen eines Verbundstimulus ausgeht, wurde „*stimulus degradation*“ genannt (Maki & Leith, 1973).

Da bei den Verbundstimulusdiskriminationen immer nur eines von zwei Merkmalen pro Stimulus in der Verstärkerkontingenz verändert wird, während es in E2 eines von nur einem Merkmal pro Stimulus ist, sollte der Leistungseinbruch in E2 größer sein als in V1 und V2. Wenn nämlich z.B. die beiden Farbmerkmale umgekehrt verstärkt werden, steht kein weiteres Merkmal zur Verfügung, das eine

korrekte Diskrimination unterstützen könnte. Im Fall der Verbundstimulus-diskriminationen wären dies die Merkmale *horizontal* und *vertikal*.

Zusammenfassend läßt sich für den merkmalsbasierten Erklärungsansatz vorhersagen, daß es bei allen auf E1 folgenden Diskriminationsaufgaben zu einem Rückgang der Leistung zu deren Beginn kommen sollte, wobei dieser Rückgang in E2 ausgeprägter sein sollte als in V1 und V2.

Im Rahmen exemplarbasierter Theorien steht der Gesamtstimulus im Vordergrund ohne eine Zerlegung in seine Elemente. Er bestimmt das Verhalten, denn mit ihm assoziiert der Organismus den Verstärker nicht separat mit seinen Elementen. Die Trainingssequenz würde sich entsprechend folgendermaßen darstellen:

E1	V1	E2
$R+, G-, H+, V- \rightarrow$	$SGH+, SRV-, IGH+, IRV- \rightarrow$	$R+, G-, H+, V- \rightarrow$
V2		
$SRV+, SGH-, IRV+, IGH-$		

wobei *R*, *G*, *H* und *V* die entsprechenden Elementstimuli repräsentieren (nicht das Merkmal, das sie charakterisiert) und *SGH*, *SRV*, *IGH* und *IRV* die Verbundstimuli darstellen, die aus den entsprechenden Elementen zusammengesetzt sind. Es wird deutlich, daß im Vergleich zum merkmalsbasierten Erklärungsansatz eine ganz andere Situation vorliegt. Nach der ersten Diskrimination E1 werden die Hennen in V1 mit neuen Stimuli konfrontiert. Das in E1 Gelernte ist nur soweit von Bedeutung, wie zwischen Element- und Verbundstimuli Ähnlichkeiten bestehen. Diese Ähnlichkeiten sind sicherlich abhängig von gemeinsamen Elementen (z.B. *R* und *SRH* oder *IRH*), allerdings sind die Elemente nicht ausreichend, um diese Ähnlichkeiten vorherzusagen. So kann die Ähnlichkeit zwischen *R* und *SRH* eine andere sein als zwischen *R* und *IRH*, obwohl sich *SRH* und *IRH* in ihren Elementen (*rot* und *horizontal*) nicht unterscheiden. Im Rahmen des exemplarbasierten Ansatzes, wie er in dieser Arbeit verfolgt wird, sind Exemplare nicht Konfigurationen von Merkmalen sondern Gesamtheiten (Gestalten), weshalb Ähnlichkeitsrelationen zwischen unterschiedlichen Stimuli zunächst einmal ein empirisches Problem sind. Physikalische Dimensionen

mögen in dieser Hinsicht hilfreich für das Formulieren von Hypothesen sein, ersetzen aber nicht die subjektive Skalierung am Organismus (vgl. z.B. Stevens, 1975).

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß in V1 die Aneignung (engl. *acquisition*) einer Diskrimination mit neuem Stimulusmaterial vorliegt, weshalb von einem Leistungsabfall im Vergleich zu den letzten Sitzungen von E1 auszugehen ist. Dieses Neulernen wird durch Ähnlichkeiten zwischen Element- und Verbundstimuli modifiziert. Ein Unterschied zwischen separablen und integralen Verbundstimuli kann mit unterschiedlichen Ähnlichkeitsrelationen zu den Elementstimuli zusammenhängen oder aber, wie beim merkmalsbasierten Erklärungsansatz beschrieben, mit einer unterschiedlichen Art der Verarbeitung separabler und integraler Stimuli.

Der erste Unterschied zu den Vorhersagen des merkmalsbasierten Ansatzes wäre in E2 zu erwarten. Er geht von einem stärkeren Leistungsabfall am Anfang von E2 verglichen mit V1 aus, weil die Stimuli in E2 jeweils nur ein Merkmal beinhalten und die beiden Merkmale einer Dimension vorher in V1 umgekehrt verstärkt wurden. Nach dem exemplarbasierten Ansatz dagegen sollte im Grunde kein Leistungsabfall zu erkennen sein. Da in E2 die gleichen Stimuli wie vorher in E1 präsentiert werden und die Verstärkerkontingenzen im Vergleich zu E1 unverändert sind, wird eine bereits gelernte Diskrimination lediglich fortgesetzt. Ein Einfluß durch die im Vergleich zu V1 umgekehrt verstärkten Elemente in E2, und damit verbunden ein Unterschied zu der Leistung am Ende von E1, ist nur insoweit zu erwarten, als Ähnlichkeiten zwischen Element- und Verbundstimuli das Diskriminationsverhalten beeinflussen. Um den merkmals- und exemplarbasierten Ansatz voneinander abzugrenzen, sollte dieser Einfluß allerdings gering sein, da sonst eine Diskrimination nach Merkmalen nicht von einer Diskrimination nach Exemplaren zu unterscheiden wäre.

Ebenfalls anders lautende Vorhersagen machen beide Erklärungsansätze für die Diskriminationsleistung am Anfang von V2. Während nach Vorhersagen des merkmalsbasierten Ansatzes die Leistung in V2 durch das vorhergehende *half-reversal* vergleichbar beeinträchtigt sein sollte wie vorher in V1, ist nach dem exemplarbasierten Ansatz eine deutlich größere Beeinträchtigung zu erwarten. Da in V2 die gleichen Stimuli präsentiert werden wie vorher in V1, nun aber für beide Stimuluspaare mit umgekehrten Verstärkerkontingenzen, liegt mit Blick auf

den gesamten Stimulus ein *full-reversal* vor (vgl. Abb. 3.1). Dies sollte ein erneutes Lernen der Verstärkerkontingenzen notwendig machen. Da die Hennen anfangs diejenigen Stimuli bevorzugen sollten, die in V1 verstärkt wurden, in V2 nun aber nicht mehr, sollte die Leistung in V2 ungleich stärker abfallen als vorher in V1, denn in V1 wurde die Diskrimination vorher unbekannter Stimuli gelernt. Diese Situation ist vergleichbar mit dem *serial-reversal*-Paradigma, bei dem der Leistungsabfall im ersten (*full-*)*reversal* so groß ist, daß das erneute Lernen der Verstärkerkontingenzen länger dauert als die anfängliche Aneignung der Diskrimination (z.B. Mackintosh et al., 1968).

Die in Abbildung 3.1 dargestellte Trainingssequenz sollte also in dreifacher Hinsicht zwischen den Vorhersagen der merkmals- und der exemplarbasierten Erklärungsansätze unterscheiden können: 1) Treffen für separabele und integrale Verbundstimuli unterschiedliche Erklärungsansätze zu, so wäre mit einer besseren Diskriminationsleistung mit separabellen im Vergleich zu integralen Stimuli zu rechnen. 2) Bei der Diskrimination auf der Grundlage von Merkmalen sollte der Leistungsabfall am Anfang von E2 größer sein als derjenige in V1 oder V2. Bei einer auf Exemplaren basierenden Diskrimination dagegen sollte der Leistungsabfall in E2 schwächer sein als in V1 und V2. 3) Gemäß den Vorhersagen merkmalsbasierter Erklärungsansätze sollte die Leistung am Anfang von V1 und V2 sich nicht unterscheiden, nach den Vorhersagen des exemplarbasierten Erklärungsansatzes dagegen wäre eine schlechtere Leistung am Anfang von V2 im Vergleich zu V1 zu erwarten.

## **3.2 Material und Methode**

### **3.2.1 Tiere**

Verwendet wurden jeweils acht Hennen der Rassen Chabo, Zwerg-Cochin, Bantam und Holländer Weißhauben. Für Details zu den Rassen, deren Haltung und Versorgung siehe Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“.

### **3.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial**

Für Angaben zur Apparatur siehe Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“.

Verwendet wurden die Elementstimuli der beiden Dimensionen FARBE und LINIENORIENTIERUNG mit den Einzelwerten *rot*, *grün*, *horizontal* und *vertikal* sowie beide Arten von Verbundstimuli, separabele und integrale, in allen möglichen Kombinationen der Einzelwerte (Abb. 1.4 im Kapitel 1.6 „Fragestellung“). Die für eine Henne verwendete Kombination war abhängig von der Verstärkung (oder Nicht-Verstärkung) der Einzelwerte im Rahmen der Elementstimuli. Es wurden im Experiment aber alle Kombinationen in gleicher Häufigkeit (je Rasse 2x) verwendet.

### **3.2.3 Prozedur**

Diejenigen Hennen, die erfolgreich das *shaping* und *autoshaping* beendet hatten, wurden am nächsten Tag im Rahmen dieses Experimentes in einer sukzessiven Diskrimination trainiert. Ausnahmen von dieser Abfolge gab es nur bei den Chabo, von denen einige Tiere vor diesem Experiment bereits im Rahmen von Pilotexperimenten eingesetzt wurden. Dies betraf die Hennen Ch6, Ch7, Ch10. Zwischen den Pilotexperimenten und dem hier beschriebenen Experiment lagen mindestens 2 Monate.

Das Experiment begann für alle Hennen mit dem Erlernen der Diskrimination der Elementstimuli (Abb. 3.1), E1. Die Diskrimination der Stimuluspaare beider Dimensionen galt dann als gelernt, wenn innerhalb einer Sitzung die Pickhäufigkeiten für den verstärkten Stimulus beider Paare hoch signifikant ( $\alpha=0,0001$ ) von den Pickhäufigkeiten für den entsprechenden nicht verstärkten Stimulus verschieden waren (Details siehe unten im Kapitel 3.2.4 „Statistik“). Wurde dieses Lernkriterium erreicht, so folgte am nächsten Tag ein Training in der Diskrimination der Verbundstimuli, V1. Im Vergleich zum vorhergehenden Training mit Elementstimuli veränderte sich die Verstärkung der Werte einer der beiden Dimensionen (*half-reversal*). Welcher Dimension wurde über die Hennen balanciert. Die Hennen wurden ebenfalls wieder bis zu dem oben beschriebenen Lernkriterium trainiert. Auf die erste Verbundstimulusdiskrimination folgte eine weitere Diskrimination mit den Elementstimuli, E2. Die Verstärkung der Stimuli war identisch zur ersten Diskrimination, E1. Im Vergleich zur vorhergehenden Verbundstimulusdiskrimination, V1, allerdings war wieder die Verstärkung einer Dimension vertauscht (*half-reversal*). Nach dem Erreichen des Lernkriteriums wurden die Tiere wieder in der Diskrimination der Verbundstimuli, V2, trainiert,

die im Vergleich zu E2 wieder die Verstärkung einer Dimension vertauschte. Nun wurde aber die Dimension vertauscht, deren Verstärkung in V1 unverändert blieb (vgl. Abb. 3.1).

### **3.2.4 Statistik**

Das Erreichen des Lernkriteriums wurde mit dem Mann-Whitney U-Test überprüft. Für jedes Paar von Stimuli wurden die Rohwerte der Pickhäufigkeiten für den verstärkten und den nicht verstärkten Stimulus miteinander verglichen ( $n_{1/2} = 40$ ). Das Signifikanzniveau wurde mit  $\alpha=0,0001$  sehr hoch angesetzt, um möglichst sicher sein zu können, daß die Diskriminationsleistung der Tiere ein hohes Niveau erreicht hat und keinen großen Schwankungen mehr unterliegt.

Der Vergleich von Diskriminationsleistungen mit unterschiedlichen Stimuli erfolgte mit dem Vorzeichenrangtest (Wilcoxon-Test), einem parameterfreien Verfahren für abhängige Stichproben, wenn es sich um die gleiche Gruppe von Tieren handelte. Für den Vergleich der Diskriminationsleistungen unterschiedlicher Gruppen, und damit unabhängiger Stichproben, wurde der Mann-Whitney U-Test verwendet.

Alle Tests wurden bei Anwendung auf die Gesamtstichprobe zweiseitig gerechnet. Die anschließende Analyse der Daten der einzelnen Rassen wurde dann gezielt im Hinblick auf die vorher gefundenen zentralen Effekte durchgeführt. Die dabei verwendeten Tests wurden aufgrund der bestehenden Erwartung einseitig durchgeführt.

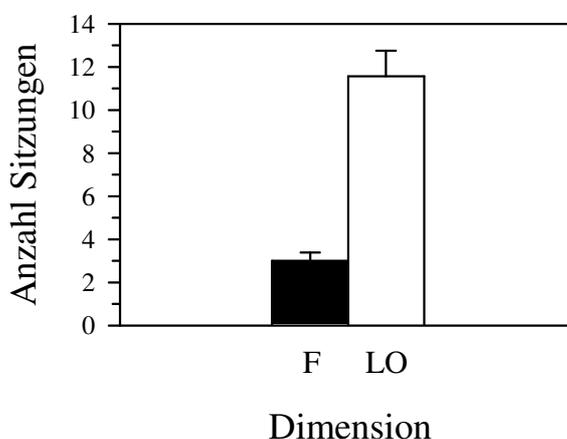
## **3.3 Resultate**

Die Ergebnisse des Experimentes 1 werden zunächst entsprechend des Verlaufs seiner Trainingssequenzen im Kapitel 3.3.1 „Resultate - gesamte Stichprobe“ für alle Hennen, ungeachtet ihrer Rasse, zusammengefaßt dargestellt. Anschließend werden dann im Kapitel 3.3.2 „Resultate - Rassevergleich“ die Ergebnisse der einzelnen Rassen separat beschrieben.

### 3.3.1 Resultate - gesamte Stichprobe

#### 3.3.1.1 Elementstimulusdiskrimination 1 (E1)

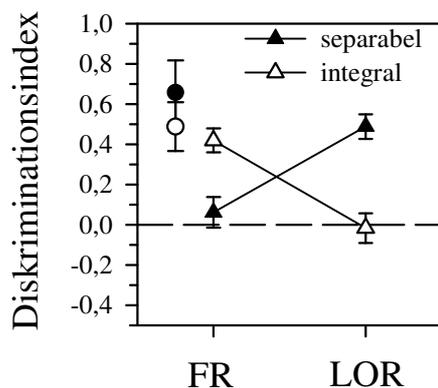
Die Aneignung (engl. *acquisition*) der Farb- und Linienorientierungs-diskrimination erfolgte für die Gesamtzahl der Hennen unterschiedlich schnell. Das Kriterium wurde mit den Farbstimuli eher erreicht als mit den Linienorientierungsstimuli (Abb. 3.2). Dieser Unterschied war signifikant ( $n = 32$ ,  $P < 0,001$ ).



**Abbildung 3.2.** Mittlere Anzahl ( $\pm$  Stdf.) der Sitzungen bis zum Erreichen des Lernkriteriums separat für Farb- ( $F$ ) und Linienorientierungsstimuli ( $LO$ ) über die Hennen aller Rassen ( $N = 32$ ).

#### 3.3.1.2 Verbundstimulusdiskrimination 1 (V1)

Abbildung 3.3 zeigt die Diskriminationsleistung in der ersten Sitzung der Verbundstimulusdiskrimination 1 (V1). Eine Interaktion zwischen den beiden Bedingungen Verbundstimulus (separabel oder integral) und *half-reversal* (FR oder LOR) war offensichtlich. Beinhaltete der Wechsel von E1 zu V1 ein *reversal* der FARBE (FR), so wurde der separable Verbundstimulus schlechter diskriminiert als der integrale. Genau umgekehrt verhielt es sich bei einem *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (LOR). Beide Unterschiede waren signifikant ( $N = 16$ ,  $z = 3,361$ ,  $P < 0,001$ ;  $N = 16$ ,  $z = -3,464$ ,  $P < 0,001$ ).



**Abbildung 3.3.** Ergebnisse der Verbundstimulusdiskrimination 1 (V1). Gezeigt sind die Mittelwerte und Standardfehler der Diskriminationsleistung für separable und integrale Verbundstimuli in der ersten Sitzung ( $N = 32$ ) separat für ein *reversal* der FARBE (FR) und LINIENORIENTIERUNG (LOR). Die Kreise repräsentieren die mittlere Diskriminationsleistung ( $\pm$  Stdabw.) mit Farb- (schwarz) und Linienorientierungsstimuli (weiß) in der letzten Sitzung von E1. Die gestrichelte Linie markiert das Zufallsniveau.

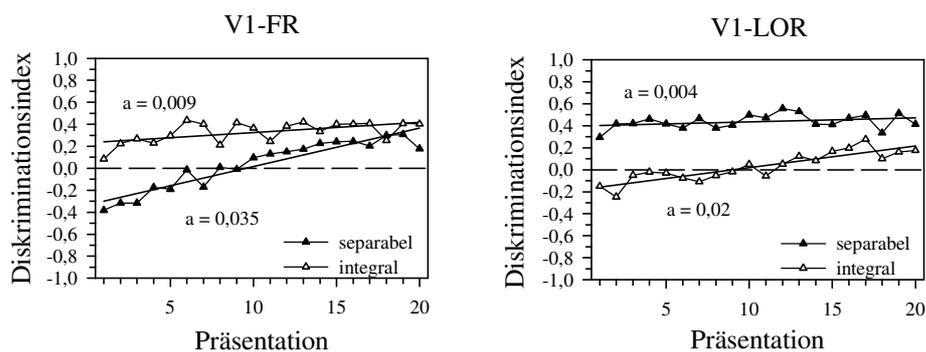
Abbildung 3.3 zeigt außerdem, daß die jeweils bessere Diskriminationsleistung in FR und LOR kaum von dem Leistungsniveau mit den Elementstimuli in der letzten Sitzung von E1, in der das Lernkriterium erreicht wurde, abwich.

Bei einem Vergleich der Diskriminationsleistungen in FR und LOR separat für jede der beiden Typen von Verbundstimuli war eine geringere Leistung mit separablen Verbundstimuli in FR verglichen mit der Leistung in LOR zu erkennen. Entsprechendes galt umgekehrt für integrale Verbundstimuli. Sie wurden in LOR schlechter diskriminiert als in FR. Diese Unterschiede waren ebenfalls signifikant ( $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 35$ ,  $P < 0,001$ ;  $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 224$ ,  $P < 0,001$ ).

Die Diskriminationsleistung mit separablen Verbundstimuli in FR und integralen Verbundstimuli in LOR befand sich auf vergleichbar niedrigem Niveau ( $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 152$ ,  $P < 0,366$ ). Gleich hohe Diskriminationsleistung wurde mit separablen Verbundstimuli in LOR und integralen Verbundstimuli in FR gefunden ( $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 108$ ,  $P < 0,451$ ).

Daß die gefundenen Unterschiede nicht auf Unterschiede in der Lerngeschwindigkeit innerhalb der ersten Sitzung von V1 zurückgehen, sondern auch für den Beginn der Sitzung - als eigentliche Transferleistung - ihre Gültigkeit haben, zeigt Abbildung 3.4. Es ist zu erkennen, daß die oben beschriebenen

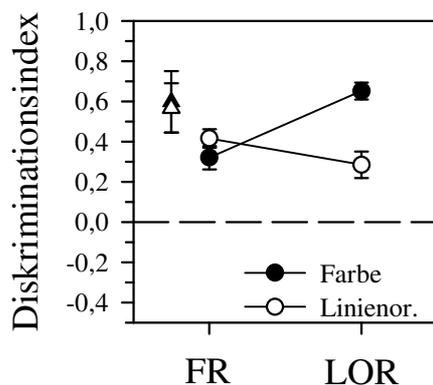
Leistungseinbußen zu Beginn der Sitzung vorhanden waren, v.a. die schlechtere Diskriminationsleistung mit separablen Verbundstimuli in FR (Abb. 3.4 links) und integralen Verbundstimuli in LOR (Abb. 3.4 rechts). Erst zum Ende der Sitzung hin, glich die Leistung mit beiden Verbundstimuli sich langsam an. Die oben gezeigten Mittelwerte (Abb. 3.3) unterschätzen damit eher den am Anfang der Sitzung vorhanden Einfluß des *half-reversal* auf die Diskrimination der Verbundstimuli.



**Abbildung 3.4.** Verlauf der Diskriminationsleistung in der ersten Sitzung der Verbundstimulusdiskrimination 1 (V1) separat für **links** Farb- (FR) und **rechts** Liniensorientierungs-*reversal* (LOR). Zusätzlich aufgetragen sind Regressionsgeraden und deren Steigungen  $a$ . Die gestrichelte Linie markiert das Zufallsniveau.

### 3.3.1.3 Elementstimulusdiskrimination 2 (E2)

Nach der ersten Verbundstimulusdiskrimination (V1) folgte die zweite Elementstimulusdiskrimination (E2). Auch hier hatte das *half-reversal* einer Dimension einen Einfluß auf die Diskriminationsleistung mit den entsprechenden Elementstimuli. Erfuhr die FARBE eine Umkehr in der Verstärkung wurden die Farbstimuli schlechter diskriminiert, als wenn die LINIENORIENTIERUNG von einer Umkehr betroffen war. Umgekehrt verhielt sich die Diskriminationsleistung mit den Liniensorientierungsstimuli (Abb. 3.5).



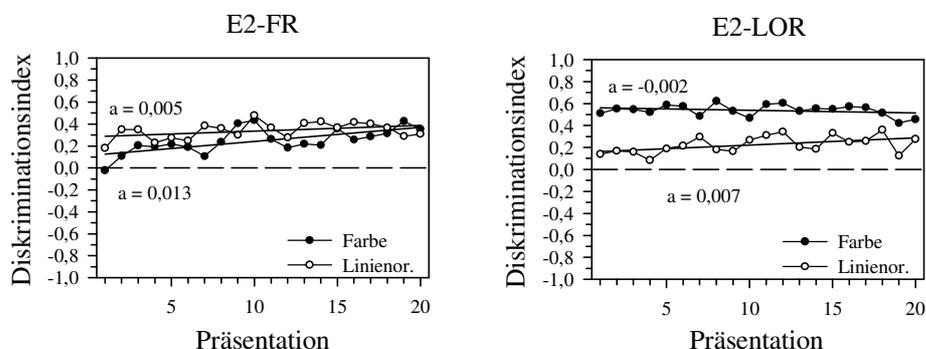
**Abbildung 3.5.** Mittelwerte und Standardfehler der ersten Sitzung der Elementstimulusdiskrimination 2 (E2) separat für jede Stimulusdimension und *half-reversal*-Bedingung (*FR* Farb-reversal, *LOR*, Linienorientierungs-reversal). Zum Vergleich ist die mittlere Diskriminationsleistung ( $\pm$  Stdabw.) für separable (schwarzes Dreieck) und integrale (weißes Dreieck) Verbundstimuli der letzten Sitzung von V1 aufgetragen. Die gestrichelte Linie markiert das Zufallsniveau.

Der Vergleich mit der Abbildung 3.3 zeigt aber, daß der Einfluß des *half-reversal* nicht so stark war wie in V1. Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Diskriminationsleistung zwischen Farb- und Linienorientierungsstimuli in FR ( $N = 16$ ,  $z = 1,448$ ,  $P = 0,148$ ) und keinen Unterschied in der Diskriminationsleistung zwischen Linienorientierungsstimuli in FR und LOR ( $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 176$ ,  $P = 0,07$ ). Dagegen unterschied sich die Diskriminationsleistung mit Farbstimuli zwischen FR und LOR ( $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 229$ ,  $P < 0,001$ ) und zwischen Farb- und Linienorientierungsstimuli in LOR ( $N = 16$ ,  $z = 3,413$ ,  $P < 0,001$ ). Dementsprechend unterschied sich die Diskriminationsleistung zwischen den Farb- und Linienorientierungsstimuli, wenn die Verstärkung der jeweils anderen Dimension umgekehrt wurde (Farbstimuli-LOR vs Linienorientierungsstimuli-CR;  $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 210$ ,  $P = 0,002$ ). Wurde aber die Dimension des betreffenden Elementstimulus umgekehrt verstärkt, so war die Diskriminationsleistung auf vergleichbarem Niveau (Farbstimuli-CR vs Linienorientierungsstimuli-LOR;  $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 149$ ,  $P < 0,429$ ).

Wenn man nun die Diskriminationsleistung in der ersten Sitzung von E2 mit derjenigen in der letzten Sitzung von E1 verglich, so zeigten sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den Farbstimuli für die LOR-Gruppe [E1: Mittelw. =

0,652 ( $\pm 0,142$ ), E2: Mittelw. = 0,651 ( $\pm 0,167$ ),  $N = 16$ ,  $z = -0,207$ ,  $P = 0,836$ ] und zwischen den Linienorientierungsstimuli für die FR-Gruppe [E1: Mittelw. = 0,477 ( $\pm 0,137$ ), E2: Mittelw. = 0,415 ( $\pm 0,186$ ),  $N = 16$ ,  $z = 1,086$ ,  $P = 0,278$ ]. Führte man diesen Vergleich aber für Farbstimuli in der FR-Gruppe und für Linienorientierungsstimuli in der LOR-Gruppe durch, ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Diskriminationsleistungen in der letzten Sitzung von E1 und der ersten Sitzung von E2 [Farbstimuli-FR E1: Mittelw. = 0,642 ( $\pm 0,182$ ), E2: Mittelw. = 0,3199 ( $\pm 0,233$ ),  $N = 16$ ,  $z = 3,361$ ,  $P < 0,001$ ; Linienorientierungsstimuli-LOR E1: Mittelw. = 0,497 ( $\pm 0,105$ ), E2: Mittelw. = 0,2844 ( $\pm 0,262$ ),  $N = 16$ ,  $z = 2,585$ ,  $P = 0,01$ ].

Es ist davon auszugehen, daß die Unterschiede in der Diskriminationsleistung von Farb- und Linienorientierungsstimuli v.a. auf die bessere Ausgangsleistung mit ersteren und der damit verbundenen größeren Effektstärke zurückzuführen sind. Abbildung 3.6 macht deutlich, daß das hier für die Mittelwerte der ersten Sitzung Gezeigte auch für den Beginn der Sitzung Gültigkeit hatte. Damit ist der Unterschied zwischen Farb- und Linienorientierungsstimuli auf Transfereffekte und nicht auf unterschiedliche Lerngeschwindigkeiten zurückzuführen.



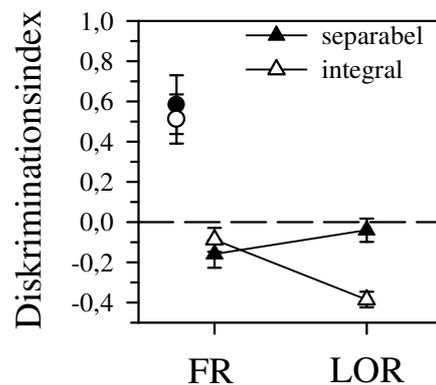
**Abbildung 3.6.** Verlauf der Diskriminationsleistung in der ersten Sitzung der Elementstimulus-diskrimination 2 (E2) separat für **links** Farb- (FR) und **rechts** Linienorientierungs-reversal (LOR). Zusätzlich aufgetragen sind Regressionsgeraden und deren Steigungen  $a$ . Die gestrichelte Linie markiert das Zufallsniveau.

Ein weiterer wichtiger Punkt war die Frage, ob der Einbruch in der Diskriminationsleistung in E2 kleiner war als derjenige in V1 vorher gewesen war. Hierfür war die Diskriminationsleistung in FR zwischen Farbstimuli und separablen Verbundstimuli und in LOR für Linienorientierungsstimuli und integrale

Verbundstimuli zu vergleichen. Sowohl der Vergleich der Stimuli in der Bedingung FR als auch in der Bedingung LOR zeigte signifikante Unterschiede [FR Farbe: Mittelw. = 0,3199 ( $\pm$  0,233), separabel: Mittelw. = 0,0611 ( $\pm$  0,305),  $N = 16$ ,  $z = 3,309$ ,  $P < 0,001$ ; LOR Linienor.: Mittelw. = 0,2844 ( $\pm$  0,262), integral: Mittelw. = -0,0178 ( $\pm$  0,2972),  $N = 16$ ,  $z = 2,689$ ,  $P = 0,007$ ].

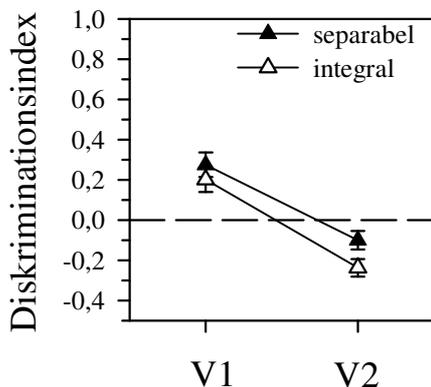
### 3.3.1.4 Verbundstimulusdiskrimination 2 (V2)

Die Ergebnisse des letzten Diskriminationstrainings in der Sequenz, V2, zeigten das gleiche interaktive Muster wie vorher schon in V1 und E2 (Abb. 3.7). Ähnlichkeit bestand aber v.a. zu letzterem, denn der Unterschied in der Diskriminationsleistung zwischen den beiden Stimuluspaaren - in diesem Fall separablen und integralen Verbundstimuli - war in der *half-reversal*-Bedingung FR wieder deutlich geringer als in LOR. Entsprechend wurde für FR kein signifikanter Unterschied zwischen den Verbundstimuli gefunden ( $N = 16$ ,  $z = 1,344$ ,  $P = 0,179$ ) in LOR hingegen schon ( $N = 16$ ,  $z = -3,237$ ,  $P < 0,001$ ). Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Diskriminationsleistung für separabele Verbundstimuli zwischen FR und LOR ( $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 85$ ,  $P = 0,105$ ), für integrale Verbundstimuli dagegen wurde ein signifikanter Unterschied gefunden ( $N_{1/2} = 16$ ,  $U = 222,5$ ,  $P < 0,001$ ).



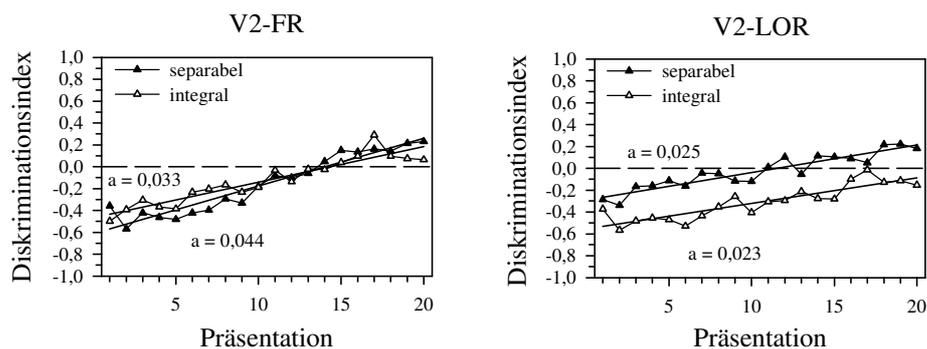
**Abbildung 3.7.** Mittelwerte und Standardfehler der Verbundstimulusdiskrimination 2 (V2) separat für jeden Verbundstimulustyp und jede *half-reversal*-Bedingung (*FR* Farb-*reversal*, *LOR* Linienorientierungs-*reversal*). Zum Vergleich ist die mittlere Diskriminationsleistung ( $\pm$  Stdabw.) der letzten Sitzung der Elementstimulusdiskrimination 2 mit Farb- (schwarzer Kreis) und Linienorientierungsstimuli (weißer Kreis) dargestellt. Die gestrichelte Linie markiert das Zufallsniveau.

Hervorzuheben ist aber das allgemein niedrige Leistungsniveau mit beiden Verbundstimuli in beiden *half-reversal*-Bedingungen. Vergleicht man diese Leistung mit derjenigen in V1 (Abb. 3.8), erkennt man einen deutlichen und statistisch signifikanten Unterschied für jede der beiden Arten von Verbundstimuli (separabel:  $N = 32$ ,  $z = -3,889$ ,  $P < 0,001$ ; integral:  $N = 32$ ,  $z = -4,563$ ,  $P < 0,001$ ).



**Abbildung 3.8.** Vergleich von Verbundstimulusdiskriminationen 1 und 2. Aufgetragen sind Mittelwerte und Standardfehler ( $N = 32$ ) für die Diskriminationsleistungen mit separablen und integralen Verbundstimuli. Die gestrichelte Linie markiert das Zufallsniveau.

Das in V2 gefundene Muster der Ergebnisse galt nicht nur für den Mittelwert der Sitzung, sondern auch für deren Beginn (Abb. 3.9). Obgleich sich in der *half-reversal*-Bedingung FR (Abb. 3.9 links) die Diskriminationsleistung mit beiden Verbundstimuli ab der Mitte der Sitzung einander anglich, zeigten die ersten Präsentationen eine Differenz in der Richtung der Gesamtmittelwerte (vgl. Verlauf der Regressionsgeraden), auch wenn die erste Präsentation in dieser Hinsicht aus dem Rahmen fiel. Der Verlauf der Diskriminationsleistung stützt die Ansicht, daß es sich um einen (nur numerischen) Unterschied handelte, der auf einen Transfereffekt zurückging und nicht Folge von unterschiedlichen Lerngeschwindigkeiten mit den beiden Verbundstimuli war. Da die Steigung der Regressionsgeraden der separablen Verbundstimuli in FR steiler war (Abb. 3.9 links), führte das Lernen innerhalb der Sitzung zu einer Angleichung der Mittelwerte in Abbildung 3.7.



**Abbildung 3.9.** Verlauf der Diskriminationsleistung in der ersten Sitzung der Verbundstimulus-diskrimination 2 (V2) separat für **links** Farb- (FR) und **rechts** Linienorientierungs-reversal (LOR). Zusätzlich aufgetragen sind Regressionsgeraden und deren Steigungen  $a$ . Die gestrichelten Linien markieren das Zufallsniveau.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß drei Befunde von besonderer Bedeutung für die Entscheidung zwischen den unterschiedlichen theoretischen Ansätzen und den Einfluß der Verbundstimulusart sind:

- 1) In V1 und V2 wurde eine Interaktion zwischen dem Verbundstimulustyp (separabel oder integral) und der *half-reversal*-Bedingung (FR oder LOR) gefunden. Keiner der Verbundstimuli wurde in beiden *half-reversal*-Bedingungen besser diskriminiert als der andere.
- 2) Der Leistungsabfall in der Diskrimination der Elementstimuli in E2 war geringer als der vorhergehende in V1.
- 3) Der Leistungsabfall in der Diskrimination der Verbundstimuli in V2 war größer als derjenige in V1.

### 3.3.2 Resultate - Rassevergleich

Die dem eigentlichen Experiment vorausgehende Eingewöhnungsphase führte zu Unterschieden zwischen den Rassen. So erreichten sieben von 21 Holländer Haubenhühnern (33,3 %) die Lernkriterien im *autosshaping* nicht. Im Vergleich dazu erreichte eine von 14 Chabo-Hennen (7 %) die Lernkriterien nicht, während alle Zwerg-Cochin- und alle Bantam-Hennen (100 %) die Lernkriterien erreichten. Auf der Grundlage des Anteils aller Hennen, die die Lernkriterien nicht erreicht haben,  $n_{\text{nicht-erreicht}}$ , an der Zahl der Hennen insgesamt,  $N$ , wurde

durch Multiplikation mit der Zahl der Hennen der Rasse Holländer Haubenhühner, die die Lernkriterien nicht erreicht haben,  $HHn_{\text{nicht-erreicht}}$ , ein Erwartungswert  $E$  errechnet:

$$E = HHn_{\text{nicht-erreicht}} \cdot n_{\text{nicht-erreicht}} \cdot N^{-1}$$

Er gibt auf der Grundlage der Gesamtstichprobe die Zahl zu erwartender Hölländer Haubenhuhn-Hennen an, die die Lernkriterien nicht erreichen sollten, unter der Voraussetzung, daß sich diese Hennen mit gleicher Häufigkeit auf die verschiedenen Rassen verteilen. Testet man anschließend mit dem Binomialtest den empirischen Wert unter Berücksichtigung des Erwartungswertes ( $E = \mu = 0,176$ ), so ergibt sich ein signifikanter Unterschied ( $X \leq 7$ ,  $n = 21$ ,  $P = 0,0143$ ). Die Zahl der Holländer Haubenhuhn-Hennen, die die Lernkriterien nicht erreicht haben, ist damit signifikant größer als nach der Gesamtstichprobe zu erwarten gewesen wäre.

### 3.3.2.1 E1 separat für die einzelnen Rassen

Der oben beschriebene Unterschied in der Lerngeschwindigkeit in E1 für Farb- und Linienorientierungsstimuli [Kapitel 3.3.1.1 „Elementstimulusdiskrimination 1 (E1)“] galt ebenfalls für die Hennen jeder einzelnen Rasse (Tab. 3.1).

**Tabelle 3.1.** Durchschnittliche Anzahl Sitzungen bis zum Erreichen des Kriteriums in E1 separat für die einzelnen Rassen ( $F$  Farbe,  $LO$  Linienorientierung). Die Zahl der Individuen je Rasse war  $n = 8$ .

Rasse	Chabo		Zwerg-Cochin		Bantam		Haubenhühner	
	F	LO	F	LO	F	LO	F	LO
Mittelw.	2,25	9,25	2,63	10,75	2,25	10,63	4,86	16,13
Stdabw.	0,71	7,19	1,69	5,7	0,71	3,62	3,56	9,28
$P$ -Wert	0,01		0,01		0,01		0,01	

Vergleicht man die Anzahl der Sitzungen bis zum Erreichen des Lernkriteriums bei der Diskrimination der Farbstimuli zwischen den Rassen mit dem Kruskal-Wallis-Test, so ergibt sich kein Unterschied ( $H = 2,923$ ,  $n = 8$ ,  $P = 0,404$ ). Gleiches gilt für die Diskrimination der Linienorientierungsstimuli ( $H = 5,044$ ,  $n = 8$ ,  $P = 0,169$ ). Diese Tests berücksichtigen allerdings keine Holländer

Haubenhühner, die in E1 das Lernkriterium innerhalb von 30 Sitzungen nicht erreicht haben. Dies trifft für insgesamt fünf Hennen zu, von denen drei an der Diskrimination der Linienorientierung scheiterten. Die anderen beiden Hennen haben aus ungeklärten Gründen das Picken eingestellt.

### 3.3.2.2 V1, E2 und V2 bei der Rasse Chabo

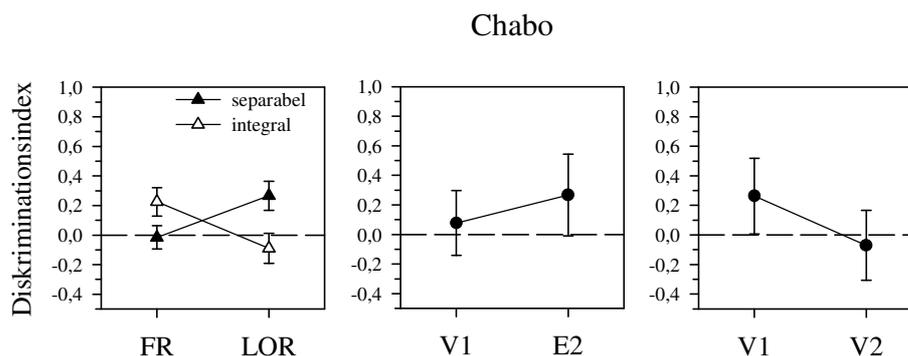
In diesem Kapitel sollen die am Ende von Kapitel 3.3.1 „Resultate - gesamte Stichprobe“ zusammenfassend aufgelisteten Hauptbefunde der Gesamtdaten für jede einzelne Rasse nachgeprüft werden.

Die Hennen der Rasse Chabo zeigten im Verbundstimulustraining die gleiche Interaktion zwischen dem Verbundstimulustyp (separabel oder integral) und der *half-reversal*-Bedingung (FR oder LOR) wie sie für die Gesamtgruppe der Hennen galt (Abb. 3.10 links). In FR wurden die separablen Verbundstimuli signifikant schlechter diskriminiert als die integralen ( $N = 8, T = 1, P = 0,01$ ), in LOR dagegen verhielt sich der Unterschied umgekehrt ( $N = 8, T = 1, P = 0,01$ ).

Der Unterschied zwischen V1 und der folgenden Diskrimination E2 fiel verhältnismäßig gering aus (Abb. 3.10 Mitte). Wie bei der Gesamtstichprobe war der Leistungseinbruch in E2 nicht so groß wie in V1. Dieser Unterschied erreichte (bei einseitigem Test) knapp die Signifikanzgrenze ( $N = 8, T = 5, P = 0,05$ ).

Der Unterschied zwischen den beiden Verbundstimulusdiskriminationen war dagegen deutlicher. Wie erwartet war die Diskriminationsleistung in V2 schlechter als V1 (Abb. 3.10 rechts). Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $N = 16, z = -2,585, P = 0,005$ ).

Die Ergebnisse für die Rasse Chabo entsprechen damit denjenigen, die für die Gesamtstichprobe gefunden wurden.

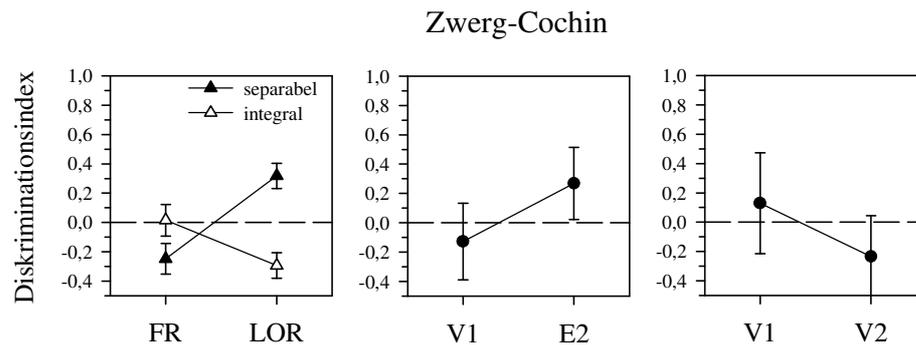


**Abbildung 3.10.** Ergebnisse der Rasse Chabo ( $N = 8$ ) **links** Mittelwerte ( $\pm$  Std.) der Diskriminationsleistungen für separabele und integrale Verbundstimuli im Farb- (*FR*) und Linienorientierungs-*reversal* (*LOR*) zusammengefaßt aus den Verbundstimulusdiskriminationen 1 und 2. **Mitte** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung für separabele Stimuli in *FR* und integrale Stimuli in *LOR* aus der Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) und für Farbstimuli in *FR* und Linienorientierungsstimuli in *LOR* aus der Elementstimulusdiskrimination 2 (*E2*) **rechts** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung in den Verbundstimulusdiskriminationen 1 (*V1*) und 2 (*V2*) zusammengefaßt für beide Verbundstimulusarten und beide *half-reversal*-Bedingungen. Die gestrichelten Linien markieren das Zufallsniveau.

### 3.3.2.3 V1, E2 und V2 bei der Rasse Zwerg-Cochin

Das interaktive Muster der Ergebnisse von V1 und V2 fand sich auch bei den Zwerg-Cochin (Abb. 3.11 links). Das *reversal* der FARBE (*FR*) führte zu einer geringeren Diskriminationsleistung mit separabelen Verbundstimuli als mit integralen; das Gegenteil galt für das *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (*LOR*). Beide Unterschiede waren statistisch signifikant (*FR*:  $N = 8$ ,  $T = 3$ ,  $P = 0,02$ ; *LOR*:  $N = 8$ ,  $T = 0$ ,  $P = 0,003$ ).

Ein geringerer Abfall der Diskriminationsleistung in E2 verglichen mit V1 galt auch für die Zwerg-Cochin (Abb. 3.11 Mitte). Der Unterschied war - rein deskriptiv - ausgeprägter als bei den Chabos und erreichte deutlich die statistische Signifikanz ( $N = 8$ ,  $T = 0$ ,  $P = 0,003$ ).



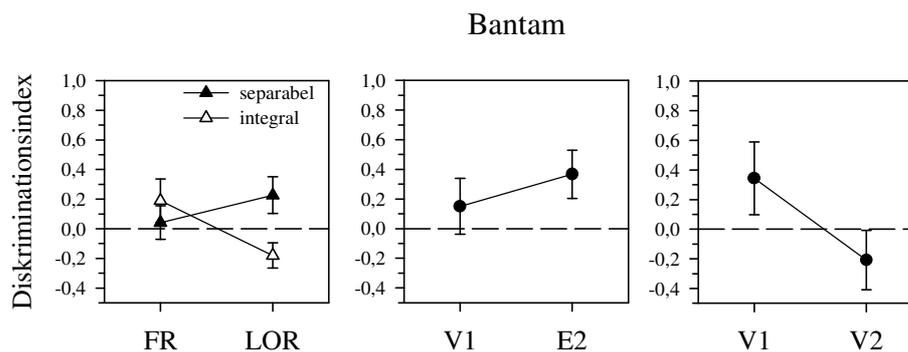
**Abbildung 3.11.** Ergebnisse der Rasse Zwerg-Cochin ( $N = 8$ ) **links** Mittelwerte ( $\pm$  Std.) der Diskriminationsleistungen für separabele und integrale Verbundstimuli im Farb- (*FR*) und Linienorientierungs-*reversal* (*LOR*) zusammengefaßt aus den Verbundstimulusdiskriminationen 1 und 2. **Mitte** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung für separabele Stimuli in *FR* und integrale Stimuli in *LOR* aus der Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) und für Farbstimuli in *FR* und Linienorientierungsstimuli in *LOR* aus der Elementstimulusdiskrimination 2 (*E2*) **rechts** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung in den Verbundstimulusdiskriminationen 1 (*V1*) und 2 (*V2*) zusammengefaßt für beide Verbundstimulusarten und beide *half-reversal*-Bedingungen. Die gestrichelten Linien markieren das Zufallsniveau.

Für den Vergleich der Diskriminationsleistungen in den beiden Verbundstimulusdiskriminationen war das Ergebnis vergleichbar mit dem der Gesamtstichprobe, der Leistungsabfall in *V2* war größer als derjenige in *V1* (Abb. 3.11 rechts). Auch dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $N = 16$ ,  $z = -2,045$ ,  $P = 0,041$ ).

Für die Rasse Zwerg-Cochin galt damit ebenso wie für die Rasse Chabo eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Gesamtstichprobe.

### 3.3.2.4 *V1*, *E2* und *V2* bei der Rasse Bantam

Wie bei den beiden anderen Haushuhnrasen wurde auch bei der Rasse Bantam die Interaktion zwischen der Art des Verbundstimulus (separabel oder integral) und der *half-reversal*-Bedingung (*FR* oder *LOR*) gefunden (Abb. 3.12. links). In *FR* wurde der separabele Verbundstimulus signifikant schlechter diskriminiert ( $N = 8$ ,  $T = 5$ ,  $P = 0,05$ ), in *LOR* der integrale Verbundstimulus ( $N = 8$ ,  $T = 0$ ,  $P = 0,003$ ).



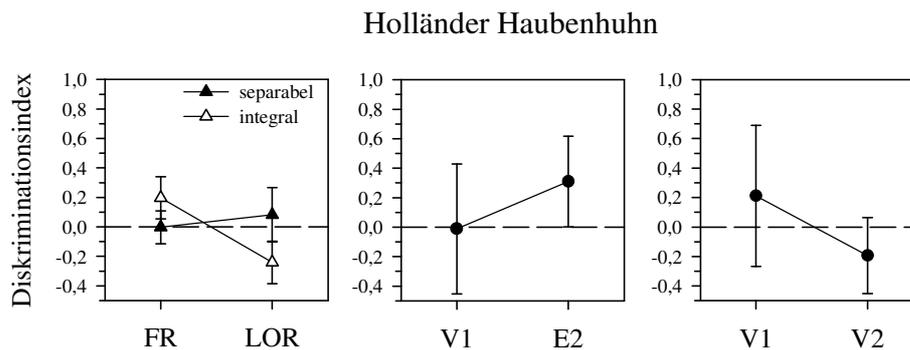
**Abbildung 3.12.** Ergebnisse der Rasse Bantam ( $N = 8$ ) **links** Mittelwerte ( $\pm$  Std.f.) der Diskriminationsleistungen für separabele und integrale Verbundstimuli im Farb- (*FR*) und Linienorientierungs-*reversal* (*LOR*) zusammengefaßt aus den Verbundstimulusdiskriminationen 1 und 2. **Mitte** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung für separabele Stimuli in *FR* und integrale Stimuli in *LOR* aus der Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) und für Farbstimuli in *FR* und Linienorientierungsstimuli in *LOR* aus der Elementstimulusdiskrimination 2 (*E2*) **rechts** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung in den Verbundstimulusdiskriminationen 1 (*V1*) und 2 (*V2*) zusammengefaßt für beide Verbundstimulusarten und beide *half-reversal*-Bedingungen. Die gestrichelten Linien markieren das Zufallsniveau.

Auch der Unterschied im Leistungsabfall zwischen *V1* und *E2* ist denjenigen vergleichbar, die bei den beiden vorher betrachteten Rassen und der Gesamtstichprobe gefunden worden waren. In *E2* ist der Abfall der Diskriminationsleistung durch das *half-reversal* geringer als in *V1* (Abb. 3.12 Mitte). Dieser Unterschied erreichte gerade die Signifikanzgrenze ( $N = 8$ ,  $T = 5$ ,  $P = 0,05$ ).

Der für *V2* charakteristische Leistungseinbruch war bei der Rasse Bantam sehr ausgeprägt (Abb. 3.12 rechts) und führte zu einem signifikanten Unterschied zwischen *V1* und *V2* ( $N = 16$ ,  $z = -3,413$ ,  $P < 0,001$ ), der ebenfalls für die Gesamtstichprobe gefunden worden war.

### 3.3.2.5 *V1*, *E2* und *V2* bei der Rasse Holländer Haubenhuhn

Die Daten der Haubenhühner waren allgemein durch größere Streuungsmaße (Standardabweichung, Standardfehler) gekennzeichnet. Die Unterschiede in den Mittelwerten der Diskriminationsleistung verhielten sich allerdings ebenso, wie es für die anderen Rassen der Fall war (Abb. 3.13).



**Abbildung 3.13.** Ergebnisse der Rasse Holländer Haubenhuhn ( $N = 8$ ) **links** Mittelwerte ( $\pm$  Stdf.) der Diskriminationsleistungen für separabele und integrale Verbundstimuli im Farb- (*FR*) und Linienorientierungs-*reversal* (*LOR*) zusammengefaßt aus den Verbundstimulusdiskriminationen 1 und 2. **Mitte** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung für separabele Stimuli in *FR* und integrale Stimuli in *LOR* aus der Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) und für Farbstimuli in *FR* und Linienorientierungsstimuli in *LOR* aus der Elementstimulusdiskrimination 2 (*E2*) **rechts** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung in den Verbundstimulusdiskriminationen 1 (*V1*) und 2 (*V2*) zusammengefaßt für beide Verbundstimulusarten und beide *half-reversal*-Bedingungen. Die gestrichelten Linien markieren das Zufallsniveau.

Die Interaktion zwischen der Art des Verbundstimulus (separabel oder integral) und der *half-reversal*-Bedingung fand sich für die Holländer Haubenhühner ebenfalls (Abb. 3.13 links). Die signifikant schlechtere Diskriminationsleistung wurde für separabele Stimuli in *FR* ( $N = 8$ ,  $T = 5$ ,  $P = 0,05$ ) und integrale Stimuli in *LOR* ( $N = 8$ ,  $T = 2$ ,  $P = 0,025$ ) gefunden.

Auch der Leistungsabfall in *V1* und der folgenden Diskrimination mit Elementstimuli in *E2* war erwartungsgemäß, entsprechend dem bei den anderen Rassen, numerisch verschieden (Abb. 3.13 Mitte). Wie schon bei den Chabo und den Bantam erreichte der statistische Kennwert im einseitigen Test gerade die Signifikanzgrenze ( $N = 8$ ,  $T = 5$ ,  $P = 0,05$ ).

Der größere Leistungsabfall, der für *V2* im Vergleich zu *V1* charakteristisch war, wurde ebenfalls bei den Holländer Haubenhühnern gefunden (Abb. 3.13 rechts). Auch bei ihnen war der Leistungsabfall in *V2* signifikant größer als in *V1* ( $N = 16$ ,  $z = -3.413$ ,  $P < 0,01$ ).

Zusammenfassend kann man sagen, daß die für die Gesamtstichprobe gezeigten Effekte ebenfalls für jede einzelne Rasse galten.

### 3.4 Diskussion

Drei Aspekte der Ergebnisse stehen im Vordergrund. 1) Bezogen auf die Verbundstimulusdiskrimination 1 (V1) ist zu fragen, ob es einen Unterschied im Diskriminationsverhalten für separabele und integrale Verbundstimuli gab, der eine unterschiedliche Art der Verarbeitung nahelegt. 2) Es schließt sich dann die Frage an, für welche Verbundstimuli eine analytische, merkmalsbasierte oder aber holistische, exemplarbasierte Art der Verarbeitung galt. Hierfür sind die Ergebnisse der Elementstimulusdiskrimination 2 (E2) und der Verbundstimulusdiskrimination 2 (V2) bedeutsam. Die Effekte, die zur Bearbeitung dieser Frage mit der Gesamtstichprobe aus den vier Haushuhnrassen gefunden wurden, ließen sich ebenfalls für jede einzelne Rasse zeigen. Im Folgenden wird daher nicht mehr separat auf die einzelnen Rassen eingegangen werden. Die Diskussion wird sich auf die Ergebnisse der Gesamtstichprobe beziehen.

#### 3.4.1 Merkmalsbasierte vs. exemplarbasierte Erklärungsansätze

Die Ergebnisse der Diskrimination V1 zeigten eine deutliche Interaktion zwischen der Art des Verbundstimulus und der Dimension, die von einem *half-reversal* betroffen war. Die Diskriminationsleistung mit separablen Stimuli war nur von einem *reversal* der FARBE betroffen, die Diskrimination integraler Stimuli dagegen nur von einem *reversal* der LINIENORIENTIERUNG. Keine der beiden Arten von Verbundstimuli wird damit unabhängig von der *half-reversal*-Bedingung besser diskriminiert als die andere. Träfe die Annahme zu, daß separabele Verbundstimuli analytisch, integrale dagegen holistisch verarbeitet würden (Leith and Maki, 1977), so hätte eine bessere Leistung mit den separablen Verbundstimuli gefunden werden müssen. Das Zerlegen des Verbundstimulus in seine Merkmale hätte eine Lenkung der Aufmerksamkeit auf die Merkmale der Dimension möglich machen sollen, die in ihrer Verstärkerkontingenz unverändert blieben. Dies war weder in V1 noch in V2 der Fall.

Allerdings ist es durchaus denkbar, von der analytischen Verarbeitung separabler Verbundstimuli auszugehen unabhängig von einer zusätzlichen

Annahme der Modifikation des Verhaltens durch Prozesse der Aufmerksamkeit. So erteilt Wagner (2003) mit seiner Weiterentwicklung des merkmalsbasierten Rescorla-Wagner-Modells (Rescorla & Wagner, 1972) der Annahme von Aufmerksamkeitsprozessen eine Absage und hat sich damit v.a. gegen Sutherland und Mackintosh (1971) durchgesetzt. Selbst die gegenwärtigen Arbeiten von Mackintosh machen hiervon keinen Gebrauch mehr (McLaren & Mackintosh, 2000; 2002).

Für die Unterscheidung zwischen einer analytischen und einer holistischen Verarbeitung ist die Untersuchung des Verhaltens der Hennen in den beiden folgenden Diskriminationen, E2 und V2, notwendig. Sollte es einen Unterschied zwischen separablen und integralen Verbundstimuli geben, ohne daß eine Verbesserung der Leistung mit separablen Verbundstimuli durch Aufmerksamkeitsprozesse angenommen werden müßte, so sollte er sich dort entsprechend darstellen lassen.

Im Gegensatz dazu weisen der geringere Leistungsabfall in der Diskrimination der Elementstimuli in E2 verglichen mit V1 und der größere Leistungsabfall in V2 verglichen mit V1 auf eine holistische Verarbeitung des gesamten Stimulusmaterials hin. Die weitestgehend aufrecht erhaltene Diskrimination der Elementstimuli in E2 dokumentiert, daß nicht die nach V1 geänderte Verstärkerkontingenz von zwei Merkmalen erneut gelernt werden mußte, sondern die gelernte Diskrimination in E1 beibehalten wurde. Der starke Leistungseinbruch in V2 weist auf das erneute Lernen der Verstärkerkontingenz aller Stimuli (*full-reversal*) hin, die sich im Vergleich zu V1 geändert hatte. Ein Umlernen der Verstärkerkontingenz von zwei Merkmalen wie vorher in V1 kann den größeren Leistungsabfall in V2 verglichen mit V1 nicht erklären. Vielmehr sollte ein wiederholtes Umlernen im Sinne eines „*learning to learn*“ eher mit einem zunehmend geringeren Leistungsabfall einhergehen (Mackintosh et al., 1968).

### **3.4.2 Die exemplarbasierte Interpretation**

Die gefundenen Unterschiede zwischen den einzelnen Diskriminationen der Trainingssequenz bestätigen deutlich die Vorhersagen des exemplarbasierten Erklärungsansatzes und widersprechen denjenigen der merkmalsbasierten Ansätze. Danach wäre davon auszugehen, daß Hennen sich so verhalten, als stelle

die Trainingssequenz eine Verschachtelung von zwei unterschiedlichen Diskriminationen dar, eine Elementstimulusdiskrimination ohne Veränderung der Verstärkerkontingenz und eine Verbundstimulusdiskrimination mit Veränderung der Verstärkerkontingenz für alle beteiligten Stimuli (*full-reversal*). Dem entsprechend lernten die Hennen nach Aneignung der Diskrimination der Elementstimuli in E1 die Diskrimination von Verbundstimuli in V1. Die Diskrimination dieser Verbundstimuli mußte, da die Stimuli den Hennen unbekannt waren, im Prinzip neu gelernt werden. Weil aber eine Ähnlichkeit zwischen ihnen und den vorher gelernten Elementstimuli bestand, begann die Diskriminationsleistung nicht auf dem Zufallsniveau. Das gefundene interaktive Muster in der ersten Sitzung von V1 zeigt, daß die Ähnlichkeit mit den Elementstimuli für separable und integrale Verbundstimuli nicht gleich ist. Bei einem *reversal* der FARBE begann die Diskriminationsleistung separabler Verbundstimuli unterhalb des Zufallsniveaus (Abb. 3.4 links), was auf eine Ähnlichkeit mit den in E1 gelernten Farbstimuli hindeutete. Da die Verstärkung der Farbdimension umgekehrt wurde, führte ein intensiveres Picken desjenigen separablen Stimulus, der dem vorher verstärkten Farbstimulus ähnlich war (d.h. den gleichen Farbwert aufwies), zu einer schlechteren Diskriminationsleistung, als bei einer zufälligen Verteilung der Pickintensität zu erwarten gewesen wäre. Es fand ein negativer Transfer oder eine Generalisation des Pickverhaltens aus E1 statt.

Die Diskriminationsleistung für integrale Verbundstimuli begann dagegen während des *reversals* der FARBE auf einem Niveau oberhalb des Zufallsniveaus (Abb. 3.4 links). Das Pickverhalten der Hennen war daher in diesem Fall stärker beeinflusst von den vorher gelernten Linienorientierungsstimuli und deren Verstärkerkontingenzen. Die LINIENORIENTIERUNG blieb in FR in der Verstärkung unverändert. Die Ähnlichkeit zu den Linienorientierungsstimuli gleichen Wertes konnte deshalb zu einer Generalisation des Pickverhaltens auf die integralen Verbundstimuli und damit zu einer Leistung führen, die besser war als eine zufällige Verteilung der Pickhäufigkeiten (Abb. 3.4 links).

In der Bedingung mit einem *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (LOR) verhielt sich das Diskriminationsverhalten aus den gleichen Gründen genau umgekehrt (Abb. 3.4 rechts).

In E2 wurden die Hennen dann mit der vorher gelernten Diskrimination zum wiederholten Mal konfrontiert, ohne daß sich an den Verstärkerkontingenzen etwas geändert hatte. Entsprechend war die Diskriminationsleistung am Anfang dieser Trainingsphase weitestgehend über dem Zufallsniveau (Abb. 3.6). Ebenso wie vorher in V1 beeinflusste die Ähnlichkeit zwischen Element- und Verbundstimuli auch in diesem Fall das Diskriminationsverhalten, allerdings diesmal in schwächerem Ausmaß als vorher (siehe Abb. 3.10 - 3.13 jeweils Mitte). Aus der Sicht exemplarbasierter Erklärungsansätze war dies deshalb zu erwarten, weil bereits Exemplare und deren Assoziation mit Reaktionen vorhanden waren. Eine Störung des vorher Gelernten durch Erfahrung mit ähnlichen Stimuli (Generalisation) sollte daher vergleichsweise gering ausfallen. Dies sollte um so mehr der Fall sein, je größer die Erfahrung mit dem Stimulusmaterial ist (siehe Experiment 3).

Vergleichbar mit E2 wurde schließlich auch in V2 bereits gelerntes Stimulusmaterial noch einmal präsentiert. Diesmal blieben allerdings nicht die Verstärkerkontingenzen unverändert. Sie waren für jeden Stimulus verändert. Entsprechend zog diese Manipulation die schlechteste Diskriminationsleistung nach sich. Wie auch schon in E2 wurde das Diskriminationsverhalten nicht mehr so stark wie in V1 durch die Ähnlichkeit mit den Elementstimuli beeinflusst (Abb. 3.7, 3.9).

### **3.4.3 Separabel vs. integral**

Die im Vorangegangenen dargestellte Interpretation der Daten führt hinsichtlich der Unterscheidung einer separablen und einer integralen Version des Verbundstimulus, so wie sie hier vorgenommen worden ist, zu dem Schluß, daß ihr hinsichtlich des Verhaltens der Hennen keine Bedeutung zukommt. Der gefundene Interaktionseffekt, bzw. die unterschiedlichen Ähnlichkeitsrelationen zwischen den beiden Verbundstimulusversionen und den Elementstimuli, machen zwar deutlich, daß es einen verhaltensrelevanten Unterschied zwischen diesen Verbundstimuli gibt. Er kann aber nicht in der Separabilität oder Integralität des Stimulus selbst gesehen werden. Mit dieser Unterscheidung ginge ein Unterschied in der Stimulusverarbeitung einher. Separabele Verbundstimuli sind mit einer analytischen Art der Verarbeitung assoziiert, integrale dagegen mit einer holistischen Verarbeitung (z.B. Garner, 1974; Lockhead, 1966). Dieser

Unterschied kann aufgrund der Ergebnisse von Experiment 1 nicht bestätigt werden; alle Effekte trafen sowohl für separabele als auch für integrale Verbundstimuli zu und diese Effekte legen eine holistische Verarbeitung beider Verbundstimulusversionen nahe. Diese Schlußfolgerungen stehen im Kontrast zu einigen Arbeiten mit Tauben (*Columba livia*), die mit gleichwertigem Stimulusmaterial (ebenfalls *rot*, *grün*, *horizontal* und *vertikal* auf kreisförmigem Display) entweder die Assoziation zwischen separablen Verbundstimuli und analytischer bzw. integralen Verbundstimuli und holistischer Verarbeitung bestätigten (Lamb, 1988; Lamb & Riley, 1981) oder aber für beide Verbundstimulusversionen zu dem Ergebnis kamen, daß sie analytisch verarbeitet werden (Cook et al., 1992; Leith & Maki, 1977). Blough (1972) untersuchte neben anderem Stimulusmaterial die integrale Version des hier verwendeten Stimulusmaterials und kam ebenfalls zu der Auffassung, daß seine Tauben eine analytische Verarbeitung zeigten. Im Gegensatz dazu, bestätigen Cox und D'Amato (1982) eine holistische Verarbeitung des prinzipiell gleichen Stimulusmaterial bei Makaken (*Macaca mulatta*), während allerdings zuvor Ray (1969) mit der gleichen Spezies ein ähnliches Experiment auf der Grundlage einer analytischen Verarbeitung interpretierte.

Auch wenn die Unterscheidung zwischen separablem und integralem Stimulusmaterial ein gelungener Kompromiß zwischen den Anhängern merkmalsbasierter und exemplarbasierter Erklärungsansätze zu sein scheint (Wagner, 2003), ist sie möglicherweise nur eine zusätzliche Variable, die im Bereich der Tierpsychologie zunächst mehr Probleme mit sich bringt, als sie gewinnbringend empirische Befunde zu erklären hilft.

### **3.4.4 Alternative Interpretationen**

Die exemplarbasierte Erklärung des Pickverhaltens der Hennen in Experiment 1 wird durch die gefundenen Effekte bestätigt. Darüber hinaus ist sie aber auch sparsam und leicht nachvollziehbar. Diese theoretischen Gütekriterien und die Konkretisierung des exemplarbasierten Ansatzes zu einer konfiguralen Exemplartheorie werden im Kapitel 10 „Allgemeine Diskussion“ erörtert. Ihre Bedeutung bekommen sie im Rahmen dieser Arbeit dadurch, daß die exemplarbasierte Erklärung nicht alternativlos ist. Die Beschreibung der merkmalsbasierten Ansätze ließe sich als zu eingeschränkt charakterisieren. Die

hier vorgenommene Festlegung der relevanten Merkmale auf R, G, H und V entspricht dem Erklärungsansatz einiger Arbeiten, wird aber dem gegenwärtigen Stand der merkmalsbasierten Theoriebildung nicht gerecht. Im Folgenden sollen daher alternative Interpretationen der vorliegenden Ergebnisse skizziert werden, deren Prüfung und Diskussion späteren Teilen dieser Arbeit vorbehalten sind.

#### **3.4.4.1 Helligkeitskontraste oder der Anteil der Farbe**

Mit dem Hinweis auf die Bedeutung von Ähnlichkeitsrelationen für die gefundenen interaktiven Effekte wird deutlich, daß perzeptive Aspekte der visuellen Wahrnehmung möglicherweise einen großen Einfluß auf das gefundene Ergebnis hatten. Die hier vorgeschlagene exemplarbasierte Interpretation würde diesen Einfluß aber auf die Generalisationseffekte, die dieses interaktive Muster hervorrufen, beschränken wollen. Diejenigen Effekte, die im Rahmen dieser Interpretation für die Unterscheidung des merkmalsbasierten und exemplarbasierten Erklärungsansatzes herangezogen wurden, sollten davon nicht berührt werden. Für sie steht die Repräsentation des einzelnen Stimulus und seine Verstärkerkontingenz im Vordergrund, nicht aber Relationen zwischen verschiedenen Stimuli.

Prinzipiell in die gleiche Richtung zielt das Argument, daß der Anteil der Farbe innerhalb eines Stimulus eine wichtige Variable für die Diskrimination der Verbundstimuli ist (Zentall, im Druck). Diese Annahme berührt ebenfalls nur Relationen zwischen Stimuli und die auf ihnen beruhende Generalisation.

Alternativinterpretationen dieser Art werden in den Experimenten 2 und 3 berücksichtigt werden, die im Folgenden vorzustellen sind.

#### **3.4.4.2 Der *overtraining-reversal*-Effekt**

Im Rahmen des merkmalsbasierten Erklärungsansatzes könnte man auf die ungleiche Verstärkungsgeschichte (engl. *reinforcement history*) der beiden Merkmalspaare der beiden Dimensionen verweisen. Sie ist, wenn man Aufmerksamkeitsprozesse unberücksichtigt läßt, die wesentliche Größe für die Vorhersage des Pickverhaltens gegenüber den verschiedenen Stimuli. Die Ungleichheit wird deutlich, wenn man die Trainingssequenz mit ihrer Abfolge von *half-reversals* betrachtet. In der Abbildung 3.1 ist beispielhaft die Reihenfolge FR (V1), FR (E2) und LOR (V2) dargestellt. Für die zweite Gruppe

von Hennen lautete sie entsprechend LOR (V1), LOR (E2) und FR (V2). Das bedeutet, daß beispielsweise in der ersten Folge (Abb. 3.1) die Merkmale der Dimension LINIENORIENTIERUNG dreimal hintereinander ohne eine Veränderung der Verstärkerkontingenzen bis zum Kriterium trainiert wurden, während die Diskrimination der Merkmale der Dimension FARBE von einer Veränderung der Verstärkerkontingenzen begleitet war. Damit ist im Fall der LINIENORIENTIERUNG die immer gleiche Diskrimination der Merkmale übertrainiert (engl. *overtrained*) worden. Die Diskrimination der Merkmale der Dimension FARBE war dagegen immer mit einem erneuten Lernvorgang verbunden. Es ist bekannt, daß bei Hühnern ein *overtraining* einer Diskrimination bei deren *reversal* zu einer schlechteren Leistung führt als bei einer *non-overtrained* Vergleichsgruppe (Mackintosh, 1965). Dieser Befund steht im Gegensatz zu dem bekannt gewordenen paradoxen Befund, daß ein *overtraining* bei Ratten zu einem schnelleren Umlernen im *reversal* führt (Mackintosh, 1965; siehe auch Sutherland & Mackintosh, 1971). Dem entsprechend ließe sich der deutlich stärkere Leistungseinbruch in V2 verglichen mit V1 auf dieses *overtraining* zurückführen. Eine wichtige Vorhersage des exemplarbasierten Erklärungsansatzes wäre damit ebenfalls durch den merkmalsbasierten Ansatz möglich. Diese Interpretation macht allerdings von einer weiteren Variablen, dem *overtraining*, Gebrauch und ist damit komplizierter als die vorgestellte exemplarbasierte Erklärung. Viel wichtiger für die Beurteilung dieser Alternativinterpretation ist aber, daß sie nicht erklärt, warum nicht bereits in E2 ein größerer Leistungseinbruch als in V1 gefunden worden ist, sondern erst in V2. Die Alternativinterpretation anhand des *overtraining-reversal*-Effekts wird in Experiment 3 berücksichtigt werden.

### 3.4.3.3 Verbundstimulusspezifische Merkmale

Der in dieser Arbeit favorisierte exemplarbasierte Erklärungsansatz ist charakterisiert durch eine strikte Trennung von Elementstimulus- und Verbundstimulusdiskrimination aufgrund der Annahme, daß unterschiedliche Stimuli präsentiert werden, die zur Repräsentation unterschiedlicher Exemplare im Organismus führen. Im Gegensatz dazu ist beim merkmalsbasierten Ansatz im Extremfall kein Unterschied vorhanden, weil die Merkmale in Elementstimulus- wie in Verbundstimulusdiskriminationen die gleichen sind.

Dieser Gegensatz läßt sich reduzieren, indem man Merkmale postuliert, die zusätzlich zu den mit den Elementstimuli gemeinsamen Merkmalen spezifisch für Verbundstimuli sind. Solche Merkmale wurden „*configural cues*“ (Wagner & Rescorla, 1972) oder auch „*structural features*“ (George & Pearce, 2003) genannt. Diese verbundstimulusspezifischen Merkmale stellen im Grunde weitere Variablen dar, die mit ihrem Wert zu der Beschreibung des Pickverhaltens beitragen. Sie führen dazu, daß in den Verbundstimulusdiskriminationen nicht mehr vier Merkmale der Vorhersage des Verhaltens dienen, sondern acht: vier Elementmerkmale und vier Verbundmerkmale, wenn man sie einmal so bezeichnen möchte. Nun läßt sich argumentieren, daß für den Unterschied zwischen Elementstimulus- und Verbundstimulusdiskriminationen die in den Elementstimuli nicht vorkommenden Verbundmerkmale verantwortlich sind. Aus der Sicht des verarbeitenden Organismus wurden in V2 verglichen mit V1 nicht die Verbundstimuli als Ganzes umgekehrt verstärkt, sondern es wurden zwei von vier Elementstimuli im Vergleich zu E2 und alle vier Verbundmerkmale im Vergleich zu V1 umgekehrt verstärkt. Während somit in V2 sechs von acht Merkmalen in der Verstärkerkontingenz geändert wurden, waren es in V1 nur zwei von acht, nämlich zwei Elementmerkmale. Die vier Verbundmerkmale waren mit ihrer Verstärkerkontingenz noch unbekannt. Dieser Interpretation zufolge wäre also ebenfalls eine schlechtere Leistung in V2 als in V1 zu erwarten gewesen.

Neben der bereits erwähnten Einführung zusätzlicher Variablen, die die Erklärung der empirischen Befunde verkomplizieren und eine Falsifikation der Theorie allgemein erschweren (Popper, 1966), ist auch in diesem Fall die bessere Leistung in E2 im Vergleich zu V1 nicht zu erklären. Da die Elementstimuli nach wie vor aus einem Merkmal bestehen, sollte ein *reversal* der Merkmale einer Dimension bei der Diskrimination der entsprechenden Elementstimuli zu einem deutlichen Leistungseinbruch führen. Dieser sollte größer sein als in V1, deren Verbundstimuli durch acht Merkmale charakterisiert sind, von denen die vier Verbundmerkmale ohne Verstärkerwert, zwei Elementmerkmale, die in ihrem Verstärkerwert der beibehaltenen Verstärkerkontingenz entsprechen (z.B. *horizontal* und *vertikal* in FR), und zwei Elementmerkmale, deren Verstärkerwert der geänderten Verstärkerkontingenz nicht entsprechen und die infolgedessen umgelernt werden müssen (z.B. *rot* und *grün* in FR).

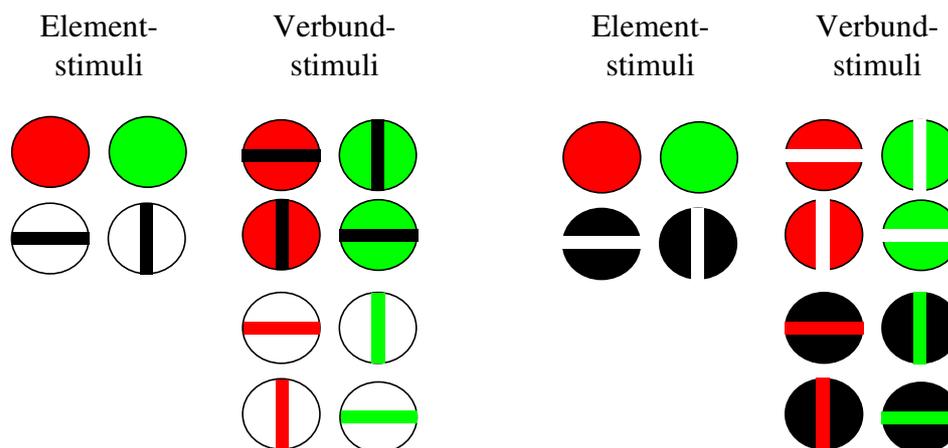
Diese Situation ändert sich nur, wenn zusätzlich zu den verbundstimulus-spezifischen auch noch elementstimulusspezifische Merkmale angenommen werden. Diese Möglichkeit ist in der gegenwärtigen Diskriminationstheorie von McLaren und Mackintosh (2000; 2002) gegeben, da bei ihr Stimuli gleich welcher Art *a priori* als Liste von Elementen betrachtet werden („*stimuli as sets of elements*“, McLaren & Mackintosh, 2000, p. 2111; „*corresponding, perhaps, to what would today be termed the microfeatures of a stimulus*“ McLaren & Mackintosh, 2002, p. 178). Diese Elemente werden gleichgesetzt mit Einheiten (engl. *units*) in neuronalen Netzwerkmodellen. Sie sind damit rein theoretische Einheiten, deren Übereinstimmung mit physikalischen Eigenschaften des Stimulus nur noch vorausgesetzt wird. Für die Erklärung des Pickverhaltens auf einen bestimmten Stimulus steht so eine endliche Zahl von Variablen zur Verfügung. Damit ist diese Theorie faktisch nicht zu falsifizieren. Der hier favorisierte exemplarbasierte Ansatz kann ihr nur auf der Grundlage von Gütekriterien der Theoriebildung gegenüber gestellt werden (siehe das Kapitel 10 „Allgemeine Diskussion“).

## 4 Experiment 2

### 4.1 Einleitung

Auf der Grundlage der Ergebnisse in Experiment 1 wurde angenommen, daß Ähnlichkeiten zwischen Element- und Verbundstimuli bedeutsam für die auf die erste Elementstimulusdiskrimination (E1) folgenden Diskriminationen war. Die Ähnlichkeit ist eine subjektive Größe, d.h., sie ist abhängig von der perzeptiven Verarbeitung im individuellen Organismus. Die Auswirkung der Kombination von Elementen in einem Verbundstimulus auf dessen Perzeption kann dabei vielfältig sein. So hat Experiment 1 gezeigt, daß die Kombination von Elementen der Dimensionen FARBE und LINIENORIENTIERUNG auf eine separabele und eine integrale Weise zu unterschiedlichem Generalisationsverhalten der Hennen und damit zu Unterschieden in der wahrgenommenen Ähnlichkeit führte. Für die separablen Verbundstimuli bestand größere Ähnlichkeit zu den Farbstimuli mit gleichem Wert der Dimension FARBE, für integrale Verbundstimuli dagegen war die Ähnlichkeit zu Linienorientierungsstimuli mit entsprechend gleichem Wert der Dimension LINIENORIENTIERUNG größer. Nach dem Konzept der *stimulus degradation* (Maki & Leith, 1973) wäre anzunehmen, daß die Kombination der Merkmale auf separabele oder integrale Weise zu unterschiedlicher Hemmung der Wahrnehmung eines der beiden Elemente führte. Eine plausible und für Menschen im allgemeinen leicht nachvollziehbare Spekulation, die zu einem solchen Unterschied führen würde, wäre, daß aufgrund der Helligkeitskontraste die Linie in separablen Verbundstimuli schwieriger wahrzunehmen ist als in integralen Verbundstimuli. Aufgrund der größeren Helligkeit der integralen Verbundstimuli könnte die Farbe schwieriger wahrzunehmen sein als in separablen Verbundstimuli. Durch eine Umkehr der Helligkeit von Linie und Hintergrund in den Linienorientierungsstimuli, d.h. durch die Verwendung einer weißen Linie auf schwarzem Grund, sollte die oben geschilderte Situation in den Verbundstimuli umgekehrt werden (vgl. Abb. 4.1). Eine bessere Wahrnehmung der Linie in den separablen Verbundstimuli sollte die subjektive Ähnlichkeit mit den Linienorientierungsstimuli erhöhen und im Fall der integralen Stimuli reduzieren. Umgekehrt könnte sich die Situation für die subjektive Ähnlichkeit mit den Farbstimuli ändern. Zu erwarten wäre dann eine

Reduktion der Interaktion zwischen der Art des Verbundstimulus und der *half-reversal*-Bedingung, die am deutlichsten in der ersten Verbundstimulus-diskrimination (V1) gefunden wurde. Alle anderen theoretisch belasteten Effekte, d.h. der geringere Leistungsabfall in E2 verglichen mit V1 und der deutlich stärkere Abfall in V2 im Vergleich zu V1, sollten nach dem exemplarbasierten Erklärungsansatz davon nicht berührt werden.



**Abbildung 4.1.** links In Experiment 1 verwendetes Stimulusmaterial. rechts Verändertes Stimulusmaterial für Experiment 2 mit umgekehrter Helligkeit zugunsten der Elemente der Dimension LINIENORIENTIERUNG in den separablen Verbundstimuli und zu deren Ungunsten in den integralen Verbundstimuli. Eine günstige Beeinflussung der Wahrnehmung der Farbe in den integralen Verbundstimuli durch eine Reduktion der Helligkeit insgesamt ist ebenfalls möglich.

## 4.2 Material und Methode

### 4.2.1 Tiere

Verwendet wurden acht Hennen der Rasse Chabo. Die Tiere waren experimentell naiv und wurden nur in diesem Experiment verwendet. Eine Erfahrung mit dem Stimulusmaterial aus Experiment 1 (Abb. 4.1 links) lag demnach nicht vor. Die Haltung und Versorgung der Tiere erfolgte, wie im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ beschrieben.

### **4.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial**

Die Apparatur wurde im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ beschrieben. Sie war identisch mit derjenigen, die in Experiment 1 verwendet wurde.

Das Stimulusmaterial war im Vergleich zu Experiment 1 verändert. Von den Elementstimuli wurde bei den Linienorientierungsstimuli statt einer schwarzen Linie auf weißem Grund nun eine weiße Linie auf schwarzem Grund präsentiert (Abb. 4.1 rechts). Entsprechend änderte sich auch das Erscheinungsbild der Verbundstimuli. Separabele Stimuli waren nun charakterisiert durch eine weiße Linie auf farbigem Grund, während integrale Stimuli aus einer farbigen Linie vor schwarzem Grund bestanden. Die Herstellung des Stimulusmaterials erfolgte aus den gleichen Materialien und auf die gleiche Weise wie in Experiment 1.

### **4.2.3 Prozedur**

Die Prozedur entsprach der im Experiment 1.

### **4.2.4 Statistik**

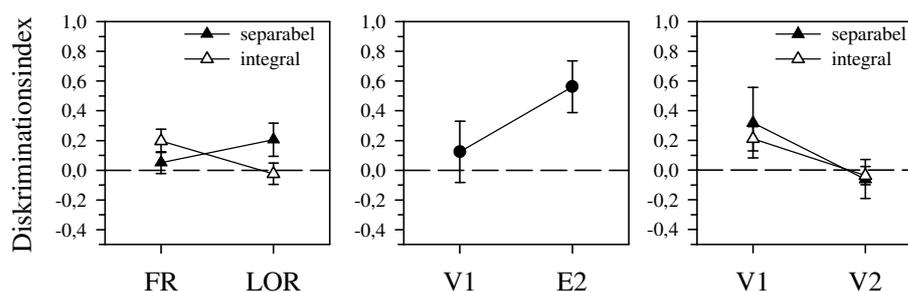
Auch die Statistik wurde mit den gleichen Verfahren durchgeführt, wie in Experiment 1 beschrieben. Grundlage waren ebenfalls die aus den Rohdaten errechneten Diskriminationsindices.

## **4.3 Resultate**

Die Daten wurden ebenso behandelt, wie es für die Auswertung der einzelnen Rassen in Experiment 1 der Fall war (Kapitel 3.3.2 „Resultate - Rassevergleich“). Die beiden Verbundstimulusdiskriminationen wurden zusammengefaßt, um einen Test mit jeweils acht Individuen pro Gruppe durchführen zu können.

Nach wie vor zeigte sich ein interaktives Muster der Ergebnisse. Während des *reversals* der FARBE (FR) war die Diskriminationsleistung mit separablen Verbundstimuli schlechter als mit den integralen. Umgekehrt verhielt es sich wieder im *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (LOR), hier wurden die integralen Verbundstimuli schlechter diskriminiert (Abb. 4.2 links). Verglichen mit dem Ergebnis der Rasse Chabo in Experiment 1 (Kapitel 3.3.2.2 „V1, E2 und V2 bei der Rasse Chabo“) fällt dieser interaktive Effekt allerdings geringer aus.

Die Unterschiede in der Diskriminationsleistung zwischen den beiden Verbundstimulusversionen sind nicht mehr so groß. Entsprechend wird in FR in diesem Experiment das erste Mal die Signifikanzgrenze im einseitigen Test verfehlt ( $N = 8, T = 6, P = 0,063$ ). In LOR war dagegen ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verbundstimulusversionen vorhanden ( $N = 8, T = 0, P = 0,005$ ).



**Abbildung 4.2.** Ergebnisse von Experiment 2 ( $N = 8$ ). **links** Mittelwerte ( $\pm$  Stdf.) der Diskriminationsleistungen für separable und integrale Verbundstimuli Farb- (*FR*) und Linienorientungs-*reversal* (*LOR*) zusammengefaßt aus den Verbundstimulusdiskriminationen 1 und 2 **Mitte** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistung für separable Stimuli in FR und integrale Stimuli in LOR aus der Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) und für Farbstimuli in FR und Linienorientungsstimuli in LOR aus der Elementstimulusdiskrimination 2 (*E2*) **rechts** Mittelwerte ( $\pm$  Stdabw.) der Diskriminationsleistungen in der Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) und 2 (*V2*) separat für separable und integrale Verbundstimuli.

Der Unterschied im Leistungsabfall zwischen der Verbundstimulusdiskrimination 1 (*V1*) und der Elementstimulusdiskrimination 2 (*E2*) war dagegen deutlich (Abb. 4.2 Mitte) und statistisch signifikant ( $N = 8, T = 0, P = 0,005$ ).

Der *full-reversal*-Effekt, d.h. der stärkere Einbruch in der Diskriminationsleistung in *V2* verglichen mit *V1*, zeigte sich auch in diesem Experiment (Abb. 4.2 rechts). Er war quantitativ für separable und integrale Verbundstimuli vergleichbar ausgeprägt und erreichte sowohl für separable ( $N = 8, T = 0, P = 0,005$ ) als auch für integrale Verbundstimuli die Signifikanzgrenze ( $N = 8, T = 5, P = 0,05$ ).

## 4.4 Diskussion

Die für Experiment 1 charakteristischen Befunde, die zur Zurückweisung eines merkmalsbasierten Erklärungsansatzes geführt haben, wurden ebenfalls in diesem Experiment gefunden. Das interaktive Schema der Ergebnisse der Verbundstimulusdiskriminationen als Folge des Transfers und der Generalisation von den Elementstimulusdiskriminationen wurde nach wie vor gefunden. Es war aber nicht so stark ausgeprägt wie in Experiment 1. Dies macht deutlich, daß eine Veränderung in perzeptiven Aspekten des Stimulusmaterials, die aber dessen grundlegende dimensionale Struktur nicht berühren, die Generalisation und damit die wahrgenommene Ähnlichkeit zwischen den Stimuli modifiziert. Diese Modifikation fällt aber so gering aus, daß sie nicht zu einer Veränderung der Schlußfolgerungen aus Experiment 1 Anlaß gibt. Nach wie vor wurde kein Verbundstimulustyp unabhängig von der *half-reversal*-Bedingung besser diskriminiert als der andere. Somit fehlt weiterhin ein Hinweis auf eine unterschiedliche Verarbeitung beider Typen.

Die beiden anderen Befunde, d.h. der schwächere Leistungsabfall in E2 nach und verglichen mit V1 sowie der Unterschied zwischen V1 und V2, wurden gleichermaßen in diesem Experiment gefunden. Eine Veränderung der Helligkeitsverhältnisse zwischen Linie und Hintergrund hat damit keinen Einfluß auf die exemplarbasierte Erklärung des Pickverhaltens der Hennen. Da mit dieser Manipulation des Stimulusmaterials eine Annäherung des vorliegenden Experimentes an die Arbeiten anderer gegeben ist, steht der hier bezogene Standpunkt weiterhin im Gegensatz zu deren merkmalsbasierten Interpretationen (Cook et al., 1992; Leith & Maki, 1977).

## 5 Experiment 3

### 5.1 Einleitung

In Experiment 1 wurde deutlich, daß bei einem Wechsel der Diskrimination der Generalisationseffekt mit seinem interaktiven Muster dann ausgeprägt war, wenn das Stimulusmaterial der folgenden Diskrimination unbekannt war. Dies war in der Verbundstimulusdiskrimination 1 (V1) der Fall. In den beiden folgenden Transfersituationen, von V1 zur Elementstimulusdiskrimination 2 (E2) und anschließend zur Verbundstimulusdiskrimination 2 (V2), in denen ein Wechsel zu einer Diskrimination mit bekanntem Stimulusmaterial erfolgte, fiel der Generalisationseffekt, gemessen am Ausmaß der Differenz zwischen separablen und integralen Stimuli, schwächer aus.

Dies legt die etwas paradoxe Annahme nahe, daß je mehr Erfahrung die Hennen mit dem Stimulusmaterial haben, desto weniger profitieren sie von den Verstärkerkontingenzen, die sie im Rahmen einer *half-reversal*-Sequenz unmittelbar vorher gelernt haben. Für eine Fortsetzung der Sequenz aus Experiment 1 nach dem gleichen Schema hieße das, daß das Umlernen in den Verbundstimulusdiskriminationen von den Verstärkerkontingenzen in den Elementstimulusdiskriminationen zunehmend unabhängiger wird. Damit wäre es prinzipiell möglich, daß die Leistung am Anfang der Verbundstimulusdiskriminationen im Verlauf der Sequenz eher noch schlechter wird, da ein positiver Einfluß durch Generalisation von den Verbundstimuli ähnlichen Elementstimuli auf die Leistung abnehmen sollte.

Auf der Grundlage eines merkmalsbasierten Erklärungsansatzes dagegen wäre davon auszugehen, daß zunehmende Erfahrung mit dem Stimulusmaterial und damit verbunden eine bessere Repräsentation der Merkmale zu einer zunehmenden Generalisation zwischen Element- und Verbundstimuli mit gleichen Werten auf einer der beiden Dimensionen führen sollte. D.h. die Tiere sollten zunehmend von einer Übereinstimmung der Stimuli in einzelnen Merkmalen profitieren. Die Vorhersage beider Erklärungsansätze für die Entwicklung der Leistungseinbrüche am Anfang eines Wechsels der Diskrimination mit *half-reversal* sind damit



Die Verlängerung der Sequenz hat den weiteren Vorteil, daß das mit dem Experiment 1 verbundene *overtraining* (siehe Kapitel 3.4.4.2 „Der *overtraining-reversal*-Effekt“) nun für beide Dimensionen im Wechsel stattfindet: ab V1 erfolgt abwechselnd ein zweifaches *overtraining* jeder Dimension beginnend mit der FARBE (LOR, LOR), worauf sich wieder ein zweifaches *overtraining* der LINIENORIENTIERUNG anschließt (FR, FR). War der starke Leistungseinbruch in V2 in Experiment 1 die Folge eines *overtraining*, so sollte in Experiment 3 der Leistungsabfall ab E3 nicht mehr weiter zunehmen.

Darüber hinaus wurde in diesem Experiment eine weitere perzeptive Variable berücksichtigt, die die Ähnlichkeit zwischen Element- und Verbundstimuli modifizieren könnte. Möglicherweise ist das Ausmaß der Fläche, die mit Farbe bedeckt ist, ausschlaggebend für die große Ähnlichkeit zwischen Farbstimuli und separablen Verbundstimuli (mit gleichem Farbwert) sowie die entsprechend geringe Ähnlichkeit zu den integralen Verbundstimuli. Um zu überprüfen, ob eine Verringerung der mit Farbe bedeckten Fläche in separablen Verbundstimuli zu einer Abnahme der Ähnlichkeit mit den Farbstimuli und eine Vergrößerung der Fläche entsprechend zu einer Zunahme der Ähnlichkeit der integralen Verbundstimuli mit den Farbstimuli führt, wurde parallel zu den bisherigen Verbundstimuli eine zweite Version verwendet, deren Linie doppelt so dick war. Dies führte bei separablen Verbundstimuli zu einer dickeren schwarzen Linie mit entsprechend weniger Fläche für den farbigen Hintergrund und bei integralen Verbundstimuli zu einer dickeren farbigen Linie.

Als Modifikation zu Experiment 1 wurden in diesem Experiment nicht sukzessive sondern simultane Diskriminationen durchgeführt, d.h., die zu diskriminierenden Stimuluspaare wurden nicht als einzelne Stimuli nacheinander auf der mittleren Pickscheibe präsentiert, sondern gemeinsam als Stimuluspaar auf den beiden äußeren Pickscheiben. Dies diente der Veränderung der abhängigen Variable. Der gemessene Rohwert in einer Präsentation war nicht mehr die Häufigkeit des Pickens auf die Scheibe. Statt dessen wurde nun die Wahl der Henne zwischen der rechten und der linken Pickscheibe registriert. Die Werte entsprechen damit nicht mehr einer

Verhältnisskala, so daß für jede Einzelpräsentation ein Intensitätsmaß mit natürlichem Nullpunkt vorliegt, sondern sind binär, d.h., sie entsprechen einer Nominalskala. Für jede Einzelpräsentation kann nur noch eine Aussage über eine richtige oder falsche Wahl gemacht werden. Die Folge ist für Experiment 3 ein weniger empfindliches Maß. Für eine Replikation der Ergebnisse aus Experiment 1 ist damit ein robuster Effekt auf die Diskriminationsleistung notwendig. Eine solche Replikation wäre dann eine Unterstützung dieser Ergebnisse über die konkrete experimentelle Situation in Experiment 1 hinaus.

## **5.2 Material und Methode**

### **5.2.1 Tiere**

Verwendet wurden drei Hennen der Rasse Chabo (Ch1, Ch3 und Ch9). Sie wurden alle in simultanen Diskriminationen eingesetzt, die als Vorstudie zu dem hier beschriebenen Experiment dienten. Haltung und Versorgung der Tiere entsprach der Beschreibung im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“.

### **5.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial**

Die Apparatur entsprach der im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ beschriebenen. Verwendet wurden in diesem Experiment aber die beiden äußeren Pickscheiben. Die mittlere Pickscheibe war verdunkelt.

Das Stimulusmaterial entsprach einerseits demjenigen in Experiment 1. Andererseits wurde aber eine zweite Version von Verbundstimuli verwendet, deren Linie bei Präsentation ungefähr doppelt so dick war wie die der herkömmlichen Verbundstimuli, d.h. ca. 8 mm. Herstellung und Material entsprachen sonst dem der anderen Verbundstimuli (siehe Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“).

### **5.2.3 Prozedur**

Die Hennen hatten aus Pilotstudien bereits Erfahrung in der simultanen Diskrimination und mußten für dieses Experiment nicht mehr eingewöhnt und antrainiert (*shaping*) werden. Jede Präsentation (engl. *trial*) bot ein

Stimuluspaar auf den beiden äußeren Pickscheiben dar. Die rechts-links-Position des verstärkten Stimulus variierte dabei pseudorandomisiert nach Gellerman (1933). Die erste Präsentation begann mit einer Pause von 60 sec, auf die die erste Stimuluspräsentation folgte. In den ersten 2 sec der Stimuluspräsentation hatte das Picken der Hennen auf die beiden Pickscheiben keine Konsequenzen. Dieses Intervall verhinderte, daß ein über die vorausgehende Pause hinaus fortgesetztes Picken direkt als Wahl der Henne registriert wurde. Auf dieses Intervall folgte, sobald die Henne eine der beiden Pickscheiben pickte, eine Futtergabe von 3 sec oder eine Pause der gleichen Länge. Dies war abhängig davon, ob der gepickte Stimulus verstärkt wurde oder nicht. Mit dem Ablauf der 3 sec endete die Stimulusdiskrimination und eine Pause von 5 sec begann, auf die die nächste Präsentation folgte. Insgesamt wurden 40 Präsentationen pro Tag an 7 Tagen in der Woche durchgeführt.

Die Abfolge der einzelnen Diskriminationen zeigt die Abbildung 5.1. Zunächst wurden die Hennen in einer Elementstimulusdiskrimination (E1) trainiert. Zwanzig Präsentationen präsentierten das Farbstimuluspaar, die anderen 20 das Paar Linienorientierungsstimuli. Die Reihenfolge der beiden Stimuluspaare war pseudorandomisiert in Anlehnung an Gellerman (1933). Trainiert wurde in E1 und allen weiteren Diskriminationen bis 90 % der Wahlen mit jedem Paar innerhalb einer Sitzung korrekt waren.

Auf E1 folgte die erste Verbundstimulusdiskrimination (V1). In ihr wurden insgesamt vier Stimuluspaare präsentiert, zwei separable und zwei integrale Verbundstimuluspaare, jeweils ein Paar mit dünner und eines mit dicker Linie. Jedes Paar wurde in zehn Präsentationen pro Sitzung gezeigt. Die Reihenfolge war pseudorandomisiert. Kein Stimuluspaar wurde innerhalb eines Blocks von vier Präsentationen mehr als einmal dargeboten, so daß maximal, durch die Aufeinanderfolge der Blöcke, ein Paar zweimal nacheinander dargeboten werden konnte. Im Vergleich zu E1 wurden die Werte der Dimension FARBE umgekehrt verstärkt (FR). Die Diskrimination wurde wieder durchgeführt bis für alle vier Paare 90 % korrekte Wahlen innerhalb einer Sitzung registriert wurden.

Mit einem *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (LOR) schloß sich dann die Elementstimulusdiskrimination 2 (E2) an, deren Verlauf E1

ansonsten gleich. Sie wurde gefolgt von der Verbundstimulusdiskrimination 2 (V2), die ebenfalls ein *reversal* der LINIENORIENTIERUNG beinhaltete. Mit dieser *half-reversal*-Prozedur wurden die Hennen in V2 mit den gleichen Verstärkerkontingenzen konfrontiert wie vorher in V1, während in E2 im Vergleich zu E1 beide Dimensionen in ihrer Verstärkung verändert wurden (*full-reversal*). Diese Abfolge von vier Diskriminationen wurde nun weitere zweimal wiederholt, so daß eine Sequenz von zwölf Diskriminationen entstand. In ihr wechselte eine Elementstimulusdiskrimination (E1-E6) mit einer Verbundstimulusdiskrimination (V1-V6), so daß, betrachtet man die Stimuli als Ganzes (exemplarbasiert), die Verstärkerkontingenzen in den Elementstimulusdiskriminationen immer wieder vollständig umgekehrt wurden, während sie in den Verbundstimulusdiskriminationen gleich blieben. Für aufeinanderfolgende Diskriminationen ergab sich immer ein *half-reversal* einer der beiden Dimensionen (merkmalsbasiert).

#### **5.2.4 Statistik**

Wenn nicht anders angegeben wurde die Inferenzstatistik mit zweiseitigen Binomialtests durchgeführt. Dafür wurden die Fehler aller Hennen in zwei Kategorien eingeteilt: Farbe und Linienorientierung oder separabel und integral. Die Nullhypothese war stets, daß sich die Fehler gleichermaßen auf beide Kategorien verteilen:  $\pi = (1-\pi) = 0,5$ . Wenn  $15 < N < 60$  mit N als Gesamtzahl der Fehler, dann wurde ein asymptotischer Test mit Normalverteilungsapproximation und Kontinuitätskorrektur durchgeführt. Wenn  $N > 60$  wurde keine Kontinuitätskorrektur durchgeführt. Für  $N < 15$  wurde der exakte Binomialtest verwendet (Bortz et al., 2000).

### **5.3 Resultate**

Die Tabelle 5.1 zeigt die Fehler bis zum Erreichen des Lernkriteriums in den Verbundstimulusdiskriminationen für jede einzelne Henne. Ihr ist zu entnehmen, daß es keinen prinzipiellen Unterschied in der Diskriminationsleistung zwischen Verbundstimuli mit dünner und dicker Linie gab. Für den Fall eines *reversals* der FARBE (FR) war die Leistung für separabele Verbundstimuli mit dicker Linie nicht weniger beeinträchtigt als es für

diejenigen mit dünner Linie der Fall war. Auch für integrale Verbundstimuli mit dicker Linie war der Effekt in FR nicht größer als für die gleichen Stimuli mit dünner Linie. Die numerische Differenz, die der Signifikanzgrenze bei zweiseitigem Test am nächsten kam, war diejenige im ersten *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (LOR;  $u = 1,94$ ,  $N = 17$ ,  $P = 0,0524$ ). Aufgrund dieses Ergebnisses werden im Folgenden die Daten für Verbundstimuli mit dünnen und dicken Linien separat für separabele und integrale Verbundstimuli zusammengefaßt.

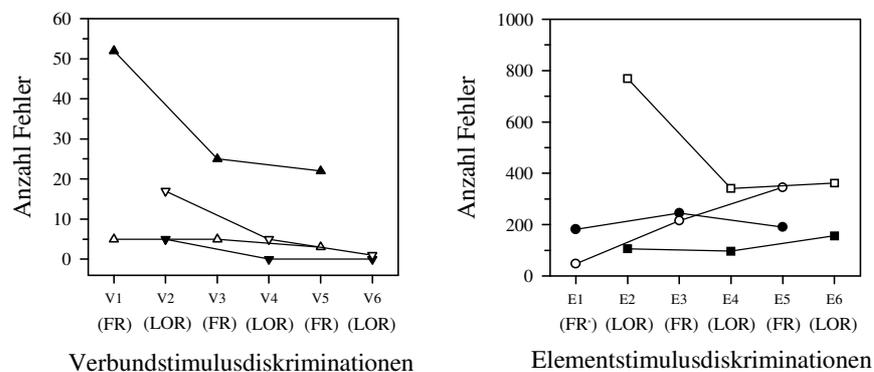
**Tabelle 5.1.** Anzahl der Fehler bis zum Erreichen des Kriteriums in den Verbundstimulusdiskriminationen abhängig von der Art des Verbundstimulus und der *half-reversal*-Bedingung.

Henne	Verbundstimulus	V1	V2	V3	V4	V5	V6
		(FR)	(LOR)	(FR)	(LOR)	(FR)	(LOR)
1	integral	1/1	6/1	2/1	0/2	0/0	0/0
	separabel	1/0	1/0	2/5	0/0	2/3	0/0
3	integral	0/0	1/1	0/0	1/1	1/0	0/0
	separabel	12/18	2/2	8/5	0/0	7/5	0/0
9	integral	2/1	6/2	1/1	1/0	1/1	0/1
	separabel	10/11	0/0	3/2	0/0	2/3	0/0

Zahlen vor dem Schrägstrich beziehen sich auf Verbundstimuli mit schmalen Linien, Zahlen nach dem Schrägstrich auf diejenigen mit dicken Linien.

Der Einfluß der *half-reversal*-Bedingung auf die Diskriminationsleistung der beiden Arten von Verbundstimuli bestätigt das Ergebnis aus dem Experiment 1 (Abb. 5.2 links). In FR traten mehr Fehler bei der Diskrimination separabeler Verbundstimuli auf als bei der Diskrimination integraler Verbundstimuli. Dieses Verhältnis kehrte sich in LOR um. Es wurden dann mehr Fehler bei der Diskrimination integraler Verbundstimuli gefunden. Die inferenzstatistische Auswertung dieser numerischen Unterschiede wurde mit einseitigen Tests durchgeführt, denn auf der Grundlage der Ergebnisse von Experiment 1 lagen gerichtete Hypothesen für die Unterschiede in der Diskrimination zwischen separablen und

integralen Verbundstimuli unter Berücksichtigung der *half-reversal*-Bedingung vor. Auf diese Weise sind in FR alle Unterschiede in der Diskriminationsleistung zwischen separablen und integralen Verbundstimuli signifikant (V1:  $u = 6,04$ ,  $N = 57$ ,  $P < 0,001$ ; V3:  $u = 3,47$ ,  $N = 30$ ,  $P < 0,001$ ; V5:  $u = 4$ ,  $N = 25$ ,  $P < 0,001$ ). In LOR konnte nur in den ersten beiden Fällen ein Test gerechnet werden. Die Fehlerzahlen des dritten und letzten LOR in V6 waren zu gering. Die Tests ergaben eine signifikant schlechtere Diskriminationsleistung für integrale Verbundstimuli im Vergleich zu den separablen (V2:  $u = 2,77$ ,  $N = 22$ ,  $P = 0,003$ ; V4:  $x = 0$ ,  $N = 5$ ,  $P = 0,031$ ).



**Abbildung 5.2.** Ergebnisse von Experiment 3. **links** Anzahl der Fehler bis zum Erreichen des Lernkriteriums in den Verbundstimulusdiskriminationen (FR /  $\Delta$  Farb-reversal bei Transfer zur Verbundstimulusdiskrimination, LOR /  $\nabla$  Linienorientierungs-reversal bei Transfer zur Verbundstimulusdiskrimination, *schwarz* separabele, *weiß* integrale Verbundstimuli). **rechts** Anzahl der Fehler bis zum Erreichen des Lernkriteriums in den Elementstimulusdiskriminationen (FR / O Farb-reversal bei Transfer zur Elementstimulusdiskrimination, LOR /  $\square$  Linienorientierungs-reversal bei Transfer zur Elementstimulusdiskrimination, *schwarz* Farb-, *weiß* Linienorientierungsstimuli, FR\* im Verhältnis zur Pilotstudie).

Darüber hinaus ließ sich mit  $\chi^2$ -Approximation des Polinomialtests (Bortz et al., 2000) zeigen, daß die Fehler in der Diskrimination separabeler Verbundstimuli in FR (aufrechte schwarze Dreiecke in Abb. 5.2 links) und integraler Verbundstimuli in LOR (umgekehrte weiße Dreiecke) im Verlauf der Trainingssequenz abnehmen. Die Fehler mit separablen

Verbundstimuli verteilten sich ungleich auf die drei FR-Bedingungen ( $\chi^2 = 16,545$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0,001$ ). Gleiches galt für die Fehler mit integralen Verbundstimuli in den LOR-Bedingungen ( $\chi^2 = 18,087$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0,001$ ). Abbildung 5.2 (links) zeigt, daß die Fehlerzahl in drei von vier Kombinationen von Stimulus und *half-reversal*-Bedingung gegen Null gehen (siehe auch Tab. 5.1).

Die Abbildung 5.2 (rechts) zeigt die Zahl der Fehler, die im Rahmen der Elementstimulusdiskriminationen aufgetreten waren. Zu erwarten waren wiederum mehr Fehler bei der Diskrimination der Farbstimuli in FR und umgekehrt eine schlechtere Diskriminationsleistung für Linienorientierungsstimuli in LOR. Berücksichtigt man, daß in E1 im Vergleich zur Pilotstudie zwei Monate vor diesem Experiment ein *reversal* der FARBE vorlag, so trifft die Vorhersage für E1 und E3 zu, was die FR-Bedingung anbetrifft. In E5 wurden dann aber mehr Fehler bei der Diskrimination der Linienorientierungsstimuli gemacht. Für LOR trifft die Vorhersage dagegen in allen drei Fällen zu. Bei der inferenzstatistischen Auswertung wurde E1 als die erste Diskrimination der Sequenz nicht berücksichtigt, auch wenn im Vergleich zu der Pilotstudie ein *reversal* der FARBE vorgelegen haben mag. Für FR wurden daher nur E3 und E5 getestet. Für E3 ergab sich im einseitigen Test kein signifikanter Unterschied in der Diskrimination der beiden Elementstimuli (E3:  $u = 1,4$ ,  $N = 460$ ,  $P = 0,0808$ ). Da in E5 für Linienorientierungsstimuli mehr Fehler vorlagen, was der gerichteten Hypothese nach Experiment 1 widerspricht, wurde in diesem Fall mittels eines zweiseitigen Tests überprüft, ob es sich um einen signifikanten Unterschied handelte. Dies war der Fall (E5:  $u = 6,7$ ,  $N = 535$ ,  $P < 0,001$ ). Für LOR dagegen waren alle Tests gemäß der Hypothese signifikant (E2:  $u = 22,41$ ,  $N = 875$ ,  $P < 0,001$ , E4:  $u = 11,72$ ,  $N = 437$ ,  $P < 0,001$ , E6:  $u = 9,05$ ,  $N = 518$ ,  $P < 0,001$ ). In der Abbildung 5.2 (rechts) scheinen sich die Fehlerzahlen in den vier Kombinationen von Stimulus und *half-reversal* zwei unterschiedlichen Ebenen anzunähern. Dabei ist die *half-reversal*-Bedingung von untergeordneter Bedeutung. Bei der Diskrimination der Linienorientierungsstimuli wurden ab E4 durchweg mehr Fehler gemacht (ca. 375) als bei der Diskrimination der Farbstimuli (ca. 175 Fehler).

Für die Diskrimination der Farbstimuli in FR in E3 und E5 lag eine Reduktion der Fehler vor. Die Signifikanz wurde mit einem Binomialtest überprüft ( $u = 2,64$ ,  $N = 435$ ,  $P < 0,0082$ ). Gleiches galt auch für die Linienorientierungsstimuli in LOR in E2, E4 und E6. Für sie wurde wieder die  $\chi^2$ -Approximation des Polinomialtests verwendet ( $\chi^2 = 237,28$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0,001$ ).

Besonders auffällig an dem Ergebnis der Elementstimulusdiskriminationen im Vergleich zu den Verbundstimulusdiskriminationen war die deutlich höhere Zahl der Fehler (Abb. 5.2). Vergleicht man mit zweiseitigen Binomialtests die Fehlerzahl jeder Elementstimulusdiskrimination mit der Fehlerzahl der ihr folgenden Verbundstimulusdiskrimination ergeben sich in allen Fällen hoch signifikante Unterschiede (alle  $u \geq 10,13$ , alle  $P < 0,001$ ).

Die gefundenen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: 1) Eine Interaktion zwischen der Art des Verbundstimulus und der *half-reversal*-Bedingung. Diese Interaktion ließ sich für die Art der Elementstimuli und die *half-reversal*-Bedingung nicht inferenzstatistisch sichern, war aber in den deskriptiven Daten zu erkennen. 2) In den entsprechenden Kombinationen von Stimulus und *half-reversal*, die erwartungsgemäß zu einer hohen Fehlerzahl führen sollten, nahm die Zahl der Fehler im Verlauf der Trainingssequenz ab. 3) Es wurde eine deutlich höhere Fehlerzahl in den Elementstimulusdiskriminationen gefunden als in den Verbundstimulusdiskriminationen.

## 5.4 Diskussion

Trotz einer deutlichen Veränderung des Versuchsaufbaus in Experiment 3 bestätigten sich die Befunde aus Experiment 1. Die Interaktion zwischen der Art des Verbundstimulus und der *half-reversal*-Bedingung wurde auch in dem vorliegenden Experiment gezeigt. Eine Veränderung der Größe der mit Farbe bedeckten Fläche durch eine doppelt so dicke Linie führte nicht zu der Beeinflussung der Ergebnisse in die erwartete Richtung. Die Ähnlichkeit zwischen Verbund- und Elementstimuli, die für die Interaktion verantwortlich gemacht werden kann, ist damit nicht besonders abhängig von der Größe der Farbfläche (vgl. Zentall, im Druck).

Weiterhin konnte gezeigt werden, daß eine zunehmend bessere Diskriminationsleistung, hier in Form einer abnehmenden Fehlerzahl, charakteristisch für die Diskrimination ist, in der, betrachtet man den Stimulus als Ganzes (Abb. 5.1, exemplarbasiert), kein *reversal* der Verstärkerkontingenzen auftritt (kein rev. in Abb. 5.1). In derjenigen Diskrimination, in der der gesamte Stimulus aber eine Umkehr der Verstärkung erfährt (*full-reversal*), bleibt die Diskriminationsleistung dagegen deutlich schlechter. Diese schlechtere Diskriminationsleistung in den Elementstimulusdiskriminationen mit *full-reversal* schien sich darüber hinaus auf eine Ebene einzupendeln, die von der *half-reversal*-Bedingung unabhängig war. Mit anderen Worten der Einfluß der Generalisation und damit der Ähnlichkeit zwischen Element- und Verbundstimuli ging zurück. Damit war die Diskrimination der Elementstimuli, in der dauerhaft eine relativ konstante Zahl von Fehlern auftrat, und diejenige der Verbundstimuli, in der die Zahl der Fehler überwiegend gegen Null ging, zunehmend unabhängig voneinander. Dies entspricht der Vorhersage nach dem exemplarbasierten Erklärungsansatz, demzufolge eine Zunahme der Repräsentation der Stimuli mit einer Abnahme des Einflusses der Ähnlichkeit zwischen den Stimuli auf das Verhalten gekoppelt ist. Dieser Effekt scheint derart stark zu sein, daß es in Bedingungen, in denen eine Generalisation von Vorteil für die Diskriminationsleistung gewesen wäre (und über eine Koppelung mit der Futtergabe auch für das Huhn), nämlich bei der Diskrimination von integralen Verbundstimuli bei einem *reversal* der FARBE (weiße Kreise in Abb. 5.2 rechts) und der Diskrimination von separablen Verbundstimuli im *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (schwarze Quadrate), sogar zu einer Verschlechterung der Diskriminationsleistung mit zunehmender Erfahrung kam. Der Einfluß der Generalisation nahm damit nicht zu, wie es auf der Grundlage einer zunehmenden Repräsentation der Merkmale gemäß merkmalsbasierter Erklärungsansätze hätte der Fall sein sollen.

Aufgrund der Tatsache, daß das *overtraining* für die zu vergleichenden Stimulusarten (Farbe vs Linienorientierung oder separabel vs integral) kontrolliert wurde, indem es für jedes *half-reversal* gleich hoch war, lassen sich die Ergebnisse des vorliegenden Experimentes nicht mehr anhand des

*overtraining-reversal*-Effekts alternativ interpretieren, wie es noch in Experiment 1 möglich war (vgl. Kapitel 3.4.4.2 „Der *overtraining-reversal*-Effekt“).

Nach wie vor aber sind merkmalsbasierte Alternativinterpretationen nicht auszuschließen. Mit dem Konzept verbundstimulusspezifischer Merkmale läßt sich zwar nicht direkt der *full-reversal*-Effekt erklären, d.h. der Leistungseinbruch bei denjenigen Stimuli, deren Verstärkerkontingenzen eine vollständige Umkehr erfahren haben, weil es sich in diesem Fall um die Elementstimuli handelte. Aber es ist möglich mit diesem Konzept quasi indirekt diesen Leistungseinbruch zu erklären. Denkbar wäre, daß die Hennen auf die Diskrepanz in der Verstärkung der aufeinanderfolgenden Diskriminationen (*half-reversal*) reagieren, indem sie in den Verbundstimulusdiskriminationen die verbundstimulusspezifischen Merkmale besonders hoch gewichten oder ihre Aufmerksamkeit auf sie lenken. Dies würde dann dazu führen, daß diejenigen Merkmale, die Verbund- und Elementstimuli gemeinsam haben, einen geringeren Einfluß auf das Verhalten hätten. Die Diskriminationsleistung sollte dann in den Verbundstimulusdiskriminationen zunehmend unabhängiger von dem *half-reversal* der vorhergehenden Elementstimulusdiskrimination werden. Die Leistung würde zunehmend besser, wie es auch gezeigt wurde. Entsprechend würde aber auch die veränderte Verstärkerkontingenz der gemeinsamen Merkmale im Rahmen der Verbundstimulusdiskriminationen nicht umgelernt. Das hieße, die Generalisation von Verbundstimulus- auf Elementstimulusdiskriminationen würde reduziert und letztere würden demnach zunehmend zu einem *reversal* aller Merkmale (*full-reversal*). Eine Interpretation auf der Grundlage verbundstimulusspezifischer Merkmale käme damit zu den gleichen Vorhersagen wie der exemplarbasierte Erklärungsansatz. Allerdings ist hierbei neben den verbundstimulusspezifischen Merkmalen die zusätzliche Variable der selektiven Aufmerksamkeit von Bedeutung, die zu einer Veränderung der Gewichtung der Merkmale führt. Das verkompliziert diesen Erklärungsansatz. Ein zweiter Aspekt, der diesen Erklärungsansatz fragwürdig macht, hängt mit der Funktion der Modifikation des Diskriminationsverhalten durch selektive Aufmerksamkeit ab. Selektive Aufmerksamkeit ist ein Konzept, das

unmittelbar mit der Adaptivität eines informationsverarbeitenden Systems verbunden ist (Shettleworth, 1998). Sie ermöglicht dem System Überlastung zu vermeiden und die Güte der Verarbeitung zu kontrollieren, indem es kognitive Ressourcen unterschiedlichen Aufgaben oder Stimuli zuordnet und dabei gleichzeitig unnötige oder sogar störende Einflüsse reduziert. Demnach wäre es von Vorteil die Verarbeitungsintensität der verbundstimulusspezifischen Merkmale zu erhöhen und die Verarbeitungsintensität der Merkmale, die Verbund- und Elementstimuli gemeinsam haben und einem half-reversal unterliegen, zu reduzieren. Dies würde die Leistung in den Verbundstimulusdiskriminationen erhöhen. Die Reduktion der Verarbeitungsintensität der Merkmale, die Element- und Verbundstimuli gemeinsam haben, würde dann aber zu einer konstant hohen Fehlerzahl in den Elementstimulusdiskriminationen führen, da sie dort nicht mehr von der Generalisation aus der Verbundstimulusdiskrimination profitieren könnten. Der Vorteil selektiver Aufmerksamkeit erscheint damit mindestens fraglich.

Vergleichbares gilt für den merkmalsbasierten Ansatz, der einen Stimulus ungeachtet seiner physikalischen Eigenschaften als Liste (engl. *set*) von Merkmalen auffaßt (McLaren & Mackintosh, 2000; 2002). Es bleibt grundsätzlich offen, warum die Hennen die Merkmale so gewichten, wie man es annehmen müßte, um die vorliegenden Ergebnisse zu erklären.

Bei dem hier favorisierten exemplarbasierten Erklärungsansatz dagegen steht von vornherein fest, daß die entscheidende Verarbeitungseinheit der Stimulus als Ganzes ist. Dies wirkt sich folglich um so mehr auf das Verhalten aus, je vertrauter er den Tieren ist. Für eine Interpretation des Verhaltens der Hennen ist es nicht notwendig von einer spezifischen Anpassung der Informationsverarbeitung an die Aufgabenstellung auszugehen, wie es bei den merkmalsbasierten Alternativen der Fall ist. Das Schema der holistischen Verarbeitung in der hier vorgeschlagenen Form ist einfach. Verbunden mit dieser Einfachheit ist eine gewisse Unflexibilität, mit der Nachteile verbunden sind, die sich durch Reduktionen der Diskriminationsleistung entsprechend bemerkbar machen.

Mit der simultanen Diskrimination in dem vorliegenden Experiment wurde ebenfalls gezeigt, daß eine Dokumentation der oben beschriebenen Effekte nicht eines besonders empfindlichen Maßes bedarf. Es ist nicht

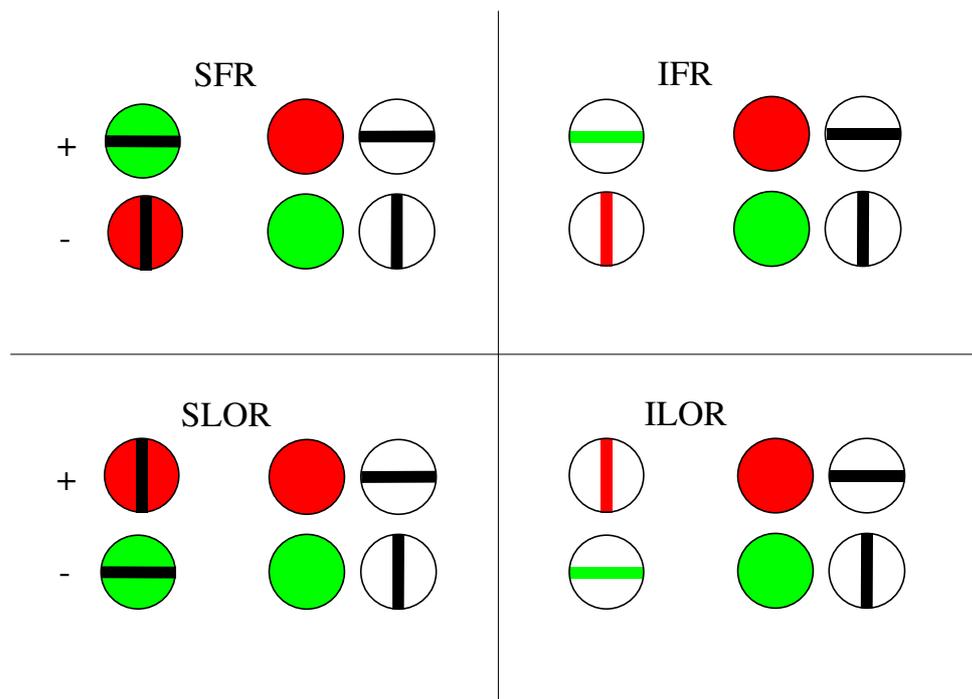
notwendig eine intervallskalierte Größe zu erheben und aus mehreren Messungen Mittelwerte zu generieren, um die Effekte dieser *half-reversal*-Prozedur sichtbar zu machen. Die Summe der Fehler aus mehreren Sitzungen einer simultanen Diskrimination ist dafür ebenso geeignet. Allerdings braucht es für die Aneignung (engl. *acquisition*) einer simultanen Diskrimination deutlich mehr Zeit als für die einer sukzessiven (bei der Verwendung der hier angegebenen Kriterien), so daß davon auszugehen ist, daß sie durch Veränderungen in den Verstärkerkontingenzen und durch Erfahrungen mit ähnlichen Stimuli entsprechend leicht zu stören ist. Es ist daher wahrscheinlich, daß die Verwendung eines größeren Maßes mit der Verwendung einer anfälligeren Aufgabe einhergegangen ist.

## 6 Experiment 4

### 6.1 Einleitung

In der Humanpsychologie ist es mehrfach bestätigt, daß sich verschiedene Stimuli anhand der mit ihnen verbundenen analytischen oder holistischen Verarbeitung in separabele oder integrale Stimuli unterscheiden lassen (Garner, 1974; Kemler Nelson, 1993; Lockhead, 1966). In den bisher durchgeführten Experimenten war die Erwartung, daß eine analytische Verarbeitung der separablen Verbundstimuli zu einer besseren Diskriminationsleistung nach einem *half-reversal* führen sollte, die unabhängig ist von der Dimension, die von dem *half-reversal* betroffen ist. Dies war nicht der Fall.

Das vorliegende Experiment soll genauer mögliche Unterschiede zwischen den beiden Arten von Verbundstimuli untersuchen. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, daß der Einfluß jedes Verbundstimulustyps auf das Diskriminationsverhalten der Hennen unabhängig voneinander gemessen werden kann. Bisher wurden die Hennen immer mit beiden Arten von Verbundstimuli gleichzeitig, d.h. innerhalb einer Sitzung, trainiert. Das vorliegende Experiment sieht in Anlehnung an die Arbeit von Leith und Maki (1977) vor, den Einfluß eines *half-reversals* im Rahmen einer Verbundstimulusdiskrimination auf die Diskrimination der Elementstimuli, in der die Verstärkerkontingenzen unverändert bleiben, zu überprüfen. In der Verbundstimulusdiskrimination werden entweder nur separabele oder nur integrale Verbundstimuli präsentiert und es findet dabei entweder ein *reversal* der FARBE oder ein *reversal* der LINIENORIENTIERUNG statt (Abb. 6.1).



**Abbildung 6.1.** Die vier möglichen Trainingsbedingungen in Experiment 4, deren Reihenfolge über die verschiedenen Hennen variiert (pseudorandomisiert) wurde. Links ist das Verbundstimuluspaar abgebildet, das zunächst diskriminiert wurden, rechts davon die Elementstimuli, die anschließend diskriminiert wurden. Die obere Reihe von Stimuli wurde verstärkt (+), die untere Reihe nicht (-). (*S* separabel, *I* integral, *FR* Farb-reversal, *LOR* Linienorientierungs-reversal)

Sollte es auf der Grundlage der analytischen Verarbeitung separabler Verbundstimuli den Hennen möglich sein, Merkmale aus den Verbundstimuli zu extrahieren, und deren Verstärkerkontingenzen separat zu lernen, so würde man in der folgenden Elementstimulusdiskrimination einen Abfall der Diskrimination desjenigen Elementstimulus erwarten, dessen Dimension vorher in der Verbundstimulusdiskrimination von dem *half-reversal* betroffen war. Berücksichtigt man zusätzlich die Möglichkeit einer Modifikation des Diskriminationsverhaltens durch Aufmerksamkeitsprozesse, so wäre auch jegliches Ausbleiben eines Leistungsabfalls möglich. Dies hängt damit zusammen, daß Hennen prinzipiell die Möglichkeit haben sollten, ihre Aufmerksamkeit auf die Merkmale zu richten, deren Verstärkerkontingenz unverändert geblieben ist. Entsprechend wenig würden sie dann über die veränderte Verstärkerkontingenz der anderen Merkmale lernen. Die Folge wäre das Ausbleiben eines Leistungsabfalls, weil keine Diskrepanz bestünde zwischen

den in der Verbundstimulusdiskrimination gelernten Verstärkerkontingenzen und denjenigen der Elementstimulusdiskrimination.

Die holistische Verarbeitung integraler Verbundstimuli sollte dazu führen, daß in Folge des *half-reversals* in der Verbundstimulusdiskrimination ein Leistungsabfall bei denjenigen Elementstimuli zu finden ist, die den integralen Verbundstimuli ähnlich sind, und deren Dimension gleichzeitig von dem *half-reversal* betroffen gewesen sein muß. Da v.a. die Linienorientierungsstimuli den integralen Stimuli gleichen Wertes ähnlich sind, sollte nur ein *reversal* der LINIENORIENTIERUNG zu einem Leistungsabfall bei der Diskrimination der Linienorientierungsstimuli führen. Bei einem *reversal* der FARBE sollte kein Effekt auftreten.

## **6.2 Material und Methode**

### **6.2.1 Tiere**

Verwendet wurden acht Hennen, davon gehörten sechs der Rasse Chabo an und zwei der Rasse Zwerg-Cochin. Alle Tiere wurden vorher in Experiment 1 eingesetzt, hatten darüber hinaus aber keine experimentelle Erfahrung. Zwischen dem Experiment 1 und dem hier vorgestellten Experiment lag mindestens eine Woche ohne Training. Haltung und Versorgung der Tiere war wie im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ beschrieben.

### **6.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial**

Die Apparatur war identisch mit der im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ beschriebenen.

Das Stimulusmaterial war dasselbe, das auch schon in Experiment 1 verwendet wurde (Abb. 6.1; siehe auch Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“).

### **6.2.3 Prozedur**

Die Hennen wurden wie schon im Experiment 1 in einer sukzessiven Diskrimination trainiert. Die mittlere Pickscheibe wurde verwendet. Die Struktur einer Präsentation war unverändert (siehe auch Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“). Eine Sitzung bestand aus 80 Präsentationen. Jeder Stimulus wurde gleich häufig präsentiert: in den Elementstimulusdiskriminationen 20 mal

und in den Verbundstimulusdiskriminationen 40 mal. Die Hälfte aller Präsentationen wurde verstärkt.

Das Experiment begann mit einer Elementstimulusdiskrimination, in der beide Stimuluspaare verwendet wurde. Die Verstärkung eines der beiden Elemente beider Dimensionen war über die Zahl der Hennen balanciert (z.B. *rot* und *horizontal*, s. Abb. 6.1). Bei Erreichen des Lernkriteriums (Mann-Whitney U-Test mit  $\alpha \leq 0,0001$ ) wurde in der folgenden Sitzung mit einer Verbundstimulusdiskrimination begonnen. Sie präsentierte den Hennen nur ein Stimuluspaar, das entweder separabel oder integral war. Außerdem wurde im Vergleich zur vorausgehenden Elementstimulusdiskrimination ein *half-reversal* einer der beiden Dimensionen durchgeführt. Die vier Möglichkeiten waren separabel und *reversal* der FARBE (SFR), separabel und *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (SLOR), integral und *reversal* der FARBE (IFR) sowie integral und *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (ILOR). Die Reihenfolge dieser vier Bedingungen war ebenfalls über die Hennen balanciert. Wurde auch in der Verbundstimulusdiskrimination das Lernkriterium erreicht, so folgte wieder eine Elementstimulusdiskrimination mit den gleichen Verstärkerkontingenzen wie vorher. Bei Erreichen des Lernkriteriums folgte wieder eine Verbundstimulusdiskrimination usw. bis alle vier Verbundstimulusbedingungen präsentiert wurden. Die Sequenz endete mit der Elementstimulusdiskrimination, die der letzten Verbundstimulusbedingung folgte (Abb. 6.1).

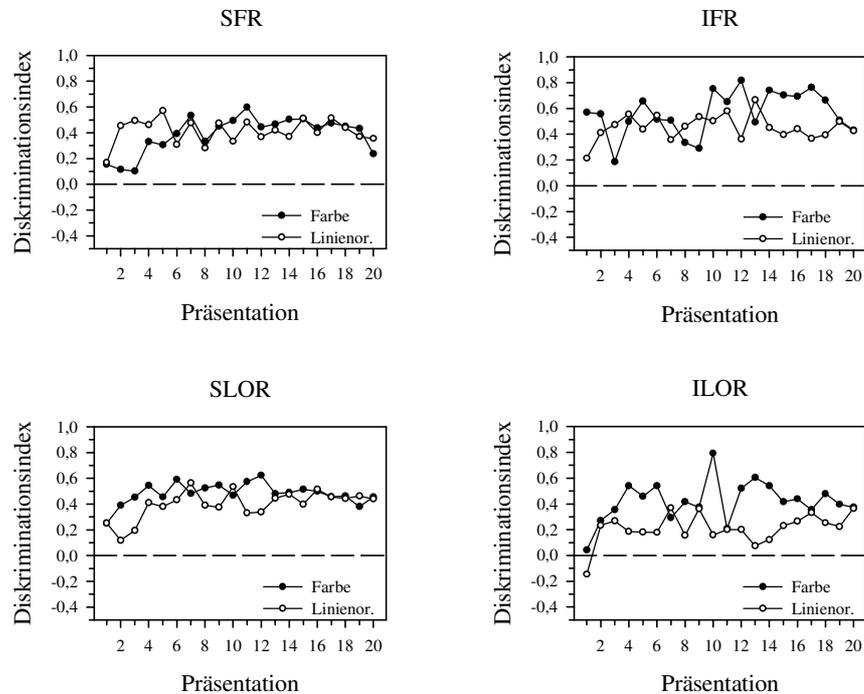
### **6.2.4 Statistik**

Aus den Rohwerten wurden wie im Experiment 1 Diskriminationsindices errechnet (s. Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“). Die inferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Vorzeichenrangtest (Wilcoxon-Test) mit Normalverteilungsapproximation.

## **6.3 Resultate**

Relevant für die Fragestellung war der Einfluß der Verbundstimulusdiskrimination auf die folgende unveränderte Elementstimulusdiskrimination. Die Datenauswertung wird sich deshalb nur mit der Diskriminationsleistung für Farb- und Linienorientierungsstimuli in der ersten Sitzung der vier auf eine

Verbundstimulusdiskrimination folgenden Elementstimulusdiskriminationen befasen.



**Abbildung 6.2.** Ergebnisse von Experiment 4 ( $N = 8$ ). Gezeigt ist die Diskriminationsleistung in der ersten Sitzungen der auf eine Verbundstimulusdiskrimination folgenden Elementstimulusdiskriminationen (*S* separabel, *I* integral, *FR* Farb-reversal, *LOR* Linienorientierungs-reversal).

Abbildung 6.2 zeigt den Verlauf der Diskriminationsleistung in diesen vier Sitzungen. Die beiden linken Grafiken zeigen die Leistung nach einer Verbundstimulusdiskrimination mit separablen Verbundstimuli. Man erkennt deutlich, daß in den ersten fünf Präsentationen nach einem *reversal* der FARBE (SFR) Farbstimuli schlechter diskriminiert werden als Linienorientierungsstimuli. Nach einem *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (SLOR) ist die Situation genau umgekehrt. In den ersten sechs Präsentationen werden die Linienorientierungsstimuli schlechter diskriminiert.

Für die auf eine Verbundstimulusdiskrimination mit integralen Stimuli folgenden Elementstimulusdiskriminationen (rechte Grafiken) war das Bild nicht so eindeutig. Für das *reversal* der FARBE (IFR) ließ sich für die ersten Präsentationen der Sitzung nicht sagen, daß eines der beiden Elementstimuluspaare

durchgängig besser diskriminiert worden wäre als das andere. Es hat zwar den Anschein, daß die Diskriminationsleistung für die Farbstimuli in der ersten Hälfte der Sitzung geringer war als in der zweiten, dieser Unterschied tritt aber nicht so deutlich hervor wie der Leistungsabfall am Anfang der Sitzung in SFR. Für das *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (ILOR) war das Bild wieder eindeutig. Wiederum in den ersten sechs Sitzungen war die Diskriminationsleistung für Linienorientierungsstimuli geringer als für Farbstimuli, ähnlich wie es in der Bedingung SLOR der Fall war.

Für die inferenzstatistische Auswertung wurde die Leistung in den ersten sechs Sitzungen verglichen. Signifikante Unterschiede ergaben sich für SFR ( $z = 2,658$ ,  $n = 48$ ,  $P = 0,008$ ), SLOR ( $z = -2,472$ ,  $n = 48$ ,  $P = 0,013$ ) und ILOR ( $z = -3,828$ ,  $n = 48$ ,  $P < 0,001$ ). Für IFR war der statistische Kennwert weit entfernt von der Signifikanzgrenze ( $z = -0,028$ ,  $n = 48$ ,  $P = 0,977$ ). Darüber hinaus ergab ein Mann-Whitney U-Test keinen signifikanten Unterschied in der Diskriminationsleistung für die Farbstimuli in der ersten Hälfte der Sitzung gegenüber der zweiten Hälfte von IFR ( $U = 3063,5$ ,  $n = 80$ ,  $P = 0,64$ ). Dieser Test für unabhängige Stichproben wurde verwendet, weil eine Berücksichtigung der Abhängigkeit, gegeben durch die Meßwiederholung, anhand einer Differenzbildung in diesem Fall nicht sinnvoll war.

## 6.4 Diskussion

Die Ergebnisse des vorliegenden Experimentes bestätigen die eingangs formulierten Erwartungen. Auf der Grundlage der Unterscheidung separabler und integraler Verbundstimuli und der nach humanpsychologischen Untersuchungen mit ihnen verbundenen analytischen oder holistischen Qualität der Verarbeitung sollten für beide Arten von Verbundstimuli unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten sein. Nach erfolgreicher Zerlegung separabler Verbundstimuli in ihre Merkmale konnten die neuen Verstärkerkontingenzen gelernt werden und mußten in der folgenden Elementstimulusdiskrimination dem entsprechend zu einem Leistungsabfall für das Elementstimuluspaar führen, dessen Dimension vorher von dem *half-reversal* betroffen war. Dies traf für die ersten sechs Präsentationen der Stimuli zu.

Die Tatsache, daß es zu einem Leistungsabfall gekommen ist, macht deutlich, daß Prozesse der Aufmerksamkeit nicht selektiv das Umlernen der Verstärker-

kontingenzen der von dem *half-reversal* betroffenen Dimension im Rahmen der Verbundstimulusdiskrimination verhindert haben. Auf der Grundlage dieses Experimentes ließe sich daher sagen, daß, auch wenn man einer merkmalsbasierten Erklärung der Ergebnisse folgt, Aufmerksamkeitsprozesse keine bedeutende Rolle bei der Diskrimination des verwendeten Stimulusmaterials spielen.

Die deutliche Bestätigung eines merkmalsbasierten Erklärungsansatzes in diesem Experiment steht im Gegensatz zu den Schlußfolgerungen aus den bisherigen Experimenten. Auf der Grundlage der Erkenntnisse aus Experiment 1 wäre eigentlich eine holistische Verarbeitung des Stimulusmaterials zu erwarten gewesen, die sich ähnlich hätte auswirken sollen, wie es bei den integralen Verbundstimuli der Fall gewesen ist. Ein *half-reversal* hätte auf die Diskrimination der Elementstimuli nur dann Auswirkungen haben sollen, wenn diejenige Dimension davon betroffen gewesen wäre, die derjenigen der ähnlichen Elementstimuli entsprochen hätte. Damit hätte es nur bei einem *reversal* der FARBE zu einem Leistungsabfall in der Diskrimination der Farbstimuli kommen dürfen. Bei einem *reversal* der LINIENORIENTIERUNG dagegen hätte sich keine Modifikation der Diskrimination der Elementstimuli ergeben sollen.

Diese Vorhersage auf der Grundlage der Annahme einer holistischen Verarbeitung entspricht aber genau dem, was für die Kombination integrale Verbundstimuli und *reversal* der LINIENORIENTIERUNG (ILOR) gefunden wurde. Nur in diesem Fall sollte es zu einem Leistungsabfall in der Diskrimination der ähnlichen Linienorientierungsstimuli kommen. Bei einem *reversal* der FARBE (IFR) dagegen sollte sich kein Einfluß auf die Elementstimulusdiskrimination zeigen lassen. Dies konnte auch bestätigt werden.

Um die Ergebnisse dieses Experimentes mit denjenigen aus den bisherigen Experimenten in Einklang zu bringen, ließen sich zwei mögliche Zusatzannahmen machen: 1) mit zunehmender Erfahrung verändern sich die subjektiven Ähnlichkeitsrelationen, die Verarbeitung ist nach wie vor holistisch und 2) mit zunehmender Erfahrung gelingt eine analytische Verarbeitung des separablen Stimulusmaterials.

Die erste Zusatzannahme wird insoweit unterstützt, als Experiment 3 gezeigt hat, daß die Ähnlichkeit zwischen Verbund- und Elementstimuli für die Diskriminationsleistung an Bedeutung verliert. Ein Modifikation der

wahrgenommenen Ähnlichkeit in Abhängigkeit von der Erfahrung ist prinzipiell ein bekanntes Phänomen (z.B. engl. *adaptation level*; Coren et al., 1999; Helson, 1964). Wenig attraktiv an dieser Interpretation ist dagegen, daß angenommen werden müßte, daß Veränderungen für separabele und integrale Verbundstimuli eine unterschiedliche Richtung nehmen oder aber die Ähnlichkeiten wurden aufgrund der Diskrimination separabeler und integraler Verbundstimuli innerhalb derselben Sitzung nicht korrekt interpretiert. Um weitere Spekulationen zu vermeiden, wurde im Anschluß an dieses Experiment ein weiteres Experiment durchgeführt, daß die Ähnlichkeit in einer anhaltenden Lernsituation mit allen Stimuli gleichzeitig untersuchte (s. Experiment 5).

Eine analytische Verarbeitung separabler Verbundstimuli mit zunehmender Erfahrung ist mit dem hier vorgeschlagenen exemplarbasierten Erklärungsansatz nicht prinzipiell unvereinbar. So schlägt Lockhead (1966) ein Verarbeitungsmodell mit zwei Ebenen vor, bei dem abhängig von der Art des Verbundstimulus, separabel oder integral, die erste Ebene analytisch oder holistisch sein kann. Die zweite Verarbeitungsebene wäre dann entsprechend durch die jeweils andere Art der Verarbeitung gegeben. Die Frage nach einem Entweder-Oder, so wie sie bisher formuliert wurde, wäre eine Frage nach der Reihenfolge oder Priorität von zwei möglichen Verarbeitungswegen.

## 7 Experiment 5

### 7.1 Einleitung

Das vorhergehende Experiment 4 hat nahegelegt, daß mit zunehmender Erfahrung der Tiere mit dem Stimulusmaterial die Annahme einer analytischen Verarbeitung separabler Verbundstimuli durch die Daten gestützt wird. Alternativ ist es dennoch möglich, daß alle Stimuli holistisch verarbeitet wurden, nur müßte dann angenommen werden, daß sich die Ähnlichkeit zwischen separablen Verbundstimuli und Linienorientierungsstimuli zu einer im Verhältnis größeren Ähnlichkeit hin verändert haben. Diese Alternativinterpretation widerspricht aber dem Trend eines zunehmenden Bedeutungsverlustes der Ähnlichkeit für die Diskriminationsleistung, wie es auf der Grundlage von Experiment 3 angenommen wurde.

Um eine Entscheidung zwischen diesen beiden Standpunkten zu erleichtern, sollte das vorliegende Experiment die Ähnlichkeit zwischen den Stimuli für erfahrene Hennen in einer anderen Lernsituation untersuchen. Diese Lernsituation erforderte ein beständiges erneutes Lernen der Verstärkerkontingenzen, indem nach jeder Sitzung die Verstärkerkontingenzen für die folgende Sitzung umgekehrt wurden (*serial reversal*). Dabei ist davon auszugehen, daß die Diskriminationsleistung zwischen identischen Stimuluspaaren gleich ist, während sie sich zwischen unähnlichen Stimuluspaaren unterscheiden kann. Aus einer vergleichbaren Leistung läßt sich nicht auf eine große Ähnlichkeit schließen, denn unähnliche Stimuli könnten zufälligerweise gleiche Anforderungen an die Informationsverarbeitung stellen. Stimuli, die zu unterschiedlicher Diskriminationsleistung führen, können aber einander nicht sehr ähnlich sein. Gelten auch bei erfahrenen Hennen diejenigen Ähnlichkeiten, die in Experiment 1 für naive Tiere gefunden wurden, so wäre eine unterschiedliche Diskriminationsleistung für Farb- und integrale Verbundstimuli sowie für Linienorientierungs- und separable Verbundstimuli zu erwarten. Haben sich dagegen für erfahrene Hennen die Ähnlichkeiten so verändert, wie es eine exemplarbasierte Interpretation der Ergebnisse von Experiment 4 annehmen müßte, so wäre nur noch eine unterschiedliche Leistung zwischen Farb- und integralen Verbundstimuli zu erwarten.

## **7.2 Material und Methode**

### **7.2.1 Tiere**

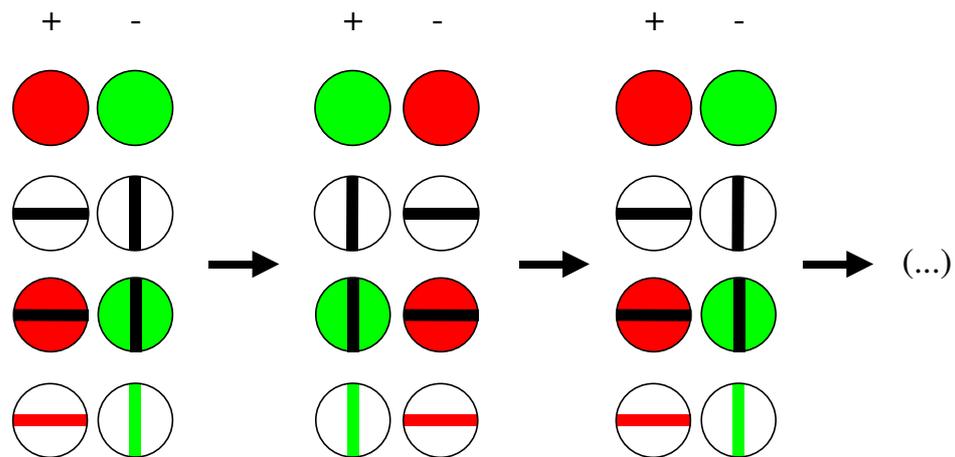
Verwendet wurden acht Hennen, vier von ihnen gehörten der Rasse Chabo an und vier der Rasse Zwerg-Cochin. Die Chabo-Hennen wurden vorher in den Experimenten 1, 4 und 7 eingesetzt. Drei der vier Zwerg-Cochin hatten vorher an Experiment 1, die letzte Zwerg-Cochin-Henne an Experiment 8 teilgenommen. Alle eingesetzten Hennen hatten somit bereits Erfahrung mit dem verwendeten Stimulusmaterial. Haltung und Versorgung der Tiere entsprach der Beschreibung im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“.

### **7.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial**

Apparatur und Stimulusmaterial wurden im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ hinreichend beschrieben.

### **7.2.3 Prozedur**

Die Struktur einer Sitzung und einer Präsentation entsprach derjenigen früherer Experimente (Experiment 1, 2 und 4, s. Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“). Innerhalb der 80 Präsentationen pro Sitzung wurde jeder Stimulus der vier Stimuluspaare (Farb-, Linienorientierungs-, separabele und integrale Verbundstimuli) zehnmal dargeboten. Es wurden insgesamt 20 Sitzungen durchgeführt, wobei in jeder Sitzung die Verstärkerkontingenzen umgekehrt wurden (*serial reversal*; Abb. 7.1). Die Verstärkungssituation in der ersten Sitzung wurde über die acht Hennen balanciert.



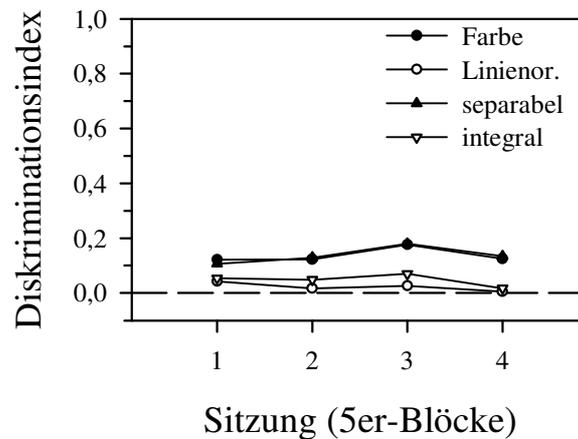
**Abbildung 7.1.** Versuchsaufbau und verwendetes Stimulusmaterial in Experiment 5. + und - kennzeichnen die Verstärkerkontingenzen. In dem abgebildeten Beispiel werden in der ersten Sitzung die Elemente *rot* und *horizontal* verstärkt, in der zweiten Sitzung *grün* und *vertikal*, in der dritten Sitzung wieder *rot* und *horizontal* usw. bis 20 Sitzungen durchgeführt wurden.

### 7.2.4 Statistik

Für den Vergleich der Diskriminationsleistung mit allen Stimuluspaaren wurde der Friedman-Test verwendet, der sowohl für den Vergleich von mehr als zwei Gruppen geeignet ist, als auch die Abhängigkeit der Daten berücksichtigt. Einzelvergleiche wurden anschließend mit dem Vorzeichenrangtest (Wilcoxon-Test) durchgeführt. Für die sechs Einzelvergleiche wurde eine  $\alpha$ -Adjustierung durchgeführt. Die Signifikanzgrenze lag danach bei  $\alpha = 0,0083$ .

## 7.3 Resultate

Abbildung 7.2 zeigt die Ergebnisse der *serial-reversal*-Sequenz von 20 Sitzungen, die zu vier Blöcken à fünf Sitzungen zusammengefaßt wurden. Die Diskriminationsleistung mit allen Stimuluspaaren ist erwartungsgemäß gering in der *serial-reversal*-Situation, in der nach jeder Sitzung eine Veränderung der Verstärkerkontingenz durchgeführt wird. Über den gesamten Verlauf zeigt sich eine deutliche Assoziation der Diskriminationsleistung für Farb- und separabele Verbundstimuli einerseits und andererseits für Linienorientierungs- und integrale Verbundstimuli.



**Abbildung 7.2.** Ergebnisse von Experiment 5. Die 20 Sitzungen wurden zu 4 Blöcken à 5 Sitzungen zusammengefaßt. Die gestrichelte Linie markiert das Zufallsniveau.

Zum Vergleich der Diskriminationsleistung mit den verschiedenen Stimuluspaaren wurde ein Friedman-Test über alle Blöcke hinweg gerechnet. Als Daten für den Test wurde der mittlere Diskriminationsindex jeder Henne für jedes Stimuluspaar und jeden Block verwendet ( $N = 8 \times 4 \times 4 = 128$ ). Zwischen den Diskriminationsleistungen mit den verschiedenen Stimuluspaaren wurde ein signifikanter Unterschied gefunden ( $\chi^2_r = 33,77$ ,  $n = 32$ ,  $P < 0,001$ ). Die Ergebnisse der Einzelvergleiche sind in Tabelle 7.1 zusammengefaßt. Die gefundenen signifikanten Unterschiede teilen die vier Stimuluspaare in zwei Gruppen: Farb- und separabele Verbundstimuli sowie Linienorientierungs- und integrale Verbundstimuli. Innerhalb der beiden Gruppen unterscheidet sich die Diskriminationsleistung nicht. Die Diskriminationsleistung mit jedem Stimuluspaar einer Gruppe unterscheidet sich aber von der mit jedem Stimuluspaar der anderen Gruppe.

**Tabelle 7.1.** *P*-Werte der Einzelvergleiche. Signifikante Ergebnisse (nach  $\alpha$ -Adjustierung) sind fett gedruckt.

	Farbe	Linienor.	separabel	integral
Farbe	1	-	-	-
Linienor.	<b>&lt; 0,001</b>	1	-	-
separabel	0,781	<b>&lt; 0,001</b>	1	-
integral	<b>&lt; 0,001</b>	0,028	<b>&lt; 0,001</b>	1

## 7.4 Diskussion

Das vorliegende Experiment bestätigt für erfahrene Hennen die Ähnlichkeiten, die vorher in Experiment 1 für naive Hennen gefunden worden waren. Nach wie vor bestehen Unterschiede zwischen Farb- und integralen Verbundstimuli sowie in gleichem Maße zwischen Linienorientierungs- und separablen Verbundstimuli. Die Nähe der Graphen für Farb- und separabele Verbundstimuli einerseits und Linienorientierungs- und integralen Verbundstimuli andererseits legt deren große Ähnlichkeit nahe.

Die etwas bessere Diskriminationsleistung für integrale Verbundstimuli im Vergleich zu den Linienorientierungsstimuli könnte aber auf eine größere Ähnlichkeit zu den Farbstimuli hindeuten, als es zwischen separablen Verbundstimuli und Linienorientierungsstimuli der Fall ist. Dieser geringfügige Unterschied reicht aber nicht aus, um die Annahme einer gleich großen Ähnlichkeit zwischen Farb- und separablen Verbundstimuli sowie Linienorientierungs- und separablen Verbundstimuli zu unterstützen, wie es aufgrund einer rein exemplarbasierten Interpretation der Ergebnisse von Experiment 4 der Fall sein sollte.

Die Annahme der holistischen Verarbeitung sowohl separabler als auch integraler Verbundstimuli ist damit in Frage zu stellen. Auf der Grundlage der empirischen Befunde ist die Annahme einer analytischen Verarbeitung separabler Verbundstimuli bei zunehmender Erfahrung mit dem Stimulusmaterial eher naheliegend.

## 8 Experiment 6

### 8.1 Einleitung

Die Experimente 4 und 5 haben gezeigt, daß mit zunehmender Erfahrung eine analytische Verarbeitung separabler Verbundstimuli anzunehmen ist. Dies wurde durch einen Leistungseinbruch in der Elementstimulusdiskrimination für denjenigen Stimulus deutlich, dessen Dimension vorher in der Verbundstimulusdiskrimination umgekehrt verstärkt wurde. Dieser Effekt hat gleichzeitig gezeigt, daß im Vergleich zur Diskriminationsleistung nach einer Diskrimination mit integralen Verbundstimuli, keine bessere Leistung nach einer Diskrimination mit separablen Verbundstimuli auftritt. Demnach wurden keine Hinweise auf Aufmerksamkeitsprozesse gefunden, die den Einsatz kognitiver Ressourcen für die Merkmale eines Stimulus modulieren.

Neben diesen Prozessen selektiver Aufmerksamkeit werden auch andere Phänomene unter dem Begriff der Aufmerksamkeit zusammengefaßt (Medin et al., 2001). Ebenso wie die selektive Aufmerksamkeit stimuluspezifisch ist, gilt dies auch für die Voraktivierung bestimmter repräsentierter Stimuli durch die Präsentation eines identischen oder ähnlichen Stimulus. Dieser sogenannte *priming*-Effekt kann ebenfalls zu einer bevorzugten Verarbeitung einzelner Stimuli gegenüber anderen führen und dadurch ebenso wie die selektive Aufmerksamkeit zu einer Verbesserung der Leistung beitragen (Shettleworth, 1998).

Im Gegensatz zur selektiven Aufmerksamkeit, die auf bestimmte Merkmale fokussiert und andere ausblendet, ist die Voraktivierung oder das *priming* keineswegs unvereinbar mit einem exemplarbasierten Erklärungsansatz. So kann man annehmen, daß aufgrund der Präsentation eines Stimulus dessen Repräsentation, d.h. dessen Exemplar, und die Exemplare ähnlicher Stimuli aktiviert werden. Durch diese Aktivierung sollte sich eine schnellere oder in ihrer Güte verbesserte Reaktion bei wiederholter Präsentation des gleichen oder bei Präsentation eines ähnlichen Stimulus ergeben.

Das vorliegende Experiment sollte überprüfen, ob Aufmerksamkeitsprozesse im Sinne des *priming*-Effektes auch bei Hühnern gezeigt werden können. Ist dies der Fall, so sollte bei Präsentation ähnlicher Stimuli nacheinander eine

Verbesserung der Leistung gegenüber einer pseudorandomisierten Reihenfolge der Stimuli v.a. aber gegenüber der Aufeinanderfolge unähnlicher Stimuli gefunden werden.

## **8.2 Material und Methode**

### **8.2.1 Tiere**

Verwendet wurden acht Hennen unterschiedlicher Rasse: fünf Chabo, drei Zwerg-Cochin. Die Tiere wurden alle schon in vorhergehenden Experimenten eingesetzt, mindestens aber in Experiment 1. Sie waren alle erfahren in der Diskrimination des verwendeten Stimulusmaterials. Da während des Experimentes bei zwei Zwerg-Cochin Fehler aufgetreten waren, mußten ihre Daten von der Auswertung ausgeschlossen werden. Sie wurden durch diejenigen von zwei Leghorn (Lohmann selected Leghorn) ersetzt, die zusätzlich in das Experiment aufgenommen wurden. Dies erfolgte aus pragmatischen Gründen, denn diese Wirtschaftsgeflügel-Hybriden sind leicht zu beschaffen. Die beiden Leghorn-Hennen hatten bisher keine Erfahrung mit dem verwendeten Stimulusmaterial, wurden aber bereits in einer Farbkategorisierung eingesetzt.

Haltung und Versorgung der Tiere war wie im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ beschrieben.

### **8.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial**

Apparatur und Stimulusmaterial entsprachen dem, was im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ dargestellt wurde. Es wurden alle vier Stimuluspaare verwendet: Farb- und Linienorientierungsstimuli sowie separabele und integrale Verbundstimuli.

### **8.2.3 Prozedur**

Die Struktur einer Präsentation und einer Sitzung entsprachen der Darstellung im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“.

Es gab drei Versuchsbedingungen, die sich durch die Reihenfolge der Stimuli innerhalb einer Sitzung unterschieden. In der Bedingung „normal“ war die Reihenfolge der verschiedenen Stimuli wie in den vorhergehenden Diskriminationen. Der gleiche Stimulus wurde maximal zweimal nacheinander

gezeigt. Nach der Präsentation eines Stimulus, die noch keine Wiederholung war, konnte daher prinzipiell jeder andere Stimulus folgen. In der Bedingung „positiv“ folgten immer diejenigen Stimuli aufeinander, die einander ähnlich waren. Auf Farbstimuli folgten demnach separabele Verbundstimuli und auf Linienorientierungsstimuli folgten integrale Verbundstimuli. Wurde ein Verbundstimulus präsentiert, so folgte auf ihn immer ein Elementstimulus. Die Folge war ein beständiger Wechsel zwischen Element- und Verbundstimuli. In der Bedingung „negativ“ war die Reihenfolge der Stimuluspräsentation ähnlich der in der Bedingung „positiv“, nur daß nun auf einen Elementstimulus immer ein unähnlicher Verbundstimulus folgte.

Jede Henne wurde in jeder Versuchsbedingung dreimal trainiert, d.h., es wurden neun Sitzungen für jede Henne durchgeführt. Die Versuchsbedingungen folgten in drei Blöcken von jeweils drei Sitzungen aufeinander. Die Reihenfolge der Bedingungen innerhalb der Blöcke war pseudorandomisiert, so daß maximal zweimal die gleiche Bedingung aufeinander folgen konnte.

Die Verstärkerkontingenzen für die einzelnen Hennen wurden so gewählt, daß sie mit denjenigen aus dem direkt vorhergehenden Experiment übereinstimmten. Die Hennen mußten demnach keine Diskrimination neu lernen, sondern diskriminierten von vornherein auf einem hohen Leistungsniveau. Dies galt nicht für die beiden Leghorn-Hennen, die an keinem der vorgehenden Experimente teilgenommen hatten.

#### **8.2.4 Statistik**

Die inferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Friedman-Test. Einzelvergleiche wurden mit dem Vorzeichenrangtest (Wilcoxon-Test) gerechnet. Grundlage der Tests waren die Mittelwerte der Diskriminationsindices aller Stimuluspaare jeder einzelnen Sitzung. Verglichen wurden damit immer drei Sitzungen für jede einzelne Henne. Bei acht Hennen entsprach dies  $n = 24$  für jede Bedingung.

### **8.3 Resultate**

Abbildung 8.1 zeigt die Diskriminationsleistung der Hennen in den drei Bedingungen mit unterschiedlicher Stimulusreihenfolge. Die verschiedenen Stimuluspaare wurden zusammengefaßt. Die Pickhäufigkeiten sind für alle

Bedingungen verhältnismäßig gleichwertig (Abb. 8.1 links). Allenfalls in der Bedingung „positiv“ werden die verstärkten Stimuli etwas häufiger gepickt und die nicht verstärkten etwas weniger. Die Diskriminationsindices unterscheiden sich entsprechend wenig (Abb. 8.1 rechts). In der Bedingung „positiv“ ist er am größten.

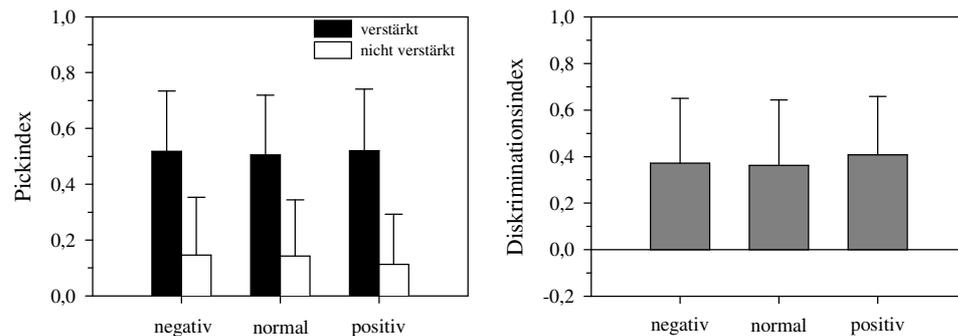


Abbildung 8.1. Ergebnisse von Experiment 6. **links** Mittlere Pickindices ( $\pm$  Stdabw.) für verstärkte und nicht verstärkte Stimuli separat für die drei Bedingungen mit unterschiedlicher Stimulusreihenfolge. Die Daten sind für alle Arten von Stimuli zusammengefaßt. **rechts** Mittlere Diskriminationsindices ( $\pm$  Stdabw.) für die drei verschiedenen Bedingungen, ebenfalls zusammengefaßt für alle Stimuli.

Der Vergleich der Diskriminationsindices der drei Bedingungen (Abb. 8.1 rechts) mit dem Friedman-Test ergab einen signifikanten Unterschied ( $\chi^2_r = 7,937$ ,  $n = 24$ ,  $P = 0,019$ ). Die Einzelvergleiche zeigten nur einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen „negativ“ und „positiv“ ( $z = 3,057$ ,  $n = 24$ ,  $P = 0,002$ ).

## 8.4 Diskussion

Die Ergebnisse des vorliegenden Experimentes zeigen eine bessere Diskriminationsleistung bei Aufeinanderfolge ähnlicher Stimuli als bei einer vergleichbaren Reihenfolge mit unähnlichen Stimuli. Die Leistung mit der bisher verwendeten pseudorandomisierten Stimulusfolge liegt auf der Grundlage rangbasierter Testverfahren dazwischen. Die Mittelwerte der Diskriminationsindices zeigen diese mittlere Position allerdings nicht (Abb. 8.1 rechts). Daß die Unterschiede in der Diskriminationsleistung durch die unterschiedliche Reihenfolge der Stimuli sehr gering ausfallen würden, war zu erwarten, denn die

Mehrzahl der Hennen (sechs von acht) hat im Rahmen dieses Experimentes eine bereits gelernte Diskrimination lediglich aufrecht erhalten.

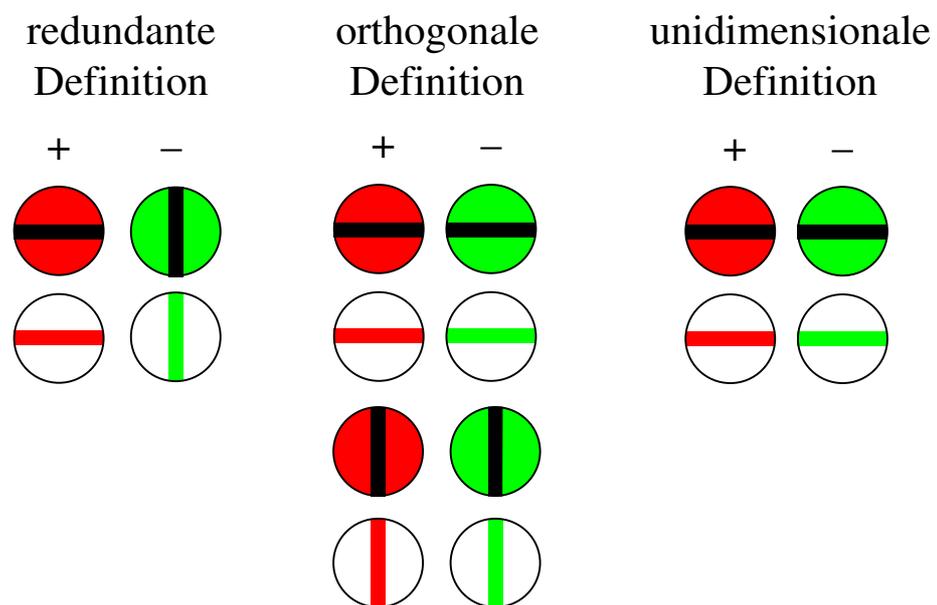
Dennoch wurden Unterschiede gefunden, die sich nur darauf zurückführen lassen, daß aufgrund der Präsentation eines Verbundstimulus nach einem ähnlichen Elementstimulus eine bessere Kontrolle des Pickverhaltens im Sinne einer Intensivierung bei Präsentation eines verstärkten, v.a. aber einer Reduktion bei Präsentation eines nicht verstärkten, Verbundstimulus auftritt. Damit wurden Prozesse der Aufmerksamkeit im Sinne der Voraktivierung oder des *priming*-Effektes bei Hühnern gezeigt, die bei einer exemplarbasierten Theorie des Diskriminationsverhaltens zu berücksichtigen wären.

## 9 Experiment 7

### 9.1 Einleitung

Trotz der überwiegenden Bestätigung des exemplarbasierten Erklärungsansatzes haben die Experimente 4 und 5 gezeigt, daß mit zunehmender Erfahrung eine analytische Verarbeitung separabler Verbundstimuli möglich ist. Dies könnte bedeuten, daß Hühner unter bestimmten Voraussetzungen ähnliche Unterschiede in der Verarbeitung separabler und integraler Verbundstimuli zeigen, wie sie für Menschen gezeigt wurden. So haben Klassifikationsexperimente gezeigt, daß abhängig von der Definition der Kategorien die Leistung entweder mit separablen oder integralen Stimuli besser ist (Garner, 1974; Garner & Felfoldy, 1970; Shepard, 1991). Unter Verwendung zweidimensionaler Verbundstimuli mit je zwei Werten pro Dimension lassen sich folgende drei Möglichkeiten unterscheiden: 1) die redundante Kategoriedefinition, bei der beide Dimensionen relevant für die Kategorisierung sind, z.B. *rot/horizontal* vs. *grün/vertikal* (Abb. 9.1 links); 2) die orthogonale Kategoriedefinition, bei der nur eine Dimension relevant für die Kategorisierung, während die andere Dimension variiert, z.B. *rot/horizontal* und *rot/vertikal* vs. *grün/horizontal* und *grün/vertikal* (Abb. 9.1 Mitte) sowie 3) die Variation entlang nur einer Dimension, die entsprechend relevant für die Definition der Kategorien ist, z.B. *rot/horizontal* vs. *grün/horizontal* mit der Dimension LINIENORIENTIERUNG konstant gehalten bei dem Wert horizontal (Abb. 9.1 rechts). Bei Menschen ist die Klassifikation nach einer redundanten Kategoriedefinition schneller mit integralen als mit separablen Verbundstimuli, während bei einer orthogonalen Definition die Klassifikationsleistung mit separablen Verbundstimuli schneller ist als mit integralen. Bei der Variation entlang nur einer Dimension wurde kein Unterschied zwischen separablen und integralen Stimuli gefunden (Garner, 1974; Palmer, 1999). Diese Leistungsunterschiede ergeben sich dadurch, daß bei einer redundanten Definition eine Zerlegung der Verbundstimuli in die Einzelmerkmale im Rahmen der analytischen Verarbeitung keinerlei Vorteil gegenüber einer holistischen Verarbeitung erbringt, sondern lediglich mit einem Zeitverlust verbunden ist. Dagegen berücksichtigt die holistische Verarbeitung direkt beide Dimensionen, was bei dieser Definition auch zielführend ist. Bei einer

orthogonalen Definition ist die Zerlegung eine Voraussetzung für die selektive Anpassung des Verhaltens an die Verstärkerkontingenzen der relevanten Dimension und einer Reduktion des Einflusses der ebenso häufig belohnten wie nicht belohnten irrelevanten Dimension. Eine primär holistische Verarbeitung ist durch die starke Verbindung der Werte beider Dimensionen weniger effektiv. Der Wert der irrelevanten Dimension bleibt eine verhaltensrelevante Größe. Variiert nur eine der beiden Dimensionen, so ergibt sich kein Vorteil aus irgendeiner der beiden Verarbeitungsstrategien.



**Abbildung 9.1.** Die im Experiment verwendeten drei Bedingungen mit den unterschiedlichen Kategoriedefinitionen. Erläuterung siehe Text.

Im vorliegenden Experiment wurden drei Gruppen von Hennen gleichzeitig in der Diskrimination von separablen und integralen Verbundstimuli trainiert, wobei die Verstärkerkontingenzen nach den drei beschriebenen Kategoriedefinitionen entsprechend unterschiedlich festgelegt wurden. Die Möglichkeit einer analytischen Verarbeitung separabler Verbundstimuli, wie sie durch die Experimente 4 und 5 nahegelegt worden ist, sollte abhängig von der verwendeten Kategoriedefinition entsprechend zu Unterschieden in der Diskriminationsleistung zwischen den beiden Arten von Verbundstimuli führen.

## **9.2 Material und Methode**

### **9.2.1 Tiere**

Im Rahmen dieses Experimentes wurden 24 erwachsene Hennen der Rassen Chabo (7), Zwerg-Cochin (10) und Bantam (7) verwendet. Alle Tiere hatten in vorhergehenden Experimenten bereits Erfahrungen (mindestens Experiment 1) mit dem Stimulusmaterial gemacht.

Haltung und Versorgung der Tiere entsprach den Ausführungen im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“.

### **9.2.2 Apparatur und Stimulusmaterial**

Die verwendete Apparatur und das Stimulusmaterial entsprachen den vorhergehenden Experimenten und wurden im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“ beschrieben.

### **9.2.3 Prozedur**

Das vorliegende Experiment gliederte sich in drei Experimentalgruppen, die sich in der Definition der Kategorien unterschieden: redundante und orthogonale Definition sowie eine Definition mit Variation entlang einer Dimension. Die 24 Hennen wurden auf diese drei Experimentalgruppen zu jeweils 8 Individuen aufgeteilt, so daß pro Gruppe 2-4 Tiere einer der oben genannten Rassen entstammten.

Innerhalb einer Sitzung wurden die Hennen trainiert, separabele und integrale Verbundstimuli zu diskriminieren, die gemeinsam einer verstärkten oder nicht verstärkten Kategorie zugeordnet wurden. Die Belohnung beider Arten von Verbundstimuli war abhängig davon, welche Farbe oder Linienorientierung sie aufwiesen, wobei die Verstärkung von *rot* oder *grün* und/oder *horizontal* oder *vertikal* über die verschiedenen Hennen balanciert war. Von Interesse war, welche Verbundstimuli in den einzelnen Experimentalgruppen schneller gelernt wurden. Das Training einer Henne endete, wenn sie innerhalb einer Sitzung das Lernkriterium (siehe und Kapitel 9.2.4 „Statistik“) für beide Arten von Verbundstimuli erfüllte.

Die Struktur einer Sitzung und einer Präsentation entsprach der Beschreibung im Kapitel 2 „Allgemeine Materialien und Methoden“. Besonderheiten werden im Folgenden beschrieben.

### 9.2.3.1 Redundante Kategoriedefinition

Die beiden Kategorien in dieser Experimentalgruppe wurden redundant, d.h. anhand beider Dimensionen definiert. Die Hennen wurden demnach z.B. bei der Präsentation der Werte *rot* und *horizontal* verstärkt und bei *grün* und *vertikal* nicht verstärkt. Es wurden jeder Henne 4 Stimuli präsentiert. Im oben angegebenen Beispiel: SRH+, IRH+, SGV- und IGV- (Abb. 9.1 links). Wurde bei einer Henne eine andere Kombination der Werte beider Dimensionen gewählt, änderten sich die verwendeten Stimuli entsprechend.

### 9.2.3.2 Orthogonale Kategoriedefinition

In der Experimentalgruppe mit orthogonaler Definition war nur eine der beiden Dimensionen, FARBE oder LINIENORIENTIERUNG, entscheidend für die Kategorisierung in eine verstärkte und eine nicht verstärkte Kategorie. Die andere Dimension variierte ebenfalls - es wurden beide Werte in den Verbundstimuli präsentiert - aber sie waren nicht entscheidend für die Verstärkung und damit irrelevant für die Kategorisierung. Die Hennen wurden daher mit insgesamt 8 verschiedenen Stimuli konfrontiert, 4 separablen und 4 integralen. War z.B. die FARBE entscheidend und wurde *rot* verstärkt und *grün* nicht verstärkt, so wurden der Henne folgende Stimuli präsentiert: SRH+, SRV+, IRH+, IRV+, SGH-, SGV-, IGH- und IGV- (Abb. 9.1 Mitte).

### 9.2.3.3 Unidimensionale Kategoriedefinition

Die Definition der Kategorien in dieser Experimentalgruppe entsprach der orthogonalen Definition insoweit, als daß nur eine Dimension die Kategorien definierte. Im Unterschied zur letzteren variierte die irrelevante Dimension nicht, sondern wurde bei einem Wert konstant gehalten. Wurden die Kategorien z.B. anhand der Dimension FARBE definiert und die Dimension LINIENORIENTIERUNG bei dem Wert *horizontal* konstant gehalten, so wurden den entsprechenden Hennen die folgenden 4 Verbundstimuli präsentiert: SRH+, IRH+, SGH- und IGH- (Abb. 9.1 rechts).

### 9.2.4 Statistik

Als Wert in der Inferenzstatistik diente die Anzahl der Sitzungen bis zum Erreichen des Lernkriteriums für die Kategorisierung separabler und integraler Verbundstimuli. Letzteres wurde als hoch signifikantes Ergebnis ( $\alpha \leq 0,001$ ) eines Mann-Whitney U-Tests festgelegt, der die Pickhäufigkeiten auf die belohnten mit denjenigen auf die unbelohnten Stimuli verglich. Dieser Test wurde separat für separabele und integrale Verbundstimuli durchgeführt.

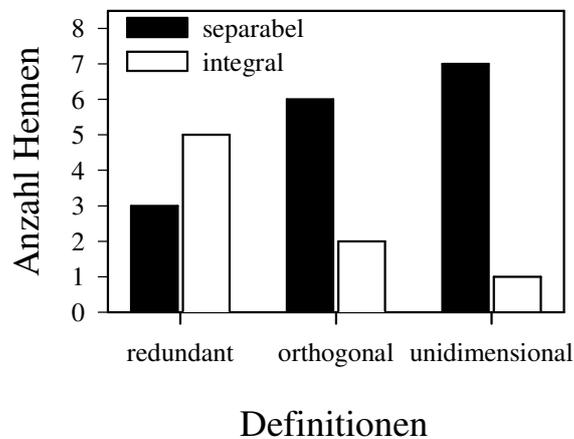
Für die Berechnung statistisch signifikanter Unterschiede zwischen separablen und integralen Stimuli wurde der einseitige exakte Binomialtest verwendet (Bortz et al., 2000). Getestet wurde gegen die Nullhypothese ( $H_0$ ), daß die Kategorisierungsleistung separabler und integraler Stimuli sich nicht unterscheidet ( $\mu = 1-\mu = 0,5$ ).

Für Fälle, in denen die Anzahl der Sitzungen für separabele und integrale Verbundstimuli gleich war, wurde anhand der Kennwerte des U-Tests für den Tag, an dem das Lernkriterium erreicht wurde, entschieden, welche der Verbundstimuli besser kategorisiert wurden.

Die Binomialtests wurden einseitig durchgeführt, weil auf der Grundlage der Literatur entnommener Experimente unter den verschiedenen Kategoriedefinitionen Unterschiede in der Kategorisierungsleistung zwischen separablen und integralen Verbundstimuli in einer bestimmten Richtung erwartet wurden (Garner, 1974; Palmer, 1999).

## 9.3 Resultate

Die Abbildung 9.2 zeigt die Ergebnisse für die drei Bedingungen mit unterschiedlicher Kategoriedefinition. Man erkennt deutliche Unterschiede in der Verteilung der Hennen mit besserer Diskriminationsleistung auf separabele und integrale Stimuli abhängig von der verwendeten Kategoriedefinition. Im Folgenden werden die Ergebnisse der deskriptiven und Inferenzstatistik separat für die drei Kategoriedefinitionen dargestellt.



**Abbildung 9.2.** Ergebnisse von Experiment 7. Gezeigt ist die Anzahl der Hennen, die unter den verschiedenen Kategoriedefinitionen das Lernkriterium schneller mit den separablen oder den integralen Verbundstimuli erreicht haben. Die Zahl der Hennen war  $n = 8$  in jeder Bedingung.

### 9.3.1 Redundante Kategoriedefinition

Tabelle 9.1 zeigt die Anzahl der Sitzungen jeder Henne bis zum Erreichen des Lernkriteriums separat für separabele und integrale Verbundstimuli. Bei einer redundanten Definition der Kategorien diskriminierten fünf Hennen die beiden integralen Verbundstimuli besser als die beiden separablen. Für drei Hennen verhielt es sich umgekehrt. Dieser Unterschied war allerdings weit ab von einer statistischen Signifikanz ( $x \geq 5$ ,  $n = 8$ ,  $p = 0,363$ ).

**Tabelle 9.1.** Ergebnis der Diskrimination mit redundanter Kategoriedefinition. Gezeigt ist die Anzahl der Sitzungen, die bis zum Erreichen des Lernkriteriums mit separablen und integralen Verbundstimuli durchzuführen waren. Die durch Fettdruck hervorgehobenen Zahlen markieren die bessere Leistung. Im Fall einer gleichen Anzahl von Sitzungen entschied die bessere Diskriminationsleistung innerhalb der Sitzung, in der das Kriterium erreicht wurde.  $\Sigma$  kennzeichnet die Häufigkeit, mit der die bessere Leistung in der entsprechenden Spalte gefunden wurde.  $p$  steht für die Irrtumswahrscheinlichkeit, die mit dem einseitigen Binomialtests errechnet wurde.

Henne	separabel	integral	
Ch1	4	<b>4</b>	
Ch10	2	<b>2</b>	
Co4	10	<b>6</b>	
Co7	2	<b>2</b>	
Co16	2	5	
Bt1	<b>3</b>	6	
Bt5	<b>3</b>	3	
Bt8	5	<b>5</b>	
	$\Sigma$	$\Sigma$	$P$
gesamt	3	5	0,363

### 9.3.2 Orthogonale Kategoriedefinition

Bei der orthogonalen Kategoriedefinition war das Verhältnis der Hennen die bessere Diskriminationsleistungen mit separablen oder integralen Verbundstimuli zeigten umgekehrt zu dem bei Verwendung einer redundanten Definition. Die Zahl der Hennen, die bessere Leistungen bei der Kategorisierung separabeler im Vergleich zu integralen Verbundstimuli zeigte, war mit 6 Individuen deutlich größer als die Zahl derjenigen, die bessere Leistungen mit integralen Verbundstimuli zeigten (2). Dieser Unterschied war allerdings ebenfalls nicht statistisch signifikant ( $x \geq 6$ ,  $n = 8$ ,  $p = 0,145$ ).

**Tabelle 9.2.** Ergebnis der Diskrimination mit orthogonaler Kategoriedefinition. Für Details siehe Tabelle 9.1.

Henne	separabel	integral	
Ch3	<b>2</b>	3	
Ch4	<b>2</b>	3	
Ch13	4	<b>3</b>	
Co6	<b>1</b>	2	
Co8	<b>1</b>	2	
Co17	<b>1</b>	8	
Bt4	3	<b>2</b>	
Bt7	<b>2</b>	2	
	$\Sigma$	$\Sigma$	<i>P</i>
gesamt	6	2	0,145

### 9.3.3 Unidimensionale Kategoriedefinition

Bei Definition der beiden Kategorien anhand einer Dimension (wie bei der orthogonalen Definition) und dem Konstanthalten der anderen Dimension ist das Ergebnis vergleichbar mit dem der orthogonalen Kategoriedefinition. Deutlich mehr Hennen (7) zeigen eine bessere Kategorisierungsleistung mit den separablen Verbundstimuli. Nur eine Henne kategorisiert das integrale Stimulusmaterial besser. Dieser Unterschied war signifikant ( $x \geq 7$ ,  $n = 8$ ,  $p = 0,035$ )

**Tabelle 9.3.** Ergebnis der Diskrimination mit unidimensionaler Kategoriedefinition. \* markiert ein signifikantes Testergebnis. Für weitere Details siehe Tabelle 9.1.

Henne	separabel	integral	
Ch7	<b>1</b>	2	
Ch9	<b>4</b>	5	
Co3	<b>3</b>	3	
Co5	<b>2</b>	3	
Co10	<b>1</b>	4	
Co18	17	<b>14</b>	
Bt3	<b>1</b>	2	
Bt6	<b>3</b>	5	
	$\Sigma$	$\Sigma$	<i>P</i>
gesamt	7	1	0,035*

## 9.4 Diskussion

Die Ergebnisse des vorliegenden Experimentes zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Diskriminationsleistung der Verbundstimuli von der verwendeten Kategoriedefinition (Abb. 9.2). Nur bei einer redundanten Kategoriedefinition war die Zahl der Hennen, die das Lernkriterium zuerst mit integralen Verbundstimuli erreichten größer als die Zahl derjenigen, die das Lernkriterium zuerst mit den separablen Stimuli erreichten. Bei einer orthogonalen und unidimensionalen Definition ist die Zahl der Hennen, die das Lernkriterium zuerst mit separablen Verbundstimuli erreichten, deutlich höher. Da für die unidimensionale Bedingung kein Unterschied zwischen den beiden Arten von Verbundstimuli erwartet wurde, kann sie als Referenz bzw. Kontrollgruppe angesehen werden. Die Tatsache, daß in dieser Bedingung signifikant mehr Hennen schneller das Kriterium mit separablen Verbundstimuli erreichten, weist auf einen Leistungsunterschied mit den verwendeten separablen und integralen Verbundstimuli hin, der auch durch die Pilotstudien bestätigt wurde. Aufgrund dieses deutlichen Unterschiedes bereits in der Kontrollgruppe

war wenig Raum für eine weitere Verbesserung der Leistung mit separablen Verbundstimuli. Demgegenüber aber ist der Trend in der Bedingung mit redundanter Kategoriedefinition um so höher zu bewerten, auch wenn nicht signifikant mehr Hennen eher das Kriterium mit integralen Verbundstimuli erreicht haben. Das Ergebnis unter redundanter Kategoriedefinition steht in deutlichem Gegensatz zu dem unter den anderen beiden Bedingungen.

Das vorliegende Experiment stellt damit neben Experiment 4 einen weiteren Hinweis auf eine unterschiedliche Verarbeitung separabler und integraler Verbundstimuli, so wie sie hier verwendet wurden, dar.

## 10 Allgemeine Diskussion

### 10.1 Zusammenfassende Diskussion der einzelnen Experimente

Alle im Folgenden kurz umrissenen Experimente untersuchten das Diskriminationsverhalten von Haushühnern bei Präsentation möglichst einfacher Verbundstimuli. Sie bestanden aus zwei Dimensionen mit jeweils nur zwei Werten. Die von ihnen berührten theoretischen Probleme wurden daher nicht anhand einer besonders extremen Stimulussituation untersucht, sondern an dem einfachsten Fall einer Kombination von zwei Elementen zu einem Gesamtstimulus. Um auch stimulusabhängige Aspekte des Verhaltens zu berücksichtigen, wie sie in der Humanpsychologie diskutiert werden (z.B. Kemler Nelson, 1993; Shepard, 1991), wurde die Kombination der Werte auf eine separabele und eine integrale Weise durchgeführt (vgl. Lamb, 1988; Lamb & Riley, 1981; Leith & Maki, 1977).

Experiment 1 ist das Kernstück der vorliegenden Arbeit. In ihm wurde eine *half-reversal*-Prozedur bei einer alternierenden Abfolge von zwei Element- und zwei Verbundstimulusdiskriminationen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, daß für das Diskriminationsverhalten der gesamte Stimulus bedeutsamer war als seine einzelnen Merkmale. Dies galt sowohl für separabele als auch für integrale Verbundstimuli. Die Diskriminationsleistung separabeler und integraler Verbundstimuli wurde dabei durch ihre unterschiedliche Ähnlichkeit zu den beiden Elementstimuli in entgegengesetzter Weise beeinflusst. Damit war die Hypothese für die folgenden Experimente, daß beide Arten von Verbundstimuli exemplarbasiert oder holistisch verarbeitet werden.

Darüber hinaus wurde das Experiment 1 mit vier Gruppen von Hennen durchgeführt, die jeweils einer anderen Haushuhnrasse angehörten, von denen die Holländer Haubenhühner neuroanatomisch auffällig waren (Frahm & Rehkämper, 1998; Rehkämper et al., 2003). Hinsichtlich des Diskriminationsverhaltens galt für jede einzelne Rasse, was auf der Grundlage der Gesamtstichprobe dargestellt wurde. Sie unterschieden sich nicht voneinander, weshalb die folgenden Experimente nicht mehr den Vergleich des Diskriminationsverhaltens der

unterschiedlichen Rassen zum Thema hatten und folglich nicht mehr zwischen den Rassen unterschieden wurde.

Allerdings mußten im *autoshaping* im Vergleich zu den anderen Rassen deutlich mehr Holländer Haubenhühner aussortiert werden, die die Kriterien nicht erfüllten. Das Ausbleiben des Erlernens der Pickreaktion ging einher mit einer reduzierten Futteraufnahme in der Versuchsanordnung. Es ist deshalb schwierig, diese Unterschiede auf unterschiedliche Lernleistungen zurückzuführen, denn eine gleichwertige Verstärkung der Tiere in der Apparatur ist möglicherweise nicht gegeben (Macphail 1982; 1985). Dies kann deshalb der Fall sein, weil die Lernleistung abhängig von der Quantität und Qualität des Verstärkers ist (z.B. Blöschl, 1969). Alle folgenden Experimente wurden deshalb nicht mehr mit Holländer Haubenhühnern durchgeführt.

Das zweite Experiment dieser Arbeit sollte den Einfluß perzeptiver Aspekte auf die Ergebnisse des ersten Experimentes untersuchen, indem Hintergrund- und Linienfarbe umgekehrt wurden. Das Ergebnis war dem in Experiment 1 vergleichbar, was bedeutet, daß ein veränderter Helligkeitskontrast die exemplarbasierte Erklärung nicht modifizierte. Allein die Ähnlichkeiten zwischen Element- und Verbundstimuli schienen eine weniger gegensätzliche Ausprägung zu haben.

Experiment 3 erweiterte die Sequenz der Diskriminationen des ersten Experimentes um weitere auf eine Zahl von zwölf einzelnen Diskriminationen. Außerdem wurden im Vergleich zu Experiment 1 die *full-reversal* nicht mit den Verbundstimuli, sondern mit den Elementstimuli durchgeführt, und es wurden zusätzlich Verbundstimuli mit einer doppelten Liniendicke eingesetzt. Letzteres stellte eine zweite perzeptive Modifikation des Stimulusmaterials dar, da der Anteil der Fläche, der mit Farbe ausgefüllt war, in separablen und integralen Verbundstimuli gegenläufig modifiziert wurde. Die Ergebnisse von Experiment 3 stützten den exemplarbasierten Erklärungsansatz mit seiner Annahme der Repräsentation des Stimulus als Ganzen ohne eine Zerlegung in seine Merkmale. Der Einfluß der Generalisation auf die Diskriminationsleistung ging deutlich zurück und die Leistung mit den Elementstimuli, die in der Sequenz das *full-reversal* erfuhren, blieb deutlich hinter derjenigen mit den Verbundstimuli zurück. Die perzeptive Modifikation hatte, wie schon vorher in Experiment 2, ebenfalls keinen wesentlichen Einfluß auf das Ergebnis.

Das vierte Experiment war das erste, dessen Befunde die Schlußfolgerungen auf der Grundlage der Ergebnisse von Experiment 1 und der folgenden beiden Experimenten nicht stützten. Erfahrene Hennen wurden wiederum in einer Sequenz von Element- und Verbundstimulusdiskriminationen trainiert, wobei letztere aber nur eine der beiden Verbundstimulusarten in Kombination mit einem *reversal* der FARBE oder LINIENORIENTIERUNG präsentierte. Die Ergebnisse zeigten erstmalig für separabele Verbundstimuli ein anderes Ergebnis als für integrale und legten eine merkmalsbasierte oder analytische Verarbeitung der ersteren im Gegensatz zu einer exemplarbasierten oder holistischen Verarbeitung letzterer nahe. Für einen Einfluß durch Prozesse selektiver Aufmerksamkeit wurde kein Hinweis gefunden.

Experiment 5 sollte prüfen, ob im vorhergehenden Experiment alternativ zu der Annahme einer analytischen Verarbeitung separabler Verbundstimuli eine Veränderung der Ähnlichkeiten zwischen Verbund- und Elementstimuli für die Ergebnisse verantwortlich war. Zu diesem Zweck wurden ebenfalls erfahrene Hennen durch ein *serial-reversal* der Verstärkung nach jeder Sitzung in einer kontinuierlichen Lernsituation gehalten, in der sowohl die Verbund- als auch die Elementstimuli innerhalb einer Sitzung präsentiert wurden. Gefunden wurden die gleichen Ähnlichkeiten zwischen den Stimuli, wie sie schon in Experiment 1 gezeigt wurden, was die Annahme einer analytischen Verarbeitung der separablen Verbundstimuli in Experiment 4 stützt.

Da ein Wirken von Aufmerksamkeitsprozessen im Sinne einer Kontrolle kognitiver Ressourcen bisher nicht gezeigt werden konnte, untersuchte Experiment 6, ob Aufmerksamkeit im Sinne einer Voraktivierung der Repräsentationen ähnlicher Stimuli (*priming*-Effekt) gefunden werden kann. Dafür wurden Verbund- und Elementstimuli in unterschiedlicher Reihenfolge präsentiert, wobei entweder nur unähnliche, nur ähnliche oder alle Stimuli aufeinander folgen konnten. Die Ergebnisse bestätigten eine Steigerung der Leistung bei Präsentation ähnlicher Stimuli unmittelbar nacheinander. Damit läßt sich ein Einfluß von Aufmerksamkeitsprozessen auch bei der Diskriminationsleistung des Huhns zeigen.

Das letzte Experiment war ein Vergleich der Kategorisierung separabler und integraler Verbundstimuli mit erfahrenen Hennen, bei unterschiedlichen Kategoriedefinitionen. Die gefundenen Unterschiede zwischen den Verbund-

stimuli entsprachen in ihrer Tendenz denjenigen, die mit Menschen gezeigt wurden (z.B. Shepard, 1991). Sie deuten damit, ähnlich den Ergebnissen von Experiment 4, auf eine unterschiedliche Verarbeitung separabler und integraler Verbundstimuli hin.

## 10.2 Schlußfolgerungen

### 10.2.1 Rassevergleich

Holländer Haubenhühner unterscheiden sich durch vergrößerte di- und telencephale Strukturen von anderen Hühnerrassen, die keine Haube tragen (Frahm & Rehkämper, 1998). Zu den Vergleichsrassen zählten u.a. auch die hier verwendeten Chabo. Zwerg-Cochin wurden später untersucht. Ihre Daten unterscheiden sich nicht von denjenigen anderer Vergleichsrassen (unpublizierte Daten). Für Bantam liegen dagegen noch keine Messungen der Hirnstrukturvolumina vor. Größere Hirnstrukturvolumina wurden u.a. in Strukturen gefunden, die für kognitive Leistungen, die das visuelle Gedächtnis betreffen, relevant sind wie das Hyperstriatum ventrale/dorsale und das Neostriatum (Johnson & Horn, 1987; McCabe & Nicol, 1999; Nicol et al., 1995).

In den vorliegenden Diskriminationsexperimenten, einschließlich den dafür notwendigen Gewöhnungs- und Anlernphasen (*shaping*), unterschieden sich die Holländer Haubenhühner von den anderen drei Rassen in ihrer Leistung im *autosshaping*. Die Dauer bis zum ersten Pickschlag war länger und deutlich mehr Hennen konnten die Prozedur nicht erfolgreich beenden. Darüber hinaus scheiterten nur bei den Holländer Haubenhühner einzelne Hennen an der Diskrimination der Linienorientierungsstimuli in der ersten Elementstimulusdiskrimination (E1) von Experiment 1. Im Hinblick auf die Lernleistung wären diese Unterschiede als eine schlechtere Leistung der Holländer Haubenhühner gegenüber den drei Vergleichsrassen zu bewerten. Diese Interpretation würde den neuroanatomischen Daten, die eine Vergrößerung kognitionsrelevanter Strukturen zeigen, widersprechen, denn eine Vergrößerung einer Hirnstruktur sollte mit einer erhöhten Leistungsfähigkeit in den Funktionen, die diese Hirnstruktur prozessiert, verbunden sein (Rehkämper et al., 2001; Güntürkün, 1997). Andererseits aber zeigten die Daten von Lashley (1926), der versucht hatte, durch das Abtragen großer Teile des Isocortex bei Ratten Unterschiede in der Lernleistung zu

provozieren, wie schwierig es ist, bestimmte Hirnareale für verhältnismäßig allgemeine Lernleistungen verantwortlich zu machen (siehe auch Bitterman, 1965; Macphail 1982; 1985). Dies hat Lashley (1926) zu der Theorie geführt, daß nicht einzelne Strukturen, sondern die Masse an Hirngewebe von eigentlicher Bedeutung ist (Zangwill, 1963).

Zusammengenommen mit dem Befund einer im Verhältnis zum Körpergewicht deutlich reduzierten Futteraufnahme in der Versuchsanordnung im Vergleich zu den anderen Hühnerrassen ist jedoch ebensogut möglich, daß nicht die Leistungsfähigkeit im Lernen zu den Unterschieden geführt hat, sondern motivationale oder emotionale Aspekte des Verhaltens. Da Holländer Haubenhühner nicht länger für eine Trainingssitzung brauchen als die Hühner der anderen Rassen (unpublizierte Daten), sie damit also ebenso häufig durch Picken die Pausen abbrechen, ist es nicht sehr wahrscheinlich, daß allgemein motivationale Aspekte für die Probleme einzelner Hennen bei der Diskrimination der Linienorientierungsstimuli verantwortlich sind, was andererseits auch die Stimuluspezifität dieses Leistungsunterschiedes nahelegt. Dieser Befund ist aber irrelevant für den großen Unterschied im *autoshaping*, denn die Hennen, die hier das Kriterium nicht erreichen konnten, nahmen an der folgenden Diskrimination nicht mehr teil. Es ist also dennoch möglich, daß v.a. motivationale Aspekte ein erfolgreiches Lernen im *autoshaping* verhindert haben.

Die geringere Futteraufnahme bei Holländer Haubenhühnern deutet aber darauf hin, daß möglicherweise eine Verstärkung durch die Futtergabe für die vier Rassen nicht gleichwertig war. Dies kann dazu führen, daß die Lernleistung bei prinzipiell gleicher Leistungsfähigkeit dennoch geringer ist. Diese Gleichwertigkeit der experimentellen Bedingungen ist ein zentrales Problem in der vergleichenden Psychologie, auf das v.a. Macphail (1982; 1985) eindringlich hingewiesen hat. Eine möglicherweise geringere Verstärkung der Holländer Haubenhühner könnte durchaus die Aneignung (engl. *acquisition*) besonders schwieriger Diskriminationen wie die der Linienorientierungsstimuli, die für alle Rassen länger dauerte als diejenige der Farbstimuli, verlangsamt haben. Möglicherweise spielen bei diesem Ergebnis aber auch Folgen einer visuellen Einschränkung durch die Haube eine Rolle. Dies kann auf der Grundlage vorhandener Daten nicht abschließend beurteilt werden.

Besonders aber vor dem Hintergrund dieser Unterschiede ist die Übereinstimmung aller Rassen hinsichtlich der für die theoretische Auseinandersetzung mit dem Diskriminationsverhalten relevanten Befunde bemerkenswert. Demzufolge ist davon auszugehen, daß die Ergebnisse des Experimentes 1 besonders robust sind. In ihnen spiegeln sich damit Aspekte der Informationsverarbeitung wider, die von quantitativen Unterschieden zwischen den Rassen nicht berührt werden.

### **10.2.2 Visuelle Diskrimination bei Haushühnern**

Die vorliegende Arbeit weist deutlich auf die Bedeutung exemplarbasierter Erklärungsansätze für das Diskriminationsverhalten von Tieren hin. In dem Bereich der experimentell arbeitenden Psychologie, die Verhalten und kognitive Leistungen von Tieren untersucht, ist dieser theoretische Ansatz wenig verbreitet, was mit der großen Bedeutung und dem großen Erfolg elementarer Lerntheorien (Miller et al., 1995; Siegel & Allan, 1996) und mit der Verbreitung konnektionistischer Modelle zusammenhängt, die dem atomistischen Ansatz einer Gleichsetzung neuronaler Einheiten (engl. *units*) mit Stimuluselementen Vorschub leistet (Dellarosa, 1988; McLaren & Mackintosh, 2000; 2002; Pearce, 1994; 2002). Dagegen werden in der Humanpsychologie auch nach der Gestaltpsychologie, z.B. in der Psychophysik und der Kognitionsforschung, seit längerem holistische Ansätze als Alternative zu merkmalsbasierten Ansätzen diskutiert (Lockhead, 1966; Garner, 1974). Letztere sind aber auch in der Humanpsychologie sehr viel verbreiteter, was nicht zuletzt an der oftmals sprachgebundenen Forschung in diesem Bereich liegt. Aufgrund der zergliedernden Natur unserer Sprache wird ein merkmalsbasierter Ansatz oftmals gar nicht in Frage gestellt (z.B. Bruner et al., 1956).

Holistische Theorien, die von einer Repräsentation wahrgenommener Stimuli als Muster ausgingen, wie zum Beispiel die Theorie des *template-matching*, wurden häufig als fehleranfällig und unökonomisch bezeichnet, weil Muster in ihren Eigenschaften wie Größe, Position, Orientierung etc. festgelegt seien. Sie galten deshalb anderen als den Gestaltpsychologen als unzureichende und zu verwerfende Modelle der Kategorisierung oder Mustererkennung (engl. *pattern recognition*). Eine Repräsentation auf der Grundlage von Stimulusattributen, die als solche unabhängig sind von physikalischen Eigenschaften des Gesamt-

stimulus, wurde favorisiert (Neisser, 1967; Pearce, 1994b; Roitblat & von Fersen, 1992; Zayan & Vauclair, 1998).

Dennoch werden in jüngerer Zeit sowohl in der Tier- als auch in der Humanpsychologie zunehmend holistische oder exemplarbasierte Erklärungsansätze vorgestellt, die ein Exemplar nicht nur als Liste von Merkmalen begreifen (vgl. z.B. Estes, 1994; Nosofsky, 1984), sondern als nicht weiter zergliederte Gesamtheit (Logan, 1988; Wasserman & Astley, 1994).

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, daß ein solcher holistischer und exemplarbasierter Erklärungsansatz das Diskriminationsverhalten von Hühnern besser erklären kann als merkmalsbasierte Erklärungsansätze (siehe auch Werner et al., im Druck). Dieser Befund stimmt mit den Ergebnissen früherer Arbeiten zur Kategorisierung bei Hühnern überein (Werner & Rehkämper, 1999; 2001; siehe auch Kapitel 1.7 „Eigene Vorarbeiten“), die gezeigt haben, daß eine Kategorisierung multidimensionaler geometrischer Figuren nicht auf der Grundlage von Merkmalen, sondern gelernter Exemplare erfolgt (siehe auch Althoff & Dücker, 1982). Darüber hinaus haben Vallortigara und Kollegen gezeigt, daß Hühnerküken sich eher an einem Gesamtobjekt als an einzelnen Objektmerkmalen (engl. *cues*) orientieren (Vallortigara & Zanforlin, 1989; Vallortigara et al. 1990).

Die Mehrzahl der Arbeiten zur visuellen Diskrimination und Kategorisierung wurden und werden allerdings mit Tauben durchgeführt und für sie liegen mehrheitlich Befunde vor, die merkmalsbasierte Theorien stützen (Aydin & Pearce, 1994; Huber & Lenz, 1993; Huber et al., 2000). Dennoch gibt es auch bei Tauben einzelne Befunde, die für das Zusammenfassen von Merkmalen zu konfiguralen Aspekten bis hin zu einem Gesamtstimulus sprechen (Aust & Huber, 2003; Pearce, 1994a; 2002).

Diese Kontroverse zwischen atomistischen, zergliedernden und ganzheitlichen Erklärungsansätzen, die die wissenschaftliche Psychologie seit ihrer Entstehung begleitet, ist damit nach wie vor von großer Bedeutung für die gegenwärtige Theoriediskussion. Dies mag darauf hinweisen, daß neben der theoretischen Schule, der ein Wissenschaftler angehört, und den Methoden der Forschung und Modellbildung, die zur Verfügung stehen, auch verschiedene Organismus- und Stimulusvariablen eine Rolle spielen. Im Hinblick auf Organismusvariablen wurde gezeigt, daß bei Menschen der Entwicklungsstand (Ward, 1983) und der

Gesundheitszustand (del Prado Rivero Exposito, 1991) von Bedeutung sind. Darüber hinaus legt die vorliegende Arbeit nahe, daß auch die Erfahrung mit dem Stimulusmaterial eine Rolle spielen könnte. Zu den Stimulusvariablen zählt v.a. die in der Humanpsychologie schon relativ alte Unterscheidung separabler und integraler Verbundstimuli (z.B. Lockhead, 1966; Garner, 1974), die mittlerweile auch als möglicher Kompromiß zwischen elementaren und konfiguralen Diskriminationstheorien vorgeschlagen wurde (Wagner, 2003). Ein weiterer Stimulusaspekt, der mit der Separabilität oder Integralität nah verwandt ist, besteht in der räumlichen Nähe zweier Stimuluselemente. Je näher sie einander sind, um so eher kommt es zu einer holistischen Verarbeitung, die für integrale Verbundstimuli charakteristisch ist (Hinson et al., 1998; Lamb, 1988; Lamb & Riley, 1981). Die Begriffe separabel und integral als Eigenschaften von Verbundstimuli legen damit lediglich eine bestimmte Art der Verarbeitung nahe, wobei aber im Einzelfall der Einfluß weiterer Faktoren darüber entscheidet, ob dies auch zutrifft. Da entwicklungspsychologische (Smith & Evans, 1989; Ward, 1983) und klinische Arbeiten (del Prado Rivero Exposito, 1991) eine Reihenfolge der Verarbeitung von holistisch nach analytisch nahelegen (siehe auch Lockhead, 1972), gilt dies insbesondere für die Frage, ob eine analytische Verarbeitung separabler Verbundstimuli stattfindet.

Daher ist es wichtig im Rahmen einer Theorie der Stimulusverarbeitung solche Organismus- und Stimulusvariablen zu berücksichtigen. Im Folgenden soll dies im Rahmen eines exemplarbasierten Modells (engl. *configural exemplar model*, siehe Werner et al., im Druck) für das Diskriminations- und Kategorisierungsverhalten bei Hühnern umgesetzt werden.

### **10.2.3 Grundannahmen des exemplarbasierten Modells (*configural exemplar model*)**

Ein exemplarbasierter Erklärungsansatz, wie er auf der Grundlage der empirischen Befunde zum Diskriminations- und Kategorisierungsverhalten bei Haushühnern vorgeschlagen werden soll, besteht aus folgenden Grundannahmen:

1) Stimuli werden vom verarbeitenden Organismus als Ganzes repräsentiert. Die Repräsentation kann damit auf einer frühen perzeptiven Ebene des Verarbeitungsstroms liegen. Eine Merkmalsanalyse spielt (noch) keine Rolle.

2) Die Assoziation zwischen Stimuli oder zwischen Stimuli und Reaktionen spiegelt sich in Verbindungen zwischen den konfiguralen Exemplaren der Stimuli untereinander oder zwischen den konfiguralen Exemplaren von Stimuli und Exemplaren von Reaktionen wider.

3) Beziehungen zwischen den Exemplaren integraler Stimuli ergeben sich aus der globalen Ähnlichkeit (engl. *overall similarity*) der Exemplare untereinander.

4) Beziehungen zwischen den Exemplaren separabler Stimuli ergeben sich aus der dimensional Struktur.

Diese Grundannahmen folgen dem gestaltpsychologischen Konzept einer primären figürlichen Ganzheit und dem Konzept einer holistischen Verarbeitung, das aus der kognitiven Humanpsychologie stammt, bei der die Elemente eines Stimulus nicht aus ihrem Gesamtgefüge herausgelöst und unabhängig voneinander verarbeitet werden (Grundannahmen 1 und 2). Diese werden verbunden mit Konzepten der multidimensionalen Psychophysik, die die Ähnlichkeit zwischen Stimuli in multidimensionalen Räumen darstellt. Hierbei kann abhängig von Stimuluseigenschaften, wie Separabilität oder Integralität, eine unterschiedliche Kombinationsmetrik für diejenigen Dimensionen berücksichtigt werden, die den Stimulusraum definieren (z.B. Ashby, 1992; Attneave, 1950; Kemler Nelson, 1993; Shepard, 1991).

## 10.2.4 Mathematisches Modell

Der funktionelle Zusammenhang zwischen der Stimulussituation auf der einen Seite und dem beobachtbaren Verhalten auf der anderen ist für eine Psychologie, die sich dem beobachtbaren Verhalten mehr verpflichtet fühlt als den nicht direkt beobachtbaren informationsverarbeitenden oder kognitiven Prozessen, von zentraler Bedeutung (Hull, 1943; Skinner, 1977; Staddon, 2001; Uttal, 1998; 2000; vgl. Skinner, 1950). Dabei liegt ihr Wert v.a. in der Beschreibung der Beziehung zwischen dem Verhalten als der gemessenen, abhängigen Variable und der Stimulussituation als der unabhängigen Variable. Für diese Beziehung gilt nach dem Gesetz der Sparsamkeit (engl. *law of parsimony*), daß möglichst wenige intervenierende und damit nicht direkt beobachtbare Variablen für ihre Beschreibung notwendig sein sollten (z.B. Staddon & Zanutto, 1998). Dieses Kapitel folgt deshalb dem Sprachgebrauch des Behaviorismus und macht keine Annahmen über die Informationsverarbeitung im Organismus. Sie folgen im

nächsten Kapitel. Dies soll der Trennung zwischen empirischem Befund, formaler funktioneller Beschreibung dessen, was an Leistung erbracht wurde (engl. *normative theory* in Shanks, 1995) und der Interpretation, wie es geleistet wurde, Ausdruck verleihen (siehe auch Anderson, 1990).

Die folgende Formel beschreibt den Wert der Antwortstärke (engl. *response strength*) für das Pickverhalten  $p$  bei Präsentation eines Stimulus  $i$ ,  ${}_pRS_i$ , als die Summe der Ähnlichkeit  $s$  zwischen dem Stimulus  $i$  und dem Stimulus  $j$  multipliziert mit dem Assoziationswert (engl. *associative value*),  $AS_j$ , von Stimulus  $j$  mit dem unconditionierten Stimulus (Futtergabe),  $US_p$ , der die betrachtete Antwort  $p$  auslöst:

$${}_pRS_i = \sum_j s_{ij} \cdot AS_j \quad (5)$$

mit  $0 \leq s \leq 1$ . Der Wert von  $s$  wäre 0, wenn keine Ähnlichkeit besteht, und 1, wenn  $i$  und  $j$  identische Stimuli sind.  $AS_j$  bezeichnet den Assoziationswert einer gesamten Stimulussituation mit dem unconditionierten Stimulus,  $US_p$ , und der Antwort  $p$ .

Das vorliegende Modell macht damit Gebrauch von drei intervenierenden Variablen: der Antwortstärke für eine bestimmte Reaktion,  $RS$ , der Assoziationsstärke von Stimuli im Hinblick auf den  $US$ ,  $AS$ , und der Ähnlichkeit zwischen Stimuli,  $s$ . Ähnliche Formeln und Konzepte finden sich als Teil des *configural unit models* bei Pearce (1994a; 2002) sowie bei Pearce und Wilson (1990).

Im Rahmen der theoretischen Vorstellungen, die in dieser Arbeit favorisiert werden, ist  $s$  nicht aus den Merkmalen abzuleiten, die den Stimuli gemeinsam sind, wie es in konkurrierenden Modellen der Fall ist (McLaren & Mackintosh, 2000; 2002; Pearce, 1994a; 2000; Pearce & Wilson, 1990; Rescorla & Wagner, 1972; Wagner, 2003). Stattdessen wäre sie mit psychophysikalischen Methoden zunächst zu messen, bevor andere Funktionen mit ihrer Hilfe erklärt werden könnten. Dieser Anspruch ist sicherlich von einem Nachteil begleitet, der in der Durchführung eines je nach Höhe der Stimuluszahl, die durch die Anzahl der Dimensionen und Werte des Stimulusraums gegeben ist, relativ aufwendigen zusätzlichen Experimentes liegt. Solange keine psychologische Theorie des

Stimulus vorliegt (vgl. Gibson, 1960) ist ein solches Vorgehen aber unvermeidbar. Der subjektive Stimulusraum kann dann als Ausgangspunkt für viele weitere Experimente gelten, deren Ergebnisse mit Hilfe von Ähnlichkeiten, die aus dem Stimulusraum errechnet wurden, quantitativ erklärt oder vorhergesagt werden könnten (z.B. Gärdenfors, 2000; 2001). Hierbei darf nicht unberücksichtigt gelassen werden, daß die Stimuli vor einem konstanten Hintergrund variieren, der nicht zuletzt durch die Versuchsanordnung gegeben ist. Die Konstanz kann allerdings nicht die Interaktion mit dem Stimulusmaterial und damit die Einflußnahme auf den subjektiven Stimulusraum verhindern. Der Kontext ist ein Teil der Stimulussituation und unterschiedliche Stimuli bei gleichem Kontext mögen eine weitaus ähnlichere Stimulussituation darstellen als die gleichen Stimuli in unterschiedlichem Kontext (z.B. Anderson, 1995). Subjektive Stimulusräume sind damit bis zu einem gewissen Grad immer auch kontextspezifisch.

Der Assoziationswert oder die assoziative Stärke (engl. *associative strength*), *AS*, ergibt sich dagegen aus dem iterativen Prozeß der Verstärkung und Nicht-Verstärkung in den aufeinander folgenden Präsentationen desselben Stimulus. *AS* ist damit äquivalent zu *V* aus dem Rescorla-Wagner-Modell (z.B. Rescorla & Wagner, 1972) oder *E* aus dem Modell von Pearce (z.B. Pearce & Wilson, 1990). Damit läßt sich der eigentliche Prozess des Lernens, d.h. die Aneignung (engl. *acquisition*), vollständig aus dem Rescorla-Wagner-Modell übernehmen, dessen Kernstück sie darstellt. Im hier vorgestellten Modell ist dieser Assoziationswert allerdings nicht auf Merkmale zu beziehen, sondern auf den Gesamtstimulus oder richtiger die gesamte Stimulussituation (Pearce, 1994a; 2002). Die Größe des Assoziationswertes einer Stimulussituation ist damit ebenso wie im Rescorla-Wagner-Modell von der Häufigkeit und Intensität einer Koppelung mit einem US (mit anderen Worten: mit einer Verstärkung) abhängig.

Die dritte intervenierende Variable ist die Reaktionsstärke, *RS*. Das tatsächliche Ausmaß der Antwort ergibt sich aus dem Verhältnis der größten Reaktionsstärke aus einer Menge möglicher Antworten bei Präsentation eines bestimmten Stimulus *i*, in diesem Beispiel  ${}_pRS_i$ , zu der Reaktionsstärke für alle anderen Antworten *x*,  ${}_xRS_i$ . Diese Variable ermöglicht es nicht nur, eine mögliche Antwort zu betrachten, sondern den Konflikt oder das Verhältnis zwischen zwei und mehr Variablen zu berücksichtigen. Dies ist dann interessant, wenn es um die

Beschreibung des Verhaltens im Rahmen einer simultanen Diskrimination geht, bei der innerhalb einer Stimulussituation (die zwei Stimuli gleichzeitig beinhaltet) eine Wahl zwischen mindestens zwei Handlungsalternativen besteht. Da allerdings nur in einem Experiment eine simultane Diskrimination verwendet wurde, und im Rahmen der vorliegenden Arbeit ohnehin nur beispielhaft auf die Anwendung der Formel eingegangen werden kann, wird der Aspekt der Berechnung der Antwort aus den Reaktionsstärken nicht weiter berücksichtigt.

Am Beispiel der Diskriminationsleistung in der ersten Verbundstimulus-diskrimination (V1) in Experiment 1 soll die Anwendung der Gleichung 5 für eine Vorhersage des Diskriminationsverhaltens demonstriert werden. Nehmen wir an, eine Henne hat in der ersten Elementstimulusdiskrimination (E1) die Koppelung der Elementstimuli Rot und Horizontal mit einer Verstärkung ( $R_+$  und  $H_+$ ) und die Koppelung von Grün und Vertikal mit einer Nicht-Verstärkung ( $G_-$  und  $V_-$ ) gelernt. Nach Erreichen des Lernkriteriums wird die Henne nun mit einem *reversal* der FARBE konfrontiert und daher mit einer Verstärkung der Elemente *grün* und *horizontal* und einer Nicht-Verstärkung von *rot* und *vertikal* in den separablen ( $SGH_+$ ,  $SRV_-$ ) und integralen ( $IGH_+$ ,  $IRV_-$ ) Verbundstimuli. Die Formel für die Reaktionsstärke des Pickens bei Präsentation des separablen Verbundstimulus mit den Elementen *grün* und *horizontal* lautet entsprechend:

$${}_pRS_{SGH} = (s_{SGH,R} AS_R) + (s_{SGH,G} AS_G) + (s_{SGH,H} AS_H) + (s_{SGH,V} AS_V)$$

Die Elementstimuli  $R$ ,  $G$ ,  $H$ , und  $V$  haben aus E1 einen bestimmten Assoziationswert, der für die dort vorher verstärkten Stimuli  $R$  und  $H$  hoch und für die nicht verstärkten Stimuli  $G$  und  $V$  gering sein sollte. Da am Anfang von V1 die Verbundstimuli noch unbekannt waren, weisen sie keinen Assoziationswert auf, d.h.:

$$AS_{SGH} = AS_{SRV} = AS_{IGH} = AS_{IRV} = 0$$

Sie tragen damit zunächst nicht zur Reaktionsstärke bei Präsentation von  $SGH$  bei, was sich im Verlauf der ersten Sitzung ändert, wodurch es zu einer Zunahme der Diskriminationsleistung kommt. Da der Fokus in dieser Arbeit v.a. in Experiment 1 primär auf der Transferleistung zwischen den Diskriminationen

liegt und nicht auf der Aneignung einer Diskrimination, wird dieser Prozeß unberücksichtigt gelassen und der Einfachheit halber wird von einer Übereinstimmung der Werte der in der vorhergehenden Diskrimination verstärkten Stimuli einerseits und der nicht verstärkten andererseits ausgegangen, da die unterschiedlichen Stimuluspaare bis zum gleichen Lernkriterium trainiert wurden. Damit ergibt sich die Reaktionsstärke bei der ersten Präsentation von *SGH* in V1 aus der Ähnlichkeit zu den verschiedenen Elementstimuli. Geht man davon aus, daß die Ähnlichkeit zwischen *SGH* und *G* groß, zwischen *SGH* und *H* dagegen klein ist,  $s_{SGH,G} > s_{SGH,H}$ , und zwischen *SGH* und *R* sowie *V* ohnehin vernachlässigt werden kann,  $s_{SGH,R} = s_{SGH,V} = 0$  (was allerdings auch eine Vereinfachung darstellt, vgl. Kendler et al., 1970), so ergibt sich für  $pRS_{SGH}$  ein geringer Wert und in der Folge für *SGH* eine geringe Pickhäufigkeit,  $p$ , denn der Assoziationswert von *G*,  $AS_G$ , aus E1 ist gering. Da aber entsprechend die Ähnlichkeit zwischen *SRV* und *R* groß und zwischen *SRV* und *V* klein,  $s_{SRV,R} > s_{SRV,V}$ , und der Assoziationswert von *R*,  $AS_R$ , aus E1 groß ist, wird die Reaktionsstärke für *SRV*, und damit die Pickhäufigkeit hoch sein. Dieses Verhältnis der Pickhäufigkeiten von *SGH* und *SRV* ist damit den Verstärkerkontingenzen in V1 entgegengesetzt. Es kommt zu einem Abfall der Diskriminationsleistung. Damit dieser Leistungsabfall mit den integralen Verbundstimuli *IGH* und *IRV* nicht auftritt, ist für sie entsprechend zu fordern, daß  $s_{IGH,G} < s_{IGH,H}$  und  $s_{IRV,R} < s_{IRV,V}$ . Dies hat zur Folge, daß die Verstärkerkontingenzen von *H* und *V* in E1 für die Diskriminationsleistung am Anfang von V1 maßgeblich sind. Da für die LINIENORIENTIERUNG kein *reversal* vorliegt, gilt  $pRS_{IGH} > pRS_{IRV}$ . Damit ist die Diskriminationsleistung in V1 während eines *reversal* der FARBE für die separablen Verbundstimuli schlechter als für die integralen, was den empirischen Befunden entspricht. Dem Interaktionseffekt zwischen separablen und integralen Verbundstimuli in V1 und V2 ist damit Rechnung getragen.

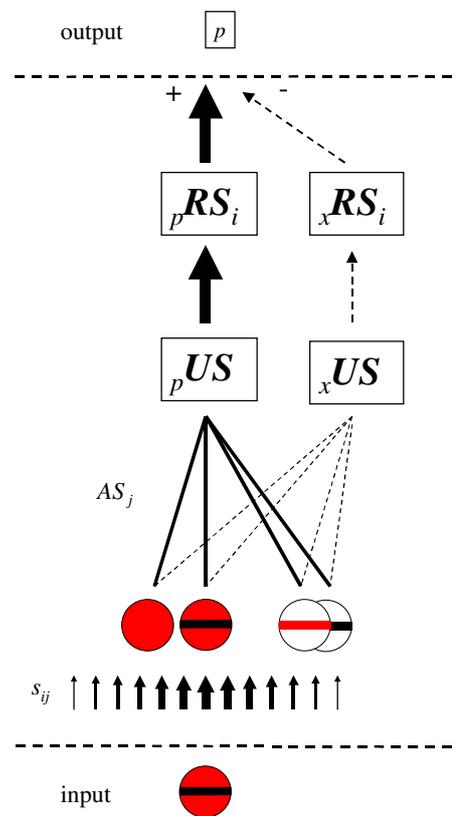
Der deutliche Unterschied in der Diskriminationsleistung zwischen V1 und V2 ergibt sich aus den Assoziationswerten der Verbundstimuli in V2, die alle ungleich Null sind:  $AS_{SRV}, AS_{SGH}, AS_{IRV}, AS_{IGH} \neq 0$ . Ihr Wert entspricht den Verstärkerkontingenzen aus V1, die in V2 alle ein *reversal* erfahren, und damit einen zusätzlich zu der Generalisation der Assoziationswerte der Elementstimuli wirksamen Rückgang der Diskriminationsleistung darstellen.

Der geringere Leistungseinbruch in E2 verglichen mit demjenigen in V1 lässt sich analog dem vorhergehenden Befund erklären. Die Generalisation der Assoziationswerte der Verbundstimuli stellt nur einen Anteil der Reaktionsstärke. Der größere Teil ergibt sich direkt aus den Assoziationswerten der Elementstimuli, die im Vergleich zu E1 nicht (durch Lernen) modifiziert werden müssen, da kein *reversal* vorliegt.

Diese beispielhafte qualitative Darstellung mag als Beispiel der Leistungsfähigkeit der Theorie für das Erklären der vorliegenden Daten und als Ausblick auf eine quantitative Umsetzung des Modells genügen.

### **10.2.5 Kognitives Modell**

Die funktionellen Zusammenhänge zwischen Stimulussituation und Verhalten sowie die dabei wirksamen intervenierenden Variablen wurden im vorhergehenden Kapitel dargestellt. Dem sollen in diesem Kapitel Annahmen zu kognitiven Prozessen hinzugefügt werden. Eine graphische Präsentation dieser Annahmen mit einer Kennzeichnung der intervenierenden Variablen als Ergebnisse dieser Prozesse findet sich in Abbildung 10.1.



**Abbildung 10.1.** Kognitive Darstellung des *configural exemplar model* des Diskriminations- und Kategorisierungsverhaltens (Details siehe Text).

Die Präsentation eines Stimulus, hier am Beispiel eines separablen Verbundstimulus mit den Werten *rot* und *horizontal*, *SRH*, führt zu seiner Repräsentation als konfigurales Exemplar, sofern keine Repräsentation des Stimulus vorhanden ist oder die Abweichung des *inputs* vom repräsentierten Exemplar einen bestimmten Schwellenwert übersteigt. Damit ist es prinzipiell denkbar, daß mehrere Exemplare für denselben Stimulus (d.h. für die gleiche Kombination dimensionaler Werte) vorhanden sind, allerdings immer nur ein Exemplar für eine konkrete Stimulussituation. Ist dagegen eine hinreichende Übereinstimmung mit einem vorhandenen Exemplar gegeben wird es maximal aktiviert. Andere Exemplare (des gleichen oder anderer Stimuli und anderer Stimulussituationen) werden in Abhängigkeit ihrer Ähnlichkeit zu diesem Exemplar,  $s_{ij}$ , entsprechend schwächer aktiviert (engl. *spreading activation*). Dieser Gradient der Generalisation einer Aktivierung führt dann auf der Verhaltensebene zu einer Generalisation des Pickens auf andere (unbekannte)

Stimuli. Der Verlauf dieses Gradienten ist abhängig von der Ähnlichkeit der Exemplare untereinander,  $s_{ij}$ , die wiederum durch einen subjektiven Stimulusraum repräsentiert werden kann (Gärdenfors, 2000; 2001). Da Stimulusräume unterschiedlicher Metrik für separable und integrale Dimensionen zu fordern sind (Kemler Nelson, 1993; Shepard, 1991), kann auf dieser Ebene einer unterschiedlichen Verarbeitung Rechnung getragen werden, die durch unterschiedliches Generalisations- und Kategorisierungsverhalten deutlich wird. Weil diese Metrik außerdem abhängig von dem Wert des Exponenten der Minkowski-Metrik zwischen den „Extremen“ einer Summenmetrik (engl. *city-block-metric*) für separable Verbundstimuli und einer Euklidischen Metrik für integrale Verbundstimuli schwankt (Ashby, 1992), kann eine Veränderung der Verarbeitung separabler Verbundstimuli aufgrund von Entwicklung oder Erfahrung durch eine kontinuierliche Reduktion des Exponenten von dem Wert 2 zu dem Wert 1 ebenfalls berücksichtigt werden. Eine Summenmetrik führt dann zu einem Ähnlichkeitswert, der von der dimensional Struktur abhängig ist. Er stellt damit eine Merkmalsanalyse auf der Grundlage konfiguraler Exemplare dar. Damit würde die analytische Verarbeitung nach einer holistischen Verarbeitung und somit auf einer zweiten Ebene stattfinden. Dies entspricht dem theoretischen Konzept der Verarbeitung auf zwei Ebenen nach Lockhead (1966) und Garner (1974). Außerdem würde diese Abfolge mit der Priorität der holistischen vor der analytischen Verarbeitung übereinstimmen, wie es Untersuchungen der kognitiven Entwicklung (Smith & Evans, 1989; Ward, 1983) oder des kognitiven Abbaus (del Prado Rivero Exposito, 1991) nahelegen. Plausibel wäre dann auch das Vorherrschen einer holistischen Verarbeitung bei Tieren, dem diese Theorie ebenfalls entspräche.

Die differentielle Aktivierung mehrerer Exemplare führt zu einer Konvergenz (Summierung) der Anteile ihrer Assoziationswerte,  $AS_j$ , die dem Ausmaß der Aktivierung proportional sind, auf die Exemplare des unconditionierten Stimulus, US. Bei der Aktivierung der Exemplare des US ist zu fordern, daß sie über einen maximalen Wert hinaus nicht mehr weiter zunimmt, so daß bei Präsentation eines gut gelernten Stimulus die Pickreaktion durch Generalisation von anderen Stimuli nicht weiter zunimmt. Die Aktivierung der Exemplare des US führen direkt zu einer proportionalen Aktivierung einer Antworttendenz,  $RS$ , die nach

Berücksichtigung weiterer Antworttendenzen zu einer entsprechenden Antwort oder einem beobachtbaren Verhalten führt.

### 10.3 Fazit

Abschließend sei angemerkt, daß das vorgestellte exemplarbasierte Modell eine sparsame Erklärung des visuellen Diskriminations- und Kategorisierungsverhaltens ist. Es basiert auf der Annahme nur weniger Variablen, deren Grundlage die Ergebnisse eigener Arbeiten mit Hühnern darstellt. Das Modell ist empirisch überprüfbar und falsifizierbar, wenn damit auch durch die Ermittlung von Stimulusräumen ein gewisser Aufwand verbunden ist. Allerdings hängt diese Falsifizierbarkeit von der Robustheit und Validität des Verfahrens der multidimensionalen Skalierung ab und der Möglichkeit ihres Einsatzes im Rahmen bekannter Aufgabenstellungen der Lern- und kognitiven Psychologie. Damit besteht ein gewisser Kontrast zu merkmalsbasierten oder elementaren Theorien, die durch zusätzliche *a posteriori* Annahmen hinsichtlich verhaltensrelevanter Merkmale erweitert werden, die eine Falsifikation erschweren (George & Pearce, 2003; Wagner & Rescorla, 1972). Diese Annahmen zusätzlicher verbundstimulusspezifischer Merkmale kommen vor dem Hintergrund, daß im Grunde jeder Stimulus ein Verbundstimulus ist (z.B. Blough, 1972), dem Konzept „gnostischer Neurone“ in den Neurowissenschaften gleich (Konorski, 1967). Eine konsequente Fortsetzung würde zu ebenso vielen Merkmalen wie Verbundstimuli führen und die Theorie verlöre damit jeglichen Erklärungswert.

Eine weiteres Problem elementarer Theorien ist ihre Gleichsetzung von Einheiten (engl. *units*), die den Neuronen der Neurowissenschaften entlehnt sind, mit Stimuluselementen, die aber nicht mehr in einen Zusammenhang mit dem physikalischen Stimulus gebracht werden (McLaren & Mackintosh, 2000; 2002; Wagner & Brandon, 2001). Jede einzelne Einheit stellt damit im Grunde genommen eine Variable dar, deren Wert gemäß den Bedürfnissen der zu erklärenden Situation variiert werden kann. Dies ist das gleiche Problem, das auch neuronale Netze als mathematische Modelle kennzeichnet. Für die Diskriminationstheorien bedeutet dies die Nicht-Falsifizierbarkeit, für neuronale Netze, daß sie jeden beliebigen *input* mit jedem beliebigen *output* verbinden und damit ein Modell von allem (genügende Rechenkapazität vorausgesetzt) und gleichzeitig von nichts sind.

Ein Vergleich der vorgeschlagenen Theorie mit konkurrierenden merkmalsbasierten Theorien ist damit davon abhängig, was als Merkmal zugelassen wird. Darüber hinaus müßte dies auf einer quantitativen Ebene stattfinden, damit die Komplexität der einzelnen Theorien handhabbar und kommunizierbar bleibt und gleichzeitig einer Trivialisierung ihrer Annahmen im Dienste einer leichteren Überprüfung entgegenwirkt. Dies bedeutet, daß die Entwicklung eines Computermodells, das für die vorliegenden mathematischen Modelle quantitative Vorhersagen generieren kann, eine wichtige Voraussetzung ist.

Ein solches Computermodell kann ebenfalls sehr hilfreich sein, um den Anwendungsbereich der entwickelten Theorie um weitere Phänomene der Lern- und kognitiven Psychologie zu erweitern. Eine Theorie, die so grundlegende Funktionen, wie die Stimulusrepräsentation und -assoziation einschließt, sollte, wenn sie nicht neue Konzepte für einen spezifischen Anwendungsfall darstellen will, ebenso weit anwendbar sein, wie der Einsatz der Funktionen sinnvollerweise anzunehmen ist.

Weitere empirische Untersuchungen sind v.a. dort interessant, wo die Unterscheidung separabler und integraler Verbundstimuli berührt wird. Hier zeigt die vorliegende Arbeit, daß Unterschiede zu finden sind, daß sie sich aber im Rahmen der Generalisation gelernter Diskriminationen nicht erschöpfen und auch nur schwierig dokumentieren lassen. Hier mögen weitere Kategorisierungsexperimente mit einer größeren Stimuluszahl und anderen Dimensionen hilfreich sein.

Neben dem Einfluß der Stimulusvariablen auf das Verhalten wäre auch die Berücksichtigung von Organismusvariablen interessant. Insbesondere das Ausmaß der Erfahrung mit dem verwendeten Stimulusmaterial und sein Einfluß auf subjektive Ähnlichkeiten und Kategoriestrukturen würden helfen die flexibleren und analytischeren kognitiven Prozesse zu identifizieren, die auf ihnen aufbauen. Ihre Forderung ist sonst leicht durch nicht verstandene perzeptive Aspekte der Stimulusverarbeitung oder eine nicht hinreichend kontrollierte Verstärkergeschichte (engl. *reinforcement history*) in Frage zu stellen.

## 11 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersuchte das Problem, ob komplexe Reize primär als eine Summe von Einzelementen oder als konfiguraler Gesamtstimulus Verhalten und Wahrnehmung beeinflussen. Dabei wurde die Abhängigkeit von Stimulusfaktoren in Form der Separabilität oder Integralität von Stimulusdimensionen ebenfalls berücksichtigt. Zu diesem Zweck wurden visuelle Diskriminationsexperimente mit Hennen von vier unterschiedlichen Haushuhnrasen durchgeführt. Von diesen Rassen war eine, die Holländer Haubenhühner, durch eine besondere Schädel- und Hirnanatomie gekennzeichnet, die von vergrößerten Volumina di- und telencephalen Hirnstrukturen begleitet wurde. Es sollte daher ebenfalls geprüft werden, ob die vergrößerten telencephalen Hirnstrukturen mit höheren Leistungen in visuellen Diskriminationsaufgaben verbunden sind.

Als Stimulusmaterial dienten Element- und Verbundstimuli, wobei letztere aus ersteren zusammengesetzt waren. Jeder Verbundstimulus bestand aus einem Element der Dimension Farbe, rot oder grün, und einem Element der Dimension Linienorientierung, horizontal oder vertikal. Die Kombination dieser Elemente erfolgte entweder separabel als Linie vor farbigem Hintergrund oder integral als farbige Linie. Es wurden Experimente mit einer Serie von Transfers der Tiere zwischen Element- und Verbundstimulusdiskriminationen durchgeführt, die immer wieder mit einer Umkehr der Verstärkung einer der beiden Dimensionen im Wechsel verbunden war (*half-reversal*). Sie zeigten, daß eine veränderte Verstärkung der Elemente zwischen Element- und Verbundstimulusdiskriminationen weniger bedeutsam war als die Verstärkung der Stimuli als Ganze, die innerhalb der Serie entweder gleich blieb oder sich für den Gesamtstimulus umkehrte (*full-reversal*). Diese holistische Informationsverarbeitung galt sowohl für integrale als auch für separable Verbundstimuli. Darüber hinaus war sie auch für die verschiedenen Hühnerrassen vergleichbar. Allerdings zeigten deutlich mehr Holländer Haubenhühner im *Autoshaping* keine verlässliche Pickreaktion. Möglicherweise hängt dies mit einer nicht vergleichbaren Verstärkung zusammen, denn die Holländer Häubenhühner nehmen im gleichen Zeitraum deutlich weniger Futter in der Versuchsanordnung auf als die anderen drei Rassen.

Weitere Diskriminationsexperimente zeigten, daß die Verarbeitung separabler und integraler Verbundstimuli nicht unter allen Umständen gleich ist. Zum einen scheint eine Erfahrung der Hennen mit dem Stimulusmaterial bedeutsam zu sein und zum anderen muß die experimentelle Situation empfindlich genug sein, um die Unterschiede zeigen zu können.

Schließlich konnte auch gezeigt werden, daß Aufmerksamkeitsprozesse im Sinne einer Voraktivierung (*priming*-Effekt) durch ähnliche Stimuli das Diskriminationsverhalten der Hennen beeinflussen. Prozesse merkmalsbezogener selektiver Aufmerksamkeit konnten dagegen nicht gezeigt werden.

Alle Befunde wurden in einem exemplarbasierten Modell der Diskrimination und Kategorisierung berücksichtigt, das von der Repräsentation des Gesamtstimulus ausgeht und Unterschiede zwischen separablen und integralen Stimuli durch unterschiedliche Ähnlichkeitsmaße erklärt.

## 12 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Gerd Rehkämper, C. und O. Vogt Institut für Hirnforschung, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, danke ich sehr für die Bereitstellung des Themas und die Begleitung und Unterstützung meiner Arbeit, bei der er mir stets das Vertrauen und über weite Strecken auch die Geduld entgegenbrachte, sie selbständig weiterzuentwickeln.

Herrn Prof. Dr. Joseph P. Huston, Physiologische Psychologie, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, möchte ich für die Begleitung des Promotionverfahrens in der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät und die Auseinandersetzung mit meiner Arbeit danken.

Besonderen Dank schulde ich Frau Inga Tiemann, die lange Zeit die Datenerhebung und Versorgung der Tiere zu einem großen Teil übernommen hat. Auch hat sie nicht den öffentlichen Auftritt in Form eines Kongreßbeitrages gescheut, bei dem sie Teile dieser Arbeit vorstellte.

Ich danke auch Frau Dipl.-Biol. Julia Cnotka, die ebenfalls häufig mit der Datenerhebung und Tierversorgung betraut war.

Dem Wissenschaftlichen Geflügelhof des Bundes Deutscher Rassegeflügelzüchter (BDRG) danke ich für die Hilfe bei der Beschaffung und Haltung der vielen Hennen unterschiedlicher Rasse, die in dieser Arbeit verwendet wurden.

Danken möchte ich auch Herrn Dipl.-Biol. Johannes Pappas. Er hat mir durch so manche Diskussion bei der Präsentation meiner Arbeit sehr geholfen.

Herrn Dr. Heiko D. Frahm danke ich sehr für die sorgfältige Durchsicht des Manuskriptes und dafür, daß ich ihn immer mit Fragen behelligen durfte.

Für viele anregende und hilfreiche Diskussionen danke ich auch Herrn Roul Sebastian John M.A., Institut für Kognitionswissenschaft, Universität Osnabrück.

Außerdem möchte ich mich bei Frau Christine Opfermann-Rüngeler und Frau Claudia Stolze für ihre Unterstützung bedanken.

Besonderer Dank gilt natürlich meiner Herzallerliebsten, Dr. Anette Perrey, und meinen beiden Söhnen, Aron und Linus, die für diese Arbeit viel zu oft auf mich verzichten mußten.

### 13 Literaturverzeichnis

- Althoff, K., & Dücker, G. (1982). Der Einfluss von Reizparametern und Aufzuchtbedingungen auf die Kategorisierungsleistungen von Haushühnern (*Gallus domesticus*). *Psychologische Beiträge*, 24, 455-477.
- Anderson, J. R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1995). *Cognitive psychology and its implications*, 4<sup>th</sup> ed. New York: W.H. Freeman and Company. (Deutsche Ausgabe: *Kognitive Psychologie: eine Einführung*, 1996, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg).
- Ashby, F. G. (Ed.). (1992). *Multidimensional models of perception and cognition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Attneave, F. (1950). Dimensions of similarity. *American Journal of Psychology*, 63, 516-556.
- Aust, U., & Huber, L. (2003). Elemental versus configural perception in a people-present/people-absent discrimination task by pigeons. *Learning & Behavior*, 31, 213-224.
- Aydin, A., & Pearce, J. M. (1994). Prototype effects in categorization by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 20, 264-277.
- Balsam, P. D., & Tomie, A. (Eds.). (1985). *Context and learning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Bitterman, M. E. (1960). Toward a comparative psychology of learning. *American Psychologist*, 15, 704-712.
- Bitterman, M. E. (1965). Phyletic differences in learning. *American Psychologist*, 20, 396-410.
- Bitterman, M. E. (1975). The comparative analysis of learning. *Science*, 188, 699-709.
- Bitterman, M. E., & Mackintosh, N. J. (1969). Habit-reversal and probability learning: rats, birds and fish. In: R. M. Gilbert, & N. S. Sutherland (Eds.), *Animal discrimination learning* (pp. 163-185). London: Academic Press.
- Bloch, S., & Martinoya, C. (1982). Comparing frontal and lateral viewing in the pigeon. I. Tachistoscopic visual activity as a function of distance. *Behavioural Brain Research*, 5, 231-244.

- Blöschl, L. (1969). *Belohnung und Bestrafung im Lernexperiment*. Weinheim: Julius Beltz.
- Blough, D. S. (1972). Recognition by the pigeon of stimuli varying in two dimensions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *18*, 345-367.
- Bortz, J., Lienert, G. A., & Boehnke, K. (2000). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*, 2. Aufl. Berlin: Springer.
- Bradshaw, R. H. (1991). Discrimination of group members by laying hens (*Gallus domesticus*). *Behaviour Processes*, *24*, 143-151.
- Bradshaw, R. H. (1992). Conspecific discrimination and social preference in the laying hen. *Applied Animal Behavior Science*, *33*, 69-75.
- Bradshaw, R. H., & Dawkins, M. S. (1993). Slides of conspecifics as representatives of real animals in laying hens (*Gallus domesticus*). *Behaviour Processes*, *28*, 165-172.
- Brown, P. L., & Jenkins, H. M. (1968). Auto-shaping of the pigeon's key-peck. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *11*, 1-8.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J., & Ausin, G. A. (1956). *A study of thinking*. New York: Wiley (Wiederauflage 1977 durch Robert E. Krieger, New York).
- Campbell, C. B. G. (1976). What animals should we compare? In: R. B. Masterton, W. Hodos, & H. Jerison (Eds.), *Evolution, brain, and behavior: persistent problems* (pp. 107-113). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Churchland, P. S. (1988). *Neurophilosophy: toward a unified science of mind/brain*. Cambridge: MIT Press.
- Cook, R. G., Riley, D. A., & Brown, M. F. (1992). Spatial and configural factors in compound stimulus processing by pigeons. *Animal Learning & Behavior*, *20*, 41-55.
- Coren, S., Ward, L. M., Enns, J. T. (1999). *Sensation and perception*, 5<sup>th</sup> ed. Fort Worth: Harcourt Brace.
- Cox, J. K., & D'Amato, M. R. (1982). Matching to compound samples by monkeys (*Cebus apella*): shared attention or generalization decrement? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *8*, 209-225.
- Darwin, C. (1868). *The variation of animals and plants under domestication*. London: Murray.
- Dawkins, M. S. (1995). How do hens view other hens? The use of lateral and binocular visual fields in social recognition. *Behaviour*, *132*, 591-606.

- del Prado Rivero Exposito, M. (1991). Classification in retarded adults: integrality of color and form dimension. *Revista de Psicologia General y Aplicada*, 44, 277-284.
- Dellarosa D. (1988). The psychological appeal of connectionism. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 28.
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1988). *Spatial vision*. New York: Oxford University Press.
- DeYoe, E. A., & Van Essen, D. C. (1988). Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends in Neurosciences*, 11, 219-226.
- Domjan, M. (1983). Biological constraints and the pursuit of general theories of learning. In: R. L. Mellgren (Ed.), *Animal cognition and behavior* (pp. 319-344). Amsterdam: North-Holland Publishing.
- Domjan, M. (1999). *The principles of learning and behavior*, 4<sup>th</sup> ed. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Estes, W. K. (1994). *Classification and cognition*. New York: Oxford University Press.
- Ewert, J.-P. (1997a). Schlüsselreiz und Auslösemechanismus - Heutiger Stand der Konzepte am Beispiel des Beutefangs der Erdkröte - 1. Teil. *Praxis Naturwissenschaften*, 46(5), 45-46.
- Ewert, J.-P. (1997b). Schlüsselreiz und Auslösemechanismus - Heutiger Stand der Konzepte am Beispiel des Beutefangs der Erdkröte - 2. Teil. *Praxis Naturwissenschaften*, 46(6), 42-47.
- Foard, C. F., & Kemler Nelson, D. G. (1984). Holistic and analytic modes of processing: the multiple determinants of perceptual analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 94-111.
- Frahm, H. D., & Rehkämper, G. (1998). Allometric comparison of the brain and brain structures in the White Crested Polish chicken with uncrested domestic chicken breeds. *Brain, Behavior, and Evolution*, 52, 292-307.
- Gärdenfors, P. (2000). *Conceptual spaces: the geometry of thought*. Cambridge: MIT Press.
- Gärdenfors, P. (2001). Concept learning: a geometrical model. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 101, 163-183.

- Gardner, B. T., & Gardner, R. A. (1985). Signs of intelligence in cross-fostered chimpanzees. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*, 308, 159-176.
- Garner, W. R. (1974). *The processing of information and structure*. Protomac, Maryland: Lawrence Erlbaum.
- Garner, W. R., & Felfoldy, G. L. (1970). Integrality of stimulus dimensions in various types of information processing. *Cognitive Psychology*, 1, 225-241.
- Gellerman, L. W. (1933). Chance orders of alternating stimuli in visual discrimination experiments. *Journal of Genetic Psychology*, 42, 206-208.
- George, D. N., & Pearce, J. M. (2003). Discrimination of structure: II. feature binding. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 29, 107-117.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1960). The concept of the stimulus in psychology. *American Psychologist*, 15, 694-703.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gold, I., & Stoljar, D. (1999). A neuron doctrine in the philosophy of neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 809-869.
- Gregson, R. A. M. (1975). *Psychometrics of similarity*. New York: Academic Press.
- Guhl, A. M., & Ortman, L. L. (1953). Visual patterns in the recognition of individuals among chickens. *Condor*, 55, 287-298.
- Güntürkün, O. (1984). *Verhaltenphysiologische Untersuchungen zur funktionellen Organisation des visuellen Systems der Taube*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum.
- Güntürkün, O. (1997). Cognitive impairments after lesions of the neostriatum caudolaterale and its thalamic afferents in pigeons: functional similarities to the mammalian prefrontal system? *Journal of Brain Research*, 38, 133-143.
- Guski, R. (1996). *Wahrnehmen - ein Lehrbuch*. Stuttgart: Kohlhammer.

- Hamilton, W. D., & Zuk, M. (1982). Heritable true fitness and bright birds: a role of parasites? *Science*, *218*, 384-387.
- Hanson, H. M. (1959). Effects of discrimination training on stimulus generalization. *Journal of Experimental Psychology*, *5*, 321-334.
- Hayes, B. P. (1982). The structural organization of the pigeon retina. In: N. N. Osborne, & G. J. Chader (Eds.), *Retinal Research*, Vol. 1 (pp. 197-226). Oxford: Pergamon Press.
- Helson, H. (1964). *Adaptation level theory: an experimental and systematic approach to behavior*. New York: Harper.
- Herman, L. M. (1986). Cognition and language competencies of bottlenosed dolphins. In: R. J. Schusterman, J. A. Thomas, & F. G. Wood (Eds.), *Dolphin cognition and behavior: A comparative approach* (pp. 221-252). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hinson, J. M., Cannon, C. B., & Tennison, L.R. (1998). Range effects and dimensional organization in visual discrimination. *Behavioural Processes*, *43*, 275-287.
- Hodos, W. (1993). The visual capabilities of birds. In: H. P. Zeigler, & H.-J. Bischof (Eds.), *Vision, brain, and behavior in birds* (pp. 63-76). Cambridge: MIT Press.
- Hodos, W., & Campbell, C.B. (1969). Scala naturae: Why there is no theory in comparative psychology. *Psychological Review*, *76*, 337-350.
- Hubel, D. H. (1988). *Eye, brain, and vision*. New York: Scientific American Library.
- Huber, L., & Lenz, R. (1993). A test of the Linear Feature Model of polymorphous concept discrimination with pigeons. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *46B*, 1-18.
- Huber, L., Troje, N. F., Loidolt, M., Aust, U., & Grass, D. (2000). Natural categorization through multiple feature learning in pigeons. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *53B*, 341-357.
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior: an introduction to behavior theory*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Johnson, M. H., & Horn, G. (1987). The role of a restricted region of the chick forebrain in the recognition of individual conspecifics. *Behavioural Brain Research*, *23*, 269-275.

- Kemler Nelson, D. G. (1993). Processing integral dimensions: the whole view. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*, 1105-1113.
- Kendler, T. S., Basden B. H., & Bruckner, J. B. (1970). Dimensional dominance and continuity theory. *Journal of Experimental Psychology*, *83*, 309-318.
- Konorski, J. (1967). *Integrative activity of the brain*. Chicago: University of Chicago Press.
- Krechevsky, I. (1938). A study of the continuity of the problem-solving process. *Psychological Review*, *45*, 107-134.
- Lamb, M. R. (1988). Selective attention: effects of cuing on the processing of different types of compound stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *14*, 96-104.
- Lamb, M. R., & Riley, D. A. (1981). Effects of element arrangement on the processing of compound stimuli in pigeons (*Columba livia*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *7*, 45-58.
- Lashley, K. S. (1926). Studies of cerebral function in learning. *Journal of Comparative Neurology*, *41*, 1-58.
- Leith, C. R., & Maki Jr., W. S. (1977). Effects of compound configuration on stimulus selection in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*, 229-239.
- LeVay, S., Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1975). The pattern of ocular dominance columns in macaque visual cortex revealed by a reduced silver stain. *Journal of Comparative Neurology*, *159*, 559-575.
- Ligon, J. D., Thornhill, R., Zuk, M., & Johnson, K. (1990). Male-male competition, ornamentation and the role of testosterone in sexual selection in red jungle fowl. *Animal Behaviour*, *40*, 357-373.
- Lockhead, G. R. (1966). Effects of dimensional redundancy on visual discrimination. *Journal of Experimental Psychology*, *72*, 95-104.
- Lockhead, G. R. (1972). Processing dimensional stimuli: A note. *Psychological Review*, *79*, 410-419.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492-517.
- Mackintosh, N. J. (1965). Overtraining, reversal, and extinction in rats and chicks. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *59*, 31-36.

- Mackintosh, N. J. (1969). Comparative studies of reversal and probability learning: rats, birds and fish. In: R. M. Gilbert, & N. S. Sutherland (Eds.), *Animal discrimination learning* (pp. 137-162). London: Academic Press.
- Mackintosh, N. J., McGonigle, B., Holgate, V., & Vanderver, V. (1968). Factors underlying improvement in serial reversal learning. *Canadian Journal of Psychology*, 22, 85-95.
- Macphail, E. M. (1982). *Brain and intelligence in vertebrates*. Oxford: Clarendon Press.
- Macphail, E. M. (1985). Vertebrate intelligence: the null hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series B*, 308, 37- 51.
- Maki Jr., W. S., & Leith, C. R. (1973). Shared attention in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 19, 345-349.
- Marks, H. L., Siegel, P. B., & Kramer, C. Y. (1960). Effect of comb and wattle removal on the social organization of mixed flocks of chickens. *Animal Behavior*, 8, 192-196.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.
- Martin, G. R. (1985). Eye. In: A. S. King, & J. McLelland (Eds.), *Form and function in birds*, Vol. 3 (pp. 311-373). London: Academic Press.
- Masure, R. H., & Allee, W. C. (1934). The social order in flocks of the common chicken and the pigeon. *Auk*, 51(3), 306-327.
- McCabe, B. J., & Nicol, A.U. (1999). The recognition memory of imprinting: biochemistry and electrophysiology. *Behavioural Brain Research*, 98, 253-260.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1985). Distributed memory and the representation of general and specific information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 159-188.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1988). *Explorations in parallel distributed processing: A handbook of models, programs, and exercises*. Cambridge: MIT Press.
- McLaren, I. P. L., & Mackintosh, N. J. (2000). An elemental model of associative learning: I. Latent inhibition and perceptual learning. *Animal Learning & Behavior*, 28, 2111-2146.
- McLaren, I. P. L., & Mackintosh, N. J. (2002). Association learning and elemental representation: II. Generalization and discrimination. *Animal Learning & Behavior*, 30, 177-200.

- Medin, D. L., Ross, B. H., & Markman, A. B. (2001). *Cognitive psychology*, 3<sup>rd</sup> ed. Fort Worth: Harcourt.
- Michael, C. R. (1978). Color vision mechanisms in monkey striate cortex: dual-opponent cells with concentric receptive fields. *Journal of Neurophysiology*, *41*, 572-588.
- Miller, R. R., Barnet, R. C., & Grahame, N. J. (1995). Assessment of the Rescorla-Wagner model. *Psychological Bulletin*, *117*, 363-386.
- Monahan, J. S., & Lockhead, G. R. (1977). Identification of integral stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General*, *106*, 94-110.
- Moynihan, M., & Rodaniche, A. F. (1982). *The behavior and natural history of the caribbean reef squid Sepioteuthis sepioidea*. Berlin: Verlag Paul Parey.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E. (1973). *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. Berlin: Verlag Paul Parey.
- Nicol, A. U., Brown, M. W., & Horn, G. (1995). Neurophysiological investigations of a recognition memory system for imprinting in domestic chick. *European Journal of Neuroscience*, *7*, 766-776.
- Nosofsky, R. M. (1984). Choice, similarity, and the context theory of classification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*, 104-114.
- Nye, P. W. (1973). On the functional differences between frontal and lateral visual fields of the pigeon. *Vision Research*, *13*, 559-574.
- Oatley, K. (1978). *Perceptions and representations. The theoretical basis of brain research and psychology*. London: Methuen.
- Page, M. (2000). Connectionist modeling in psychology: a localist manifesto. *Behavioral and Brain Sciences*, *23*, 443-512.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision science*. Cambridge: MIT Press.
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes: an investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*. Oxford: Oxford University Press.
- Pear, J. J. (2001). *The science of learning*. Philadelphia: Psychology Press.
- Pearce, J. M. (1987). A model for stimulus generalization in Pavlovian conditioning. *Psychological Review*, *94*, 61-73.
- Pearce, J. M. (1994a). Similarity and discrimination: a selective review and a connectionist model. *Psychological Review*, *101*, 587-607.

- Pearce, J. M. (1994b). Discrimination and categorization. In: N. J. Mackintosh (Ed.), *Animal learning and cognition* (pp. 109-134). San Diego: Academic Press.
- Pearce, J. M. (2002). Evaluation and development of a connectionist theory of configural learning. *Animal Learning & Behavior*, *30*, 73-95.
- Pearce, J. M., & Wilson, P. N. (1990). Configural associations in discrimination learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *16*, 250-261.
- Pepperberg, I. M. (2002). In search of King Solomon's ring: cognitive and communicative studies of grey parrots (*Psittacus erithacus*). *Brain, Behavior and Evolution*, *59*, 54-67.
- Popper, K. R. (1966). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr.
- Popper, K. R. (1987). *Das Elend des Historizismus*, 6. Aufl. Tübingen: J. C. B. Mohr.
- Pylyshyn, Z. W. (1999). What's in your mind? In: E. Lepore, & Z. Pylyshyn (Eds.), *What is cognitive science?* (pp. 1-25). Malden: Blackwell.
- Ray, B. A. (1969). Selective attention: the effects of combining stimuli which control incompatible behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *12*, 539-550.
- Rehkämper, G., Frahm, H. D., & Mann, M. D. (2001). Evolutionary constraints of large telencephala. In: G. Roth, & M. F. Wullimann (Eds.), *Brain evolution and cognition* (pp. 265-293). New York: Wiley und Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Rehkämper, G., Kart, E., Frahm, H. D., & Werner, Ch. W. (2003). Discontinuous variability of brain composition among domestic chicken breeds. *Brain, Behavior, and Evolution*, *61*, 59-69.
- Requate, H. (1959). Federhauben bei Vögeln. Eine genetische und entwicklungsphysiologische Studie zum Problem der Parallelbildung. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie*, *162*, 191-313.
- 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*, Vol. 2, current research and theory (pp. 64-99). New York: Appleton-Century-Crofts.

- Reynolds, G. S. (1961). Attention in pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 4, 203-208.
- Riley, D. A., & Roitblat, H. L. (1978). Selective attention and related cognitive processes in pigeons. In S. H. Hulse, H. Fowler, & W. K. Honig (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior* (pp. 249-276). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Roitblat, H. L., & von Fersen, L. (1992). Comparative cognition: representations and processes in learning and memory. *Annual Review of Psychology*, 43, 671-710.
- Rumbaugh, E. S., Sevcik, R. A., Rumbaugh, D. M., & Rubert E. (1985). The capacity of animals to acquire language: Do species differences have anything to say to us? *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*, 308, 177-185.
- Salomon, F.-V. (1993). *Lehrbuch der Geflügelanatomie*. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Schjelderup-Ebbe, T. (1922). Beiträge zur Sozialpsychologie des Haushuhns. *Zeitschrift für Psychologie*, 88, 225-252.
- Schorr, A. (1999). Behaviorismus und Neobehaviorismus. In: H. E. Lück, & R. Miller (Eds.), *Illustrierte Geschichte der Psychologie*, 2. Aufl. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schubert, M., Lachnit, H., Francucci, S., & Giurfa, M. (2002). Nonelemental visual learning in honeybees. *Animal Behaviour*, 64, 175-184.
- Shanks, D. R. (1995). *The psychology of associative learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shepard, R. N. (1987). Toward a universal law of generalization for psychological science. *Science*, 237, 1317-1323.
- Shepard, R. N. (1991). Integrality versus separability of stimulus dimensions: from an early convergence of evidence to a proposed theoretical basis. In: G. R. Lockhead, & J. R. Pomerantz (Eds.), *The perception of structure: essays in honor of Wendell R. Garner* (pp. 53-71). Washington: American Psychological Association.
- Shettleworth, S. J. (1998). *Cognition, evolution, and behavior*. Oxford: Oxford University Press.

- Siegel, S., & Allan, L. G. (1996). The widespread influence of the Rescorla-Wagner model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 314-321.
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: an experimental analysis*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Skinner, B. F. (1950). Are theories of learning necessary? *Psychological Review*, 57, 193-216.
- Skinner, B. F. (1977). Why I am not a cognitive psychologist. *Behaviorism*, 5, 1-10.
- Smith, L. B., & Evans, P. (1989). Similarity, identity, and dimensions: Perceptual classification in children and adults. In: B. E. Shepp, & S. Ballesteros (Eds.), *Object perception: structure and process* (pp. 325-356). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Staddon, J. E. R. (2001). *The new behaviorism: mind, mechanism, and society*. Philadelphia, PA: Psychology Press.
- Staddon, J. E. R., & Zanutto, B. S. (1998). In praise of parsimony. In: C. D. L. Wynne, & J. E. R. Staddon (Eds.), *Models of action: mechanisms for adaptive behavior* (pp. 239-267). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Starck, D. (1982). *Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere*. Berlin: Springer-Verlag.
- Stevens, S. S. (1975). *Psychophysics*. New York: Wiley.
- Sutherland, N. S., & Mackintosh, N. J. (1971). *Mechanisms of animal discrimination learning*. New York: Academic Press.
- Tinbergen, N. (1950). *The Herring Gull's world*. London: Oxford University Press (Deutsche Übersetzung: *Die Welt der Silbermöwe*, 1958, Musterschmidt-Verlag, Göttingen).
- Tinbergen, N. (1953). *The study of instinct*. London: Oxford University Press. (Deutsche Übersetzung: *Instinktlehre*, 1972, Paul Parey, Berlin).
- Uttal, W. R. (1998). *Toward a new behaviorism: the case against perceptual reductionism*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Uttal, W. R. (2000). *The war between mentalism and behaviorism*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Uttal, W. R. (2001). *The new phrenology: the limits of localizing cognitive processes in the brain*. Cambridge: MIT Press.

- Vallortigara, G., & Zanforlin, M. (1989). Place and object learning in chicks (*Gallus gallus domesticus*). *Journal of Comparative Psychology*, *103*, 201-209.
- Vallortigara, G., Zanforlin, M., & Compostella, S. (1990). Perceptual organization in animal learning: cues or objects? *Ethology*, *85*, 89-102.
- Van Essen, D. C., Felleman, D. J., DeYoe, E. A., Olavarria, J., & Knierim, J. J. (1990). Modular and hierarchical organization of extrastriate visual cortex in the macaque monkey. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, *55*, 679-696.
- von Frisch, K. (1927). *Aus dem Leben der Bienen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Wachowitz, S., & Ewert, J.-P. (1996). A key by which the toad's visual system gets access to the domain of prey. *Physiology and Behavior*, *60*, 877-887.
- Wagner, A. R. (1981). SOP: a model of automatic memory processing in animal behavior. In: N. E. Spear, & R. R. Miller (Eds.), *Information processing in animals: memory mechanisms* (pp. 5-47). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wagner, A. R. (2003). Context-sensitive elemental theory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *56B*, 7-29.
- Wagner, A. R., Brandon, S. E. (2001). A componential theory of Pavlovian conditioning. In: R. R. Mowrer, & S. B. Klein (Eds.), *Handbook of contemporary learning theories* (pp. 23-64). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wagner, A. R., & Rescorla, R. A. (1972). Inhibition in Pavlovian conditioning: application of a theory. In: M. S. Halliday, & R. A. Boakes (Eds.), *Inhibition and learning* (pp. 301-336). San Diego: Academic Press.
- Ward, T. B. (1983). Response tempo and separable-integral responding: evidence for an integral-to-separable processing sequence in visual perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*, 103-112.
- Wasserman, E. A., & Astley, S. L. (1994). A behavioral analysis of concepts: its application to pigeons and children. *Psychology of Learning and Motivation*, *31*, 73-132.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, *20*, 158-177.
- Watson, J. B. (1919). *Psychology from the standpoint of a behaviorist*. Philadelphia: Lippincott.
- Watson, J. B. (1924). *Behaviorism*. New York: Norton.

- Werner, C. W., & Rehkämper, G. (1999). Discrimination of multidimensional geometrical figures by chickens: categorization and pattern-learning. *Animal Cognition*, 2, 27-40.
- Werner, C. W., & Rehkämper, G. (2001). Categorization of multidimensional geometrical figures by chickens (*Gallus gallus* f. domestica): fit of basic assumptions from exemplar, feature, and prototype theory. *Animal Cognition*, 4, 37-48.
- Werner, C. W., Tiemann, I., Cnotka, J., & Rehkämper, G. (im Druck). Do chickens (*Gallus gallus* f. domestica) decompose visual figures? *Animal Cognition*.
- Wright, A. A. (1992). The study of animal cognitive processes. In: W. Honig, & G. Fetterman (Eds.), *Cognitive aspects of stimulus control* (pp. 225-241). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wynne, C. D. L. (2001) *Animal cognition: the mental lives of animals*. Houndmills: Palgrave.
- Zahavi, A. (1975). Mate selection - a selection for a handicap. *Journal of Theoretical Biology*, 53, 205-214.
- Zahavi, A., & Zahavi, A. (1997). *The handicap-principle: a missing piece of Darwin's puzzle*. New York: Oxford University Press.
- Zangwill, O. L. (1963). Lashley's concept of cerebral mass action. In W. H. Thorpe, & O. L. Zangwill (Eds.), *Current problems in animal behaviour* (pp. 59-86). Cambridge: University Press.
- Zayan, R., & Vauclair, J. (1998). Categories as paradigms for comparative cognition. *Behavioural Processes*, 42, 87-99.
- Zentall, T. R. (im Druck). Configural/holistic processing or differential element versus compound similarity. *Animal Cognition*.
- Zentall, T. R., & Riley, D. A. (2000). Selective attention in animal discrimination learning. *Journal of General Psychology*, 127, 45-66.
- Zentall, T. R., Galizio, M., & Critchfield, T. S. (2002). Categorization, concept learning, and behavior analysis: an introduction. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 78, 237-248.
- Zuk, M., Johnson, K., Thornhill, R., & Ligon, J. D. (1990a). Mechanisms of female choice in red jungle fowl. *Evolution*, 44, 477-485.

- Zuk, M., Johnson, K., Thornhill, R., & Ligon, J. D. (1990b). Parasites and male ornaments in free-ranging and captive red jungle fowl. *Behaviour*, *114*, 232-248.
- Zuk, M., Ligon, J. D., & Thornhill, R. (1992). Effects of experimental manipulation of male secondary sex characters on female mate preference in red jungle fowl. *Animal Behaviour*, *44*, 999-1006.
- Zuk, M., Thornhill, R., Ligon, J. D., & Johnson, K. (1990c). Parasites and mate choice in red jungle fowl. *American Zoologist*, *30*, 235-244.