

Prof. Dr. Robert Gaschler

Biologische Psychologie und Allgemeine Psychologie II: Lernen, Motivation, Emotion

**kultur- und
sozialwissenschaften**

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der FernUniversität reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhalt

Zum Autor	5
Biologische Psychologie – Überblick über das Lehrmaterial	8
Biologische Psychologie – Anregungen zur Einordnung	9
Biologische Psychologie – Lernziele und Empfehlungen zum Vorgehen	19
Einordnungen zum Thema Lernen	20
Mot.-Emo.-Vl. 1 – Einstieg	59
Mot.-Emo.-Vl. 2 – Intrinsische Motivation / Flow	85
Mot.-Emo.-Vl. 3 – Leistungsmotivation / Training	109
Mot.-Emo.-Vl. 4 – Motivation/Volition, Rubikon-Modell	133
Mot.-Emo.-Vl. 5 – Ziele auswählen und umsetzen	165
Mot.-Emo.-Vl. 6 – Attribution	190
Mot.-Emo.-Vl. 7 – Emotionen: Erleben, Physiologie & Interpretation	209
Mot.-Emo.-Vl. 8 – Emotionsausdruck	230
Mot.-Emo.-Vl. 9 – Emotion & neuronale Grundlagen	272
Mot.-Emo.-Vl. 10 – Stress	296
Mot.-Emo.-Vl. 11 – Emotionales Konditionieren, Preparedness	317

Dieser Studienbrief enthält:

- Einordnungen zur Biologischen Psychologie
- Einordnungen zum Thema Lernen
- Die Vorlesungsfolien und Kommentare der Vorlesung Motivation-Emotion.

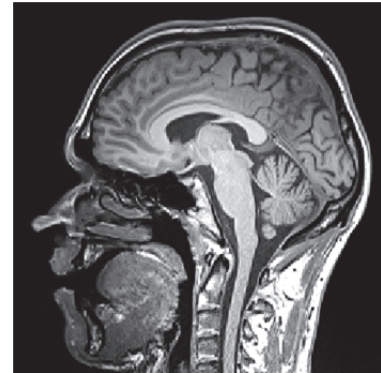
Die Inhalte des Studienbriefs sind prüfungsrelevant. Eventuelle Ausnahmen werden in Moodle gelistet. Für die Bearbeitung des Moduls ist die Moodle-Plattform wesentlich.

Das Material im Studienbrief weist (absichtlich) Redundanzen auf. Beispielsweise werden einige Themen innerhalb Vorlesungsreihe wiederholt. Zudem überlappen die Einordnungen zum Thema Lernen teilweise mit Inhalten von Vorlesungen.

Die Vorlesungsfolien der Vorlesung Motivations- und Emotionspsychologie sind um Erläuterungen und Kommentare ergänzt. Dafür wurden zum Teil die mündlichen Erläuterungen aufgeschrieben (vielen Dank an Claudia Krause und Iris Marx für die Hilfe dabei) und geglättet (oft nur geringfügig). Das Skript ist als Ergänzung bzw. Alternative zu den Vorlesungsvideos und den beigelegten Folien gedacht. Das Herausschreiben mündlicher Erläuterungen führt vermutlich an vielen Stellen zu stilistisch problematischen Ergebnissen. Ich hoffe, die Vorteile dieses Skriptes trösten über die meisten der Unzulänglichkeiten hinweg. Die Möglichkeit für einen Austausch über das hier erprobte Format sowie ein Fehlerforum gibt es in Moodle. *Robert Gaschler*

Zum Autor

Prof. Dr. Robert Gaschler ist seit April 2015 Professor für *Allgemeine Psychologie: Lernen, Motivation, Emotion* an der FernUniversität in Hagen. Davor war er Junior-Professor an der Universität Koblenz Landau. Als Kognitionspsychologe ist er seit seiner Promotion an der Humboldt-Universität Berlin (2009, zur Frage wie Menschen es lernen und schaffen, irrelevante Aspekte von Reizen zu ignorieren) an Forschungsprojekten in den Kognitiven Neurowissenschaften beteiligt. Einige Arbeiten sollen im Folgenden skizziert werden (nicht prüfungsrelevant!), um einen Eindruck zu vermitteln, wie die Erfassung von physiologischen Parametern dazu beitragen kann, konkurrierende Kognitionspsychologische Theorien besser gegeneinander zu testen, als dies mit Verhaltensmaßen (z.B. Reaktionszeiten, Fehler, Augenbewegungsmessung) allein möglich gewesen wäre.



[Test-Scan 3-Tesla fMRI (strukturelles Bild), Juli 2011, Proband: R. Gaschler; Durchführung V. Ludwig]

1. Die Untersuchung von Kemper et al. (2012) prüft Unterschiede zwischen Stimulus-Erwartungen, die vorgegeben sind vs. frei generiert werden (so als wenn man entweder gesagt bekommt, dass nun wahrscheinlich die Münze nach dem Wurf Zahl zeigt vs. man diese Vermutung selbst bildet). Die Stärke und Wirkung von unterschiedlichen Arten von Erwartungen (selbst generiert vs. vorgegeben) kann man mittels Reaktionszeiten und Fehler-Daten nur sehr indirekt vergleichen, denn in den Reaktionszeiten und Fehlern sind nicht die Spuren der Erwartungen sichtbar, sondern die Spuren ihrer späteren Erfüllung vs. Enttäuschung (also mehr Fehler oder Reaktionszeitverlangsamungen, wenn die Erwartung nicht erfüllt wird, im Vergleich dazu, dass sie erfüllt wird). Im Elektroenzephalogramm können jedoch mit sehr hoher zeitlicher Auflösung Spuren der Erwartung gemessen werden, noch bevor sie erfüllt oder enttäuscht wird (Überblick über Studien mit Verhaltens- und physiologischen Maßen zum Thema: Gaschler et al. 2014).
2. In der Studie von Paschke et al. (2015) wurde mit funktioneller Magnetresonanztomographie untersucht, wie sich unterschiedliche Varianten von monetär induzierter Motivation (versuchen Geld zu gewinnen vs. versuchen, vorgestrecktes Geld nicht zu verlieren) darauf auswirken, auf welchem von mehreren möglichen Wegen, Hirnstrukturen die Kontrolle der Bearbeitung von Aufgaben wechselnder Schwierigkeit [https://en.wikipedia.org/wiki/Eriksen_flanker_task] sicherstellen. Möglich ist dies entweder durch flexible Anpassung des Aufwands für jeden Reiz nach Bedarf oder durch generelle Erhöhung des Aufwands für alle Reize, egal ob der aktuelle Reiz einen besonderen Kontrollaufwand erfordert oder nicht). Diese Anpassung der Aufgabebearbeitung und Kontrolle wäre mit Reaktionszeit und Fehler-Daten allein weniger leicht und eindeutig zu bestimmen. Kontrolliert wird, dass man sich von

störender Information nicht ablenken lässt, passende Kontextinformation jedoch flexibel nutzt.

3. Die Untersuchung von Schuck et al (2015) prüft mittels funktioneller Magnetresonanztomographie, ob und wie sich Repräsentationen von Aufgaben spontan durch Lernen ändern können. Durch Instruktionen werden Repräsentationen von Aufgaben in präfrontalen Arealen gebildet (da ist z.B. abgelegt bzw. verknüpft, auf welche visuellen Merkmale mit welcher Reaktion geantwortet werden soll). Schuck et al. bringen die folgende Alltagssituation ins Labor: Wir wurden instruiert, an der Ampel auf die Farbe zu achten. Die Ampel-Situation kann als eine Aufgabe verstanden werden, bei der es darum geht, eine zur Farbe passende Reaktion auszuführen. Wir können jedoch lernen (und gerade für Menschen mit Farbschwäche kann das die Performanz verbessern), dass auch die Position des Lichtes eine Reaktionsauswahl ermöglicht. In unserer Umwelt gibt es eine Korrelation zwischen Farbe und Position. Rot ist oben. Schuck et al. haben im Experiment das spontane Erlernen und Nutzen eines anfangs irrelevanten Stimulusmerkmals untersucht. Dabei war klar (und weniger interessant), dass sowohl Farbe als auch Position im visuellen Kortex verarbeitet werden. Interessant war, wann im Übungsverlauf welches dieser Merkmale auch präfrontal repräsentiert wird (also in der neuronalen Repräsentation davon, was die Aufgabenstellung ist, enthalten ist). Das Ampelbeispiel wurde umgedreht. Die Teilnehmer/innen wurden instruiert, auf die Position von Reizen zu reagieren. Die Musterklassifizierung der fMRI-Daten zeigte entsprechend, dass nach der Instruktion (auf die Stimulusposition zu reagieren) in präfrontalen Arealen die Position der Stimuli repräsentiert wird. Nach einigen zufälligen Durchgängen korrelierte jedoch die Position mit der Farbe (so wie bei der Ampel). Einige Teilnehmer/innen erlernten diesen Zusammenhang und nutzten ihn spontan. Die fMRI-Ergebnisse legen nahe, dass sie die Nutzung des alternativen Stimulusmerkmals zunächst ohne Verhaltensänderung mental durchspielten (was in Verhaltensdaten nicht sichtbar gewesen wäre). Zudem wurde nun das Stimulusmerkmal Farbe präfrontal repräsentiert, was am Anfang des Experimentes nicht der Fall gewesen war (und mit Verhaltensmaßen allein schwer nachweisbar gewesen wäre).

Quellen:

Gaschler, R.*, Schwager, S.*, Umbach, V. J., Frensch, P. A. , & Schubert, T. (2014). Expectation mismatch: Differences between self-generated and cue-induced expectations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *46*, 139-157. doi:10.1016/j.neubiorev.2014.06.009 [*shared first authorship].

Kemper, M., Umbach, V. J., Schwager, S., Gaschler, R., Frensch, P. A., & Stürmer, B. (2012). Stronger effects of self-generated vs. cue-induced expectations in event-related potentials. *Frontiers in Psychology*, *Vol. 3*, Art. 562. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00562 [pdf frei online verfügbar]

Paschke, L. M.*, Walter, H.*, Steimke, R., Ludwig, V. U., Gaschler, R., Schubert, T., Stelzel, C. (2015). Motivation by potential gains and losses affects control processes via different mechanisms

in the attentional network. *NeuroImage*, 111, 549-561, doi:10.1016/j.neuroimage.2015.02.047; * shared first authorship

Schuck, N. W., Gaschler, R., Wenke, D., Heinzle, J., Frensch, P. A., Haynes, J.-D., & Reuber, C. (2015). Medial prefrontal cortex predicts internally driven strategy shifts. *Neuron*, 86, 1–10. doi: 10.1016/j.neuron.2015.03.015

[featured in Princeton Journal Watch: <https://blogs.princeton.edu/research/2015/03/27/when-attention-is-a-deficit-how-the-brain-switches-strategies-to-find-better-solutions-neuron/>]

Biologische Psychologie – Überblick über das Lehrmaterial

Es werden verschiedene Materialien und Formate kombiniert: ein elektronisch verfügbares Lehrbuch mit Lernhilfen, kommentierte Linksammlung in Moodle, Moodle-Diskussion und Video-Zusammenfassungen.

Wesentliche und für die Prüfung relevante Grundlage sind einige Abschnitte des Lehrbuches Biologische Psychologie (Birbaumer & Schmidt, 2010, 7. Auflage, aus dem FernUni-Netz als PDF verfügbar, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-95938-0>).

Die folgenden Abschnitte sind prüfungsrelevant (eventuelle Ausnahmen werden in Moodle bekannt gegeben).

Prüfungsrelevante Abschnitte aus Birbaumer & Schmidt (2010)

2.3 Bausteine des Nervensystems, S. 23-30

3 Erregungsbildung und Erregungsleitung, S. 34-46

4 Synaptische Erregung und Hemmung, S. 50-69

5 Funktionelle Anatomie des Nervensystems, S. 72-98

8 Psychoneuroendokrinologie, S. 142-155

9 Psychoneuroimmunologie, S. 167-181

20 Methoden der Biologischen Psychologie, S. 460-492

Zu diesen Abschnitten gibt es in Moodle eine kommentierte Linksammlung. Prüfungsrelevant sind die o.g. Inhalte im Lehrbuch. Das Material in der Linksammlung illustriert/vertieft diese Inhalte. Die Links sollen also (a) dazu dienen, den Prüfungsstoff im Lehrbuch besser lernen zu können, weil er zusätzlich aus einer anderen Perspektive dargestellt wird und (b) Optionen für die interessen geleitete Vertiefung bieten.

Zusätzlich kann beim Lernen auf die vom Verlag zur Verfügung gestellten Fragen, Karteikarten, usw. zurückgegriffen werden. Diese sind unter <http://www.lehrbuch-psychologie.de/> zu finden (man muss das Buch herausuchen).

Fragen die bei der Erarbeitung des Stoffes aufkommen, können in den jeweils passenden Moodle-Foren gestellt werden. Neben der Diskussion (untereinander und mit den Lehrenden) in den Foren, wird es kurze Videobeiträge zur Diskussion geben.

Biologische Psychologie – Anregungen zur Einordnung

Im Folgenden werden einige Einordnungen zur Biologischen Psychologie gegeben. Die Einordnungen sind prüfungsrelevant, die gelisteten Links und Literatur-Quellen sind nicht prüfungsrelevant.

Bio – was ist gemeint?

- **Leben, eben.** Biologie ist (u.a. der Wortbedeutung nach) die Wissenschaft vom Leben. Was genau jedoch die notwendigen und hinreichenden Merkmale von Leben sind, ist nicht völlig klar. So schreibt z.B. Claus Emmeche (1994, S. 39): „Heute herrscht keineswegs Einigkeit darüber, was eigentlich Gegenstand der Biologie ist und jede biologische Schule hat ihre eigene Definition von Leben und damit ihre eigene Betrachtungsweise. Er stellt (in Anlehnung an Carl Sagan, 1943-1973) einige Definitionen vor, von denen hier einige zusammengefasst sind.
 - Nach der *physiologischen Definition* verfügt ein lebendes System „...über Funktionen wie Nahrungsaufnahme, Metabolismus (Stoffwechsel), Ausscheidung, Atmung, Bewegung, Wachstum, Vermehrung...“ und zeichne sich dadurch aus, dass es auf Stimulation reagiere. Emmeche merkt an, dass diese Definition zu Schwierigkeiten führe, weil z.B. viele der Merkmale auf Systeme zutreffen, denen in der Regel kein Leben zugesprochen wird (z.B. Autos). Andererseits würden einige der Merkmale von als lebend angesehenen Systemen nicht in typischer Weise erfüllt (z.B. Bakterien die keinen Sauerstoff atmen).
 - Nach der *Stoffwechsel-Definition*, sei ein lebendes System nach außen abgegrenzt und tausche Stoffe mit der Umgebung aus. Trotz Metabolismus bleiben wesentliche Eigenschaften erhalten. Emmeche merkt an, dass u.a. auch ein Wirbel in einem Fluss Stoffe mit der Umgebung austausche und dabei dennoch seine Organisation beibehalte.
 - Die *genetische Definition* betrachte Leben auf Populationsebene. Leben läge dann vor, wenn ein System aus Einheiten (Organismen) bestünde, die sich reproduzierten und (Erb)information über die Beschaffenheit des Phänotyps an die nächste Generation weitergäben (wobei Mutation möglich sein muss und Rekombination möglich sein kann). Nach dieser Definition fielen verschiedene Varianten von Artificial Life [https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliches_Leben] unter die Definition von Leben.
 - Nach der *thermodynamischen Definition* sei Leben eine Eigenschaft mancher offener Systeme, die Energie mit der Umgebung austauschen. Spezifischer könne dabei Entropie abnehmen, d.h. Ordnung könne im Organismus zunehmen – wobei nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik die

Ordnung im Gesamtsystem (Organismus + Umwelt) abnimmt. Eine Amöbe fräße sozusagen Ordnung und gäbe ungeordnete Energie an die Umwelt ab. Sie nähme Stoffe höherer Ordnung (Energie) auf bzw. entzöge ihnen die Ordnung/Energie, um die Organisation ihres eigenen Organismus zu bewahren. Das gesamte Ökosystem des Planeten funktioniere nach diesem System. Der geordnete Input sei das Sonnenlicht. Der ungeordnete Output sei Wärme, die in den Weltraum abgestrahlt werde. Problematisch an der Definition sei, dass auch Systeme, denen wir in der Regel kein Leben zuschreiben, beim Durchfluss von Energie geordnete Muster erzeugen würden (z.B. könne Öl mit Gewürzpulver in der Pfanne Zirkulation in bienenwabenartigen Mustern zeigen).

- **Seele.** Die Psychologie als (der Wortbedeutung nach) Wissenschaft von der Seele ist also nicht allein mit Schwierigkeiten in der Definition ihres Forschungsgegenstandes. Interessanterweise überlappen die beiden Konzepte Seele und Leben in dem frühen und bis heute einflussreiche Definitionsversuch von Aristoteles (*de anima*, ca. 350 BC) stark: „We resume our inquiry from a fresh starting-point by calling attention to the fact that what has soul in it differs from what has not, in that the former displays life“ (Buch 2, Kapitel 2, Absatz 2; u.a. baut die auf Brentano, 1874, zurückgehende Forschungslinie stark darauf auf). Bei Aristoteles wird zwischen Pflanzenseele (Ernährung und Fortpflanzung), Tierseele (zusätzlich Empfinden und Bewegen) und Menschenseele (zusätzlich Denken und Wollen) unterschieden. Die Unterscheidung von Tierseele und Menschenseele war u.a. im Zusammenhang mit den Versuchen, die Leistungen des Klugen Hans [https://de.wikipedia.org/wiki/Kluger_Hans] experimentell zu bestimmen, Gegenstand heftiger empirischer Auseinandersetzungen (Pfungst, 1907; Zusammenfassung u.a. Prinz, 2006). U.a. durch die Verbreitung der Evolutionstheorie schien eine kategorische qualitative Unterscheidung zwischen der Seelentätigkeit von Menschen und anderen hochentwickelten Tieren fragwürdig.

Quellen:

- Aristotle. (ca. 350 BC). *De anima* (J. A. Smith, Trans.). Originally published in Ross, W. D. (Ed.) (1930). *The works of Aristotle* (vol. 3). Oxford: Clarendon Press. [Volltext: <http://psychclassics.yorku.ca/Aristotle/De-anima/index.htm> --auch deutsche Übersetzungen online zu finden]
- Brentano, F. C. (1874). *Psychologie vom empirischen Standpunkt*. Duncker & Humblot, Leipzig. [Volltext u.a. hier: <https://archive.org/details/psychologievome02brengoog>]
- Emmeche, C. (1994). *Das Lebende Spiel – Wie die Natur Formen erzeugt*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.

Pfungst, O. (1907). *Das Pferd des Herrn von Osten (Der Kluge Hans). Ein Beitrag zur experimentellen Tier- und Menschen-Psychologie*. Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig. [Volltext unter dem Wikipedia-Eintrag verlinkt]

Prinz, W. (2006). Messung kontra Augenschein: Oskar Pfungst untersucht den Klugen Hans. *Psychologische Rundschau*, 57(2), 106-111. [Vollext: http://pubman.mpdl.mpg.de/pubman/item/escidoc:724327:3/component/escidoc:724326/prinz_messung_kontra_augenschein.pdf]

Inwiefern waren die biologischen Grundlagen in der Entwicklung des Faches Psychologie wichtig? [Teils zusammenhängende Schlaglichter]

- **Debatte alt & neu.** Vielleicht sollte vor dem Hintergrund aktueller (fachpolitischer & inhaltlicher) Diskussionen um das Verhältnis zwischen Psychologie und Neurowissenschaften (z.B. Hommel, 2010; Jäncke, 2010; Jäncke & Petermann, 2010; Mausfeld, 2010; Pawlik, 2010; Walter, 2004) darauf hingewiesen werden, dass diese Auseinandersetzung nicht neu ist. So schreibt Brentano (1874, S.83): „Nicht bloss das Hinweggeben der psychologischen Untersuchung für die physiologische, auch die Beimischung der letzteren in bedeutendem Umfange scheint wenig rätlich. Es gibt bis zur Stunde überhaupt nur wenige gesicherte Thatsachen der Physiologie, welche auf die psychischen Erscheinungen Licht zu werfen geeignet sind.“ Der Modulabschnitt Biologische Psychologie soll die Argumentation stützen, dass diese Einschätzung für den aktuellen Forschungsstand nicht durchgängig zutreffend ist.
- **Quereinsteiger.** Es kann zunächst verwundern, dass heute der Beginn der modernen Psychologie oft an der Gründung des Leipziger Labors durch Wilhelm Wundt im Jahr 1879 festgemacht wird. Schließlich hatte die Psychologie schon ab 1824 in Preußen und dann in vielen anderen Staaten eine Blüte erreicht (was die *Quantität* der Lehrveranstaltungen und Bücher angeht). Wie u.a. von Gundlach (z.B. 2004a) berichtet, war Psychologie ab 1824 in Preußen und bald in vielen anderen Staaten Prüfungsfach für angehende Gymnasiallehrer. Entsprechend groß ist die Anzahl damaliger Lehrbücher der Psychologie, die man auch heute noch antiquarisch erwerben kann. Die Veranstaltungen wurden durch die Philosophischen Fakultäten der Universitäten verantwortet. Impulse zur (in Abgrenzung von der Philosophie) eigenständigen (empirischen, an Naturwissenschaften orientierten) Forschung und Lehre bekam das Fach durch Quereinsteiger wie Wundt. Er war Quereinsteiger aus der Physiologie in denjenigen Teilbereich Philosophie hinein, der sich mit dem Geist beschäftigt. Die erste von ihm in Leipzig gegründete Zeitschrift zur Publikation der Forschungsergebnisse des Labors hieß dementsprechend *Philosophische Studien* (vgl. Gundlach, 2004b; 2014). Wundt [https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Wundt] hatte zuvor mit der Arbeit *Untersuchungen über das Verhalten der Nerven in entzündeten und degenerierten Organen* in der Medizin promoviert. Als Assistent von Hermann von

Helmholtz unterrichtete er Medizinstudenten im Praktikum und hielt Vorlesungen zur Physiologie.

- **Strukturalismus vs. Funktionalismus.** Während Wundt einerseits die Psychologie näher an die biologischen Grundlagen rückte (was zur Erreichung der Eigenständigkeit des Faches – Loslösung von der Philosophie beitrug), war die Position von Wundt und Schülern [Übersicht z.B. hier: <http://neurotree.org/neurotree/tree.php?pid=147>] hinsichtlich eines anderen Aspektes weniger nah an den biologischen Grundlagen. Um 1900 wurde darum gestritten, ob der Zugang zur Psychologie ein *strukturalistischer* (z.B. Wundt-Schüler Titchener, 1898) oder *funktionalistischer* (z.B. James, 1879 oder Angell, 1907) sein solle. In beiden Fällen war der Gegenstand der Psychologie auf das Bewusstsein beschränkt. Die strukturalistische Strömung bemühte sich darum, zunächst die Elemente des Bewusstseins zu bestimmen und hielt die Frage nach deren Funktion für nachrangig. Die funktionalistische Strömung hingegen machte geltend, dass man über die Elemente des Bewusstseins kaum etwas herausfinden könne, wenn man nicht (zuerst) nach deren Funktion frage. Eine Möglichkeit sich den Unterschied in der Vorgehensweisen zu veranschaulichen ist das Cola-Automaten Beispiel (ich habe das aus der Vorlesung von Prof. Frensch im Wintersemester 1998 an der HU-Berlin übernommen): Die strukturalistische Herangehensweise an die Frage „Was habe ich den hier?“ würde darin bestehen, den Cola-Automaten in die Einzelteile zu zerlegen und diese zu vermessen und auszuzählen. Die funktionalistische Herangehensweise würde darin bestehen, zu prüfen, wie der Automat auf Umwelteinflüsse reagiert, also welchen Output er bei welchem Input gibt. Die funktionalistische Strömung machte insbesondere geltend, dass es relevant sei, welche Anpassungsleistungen an die Umwelt (nicht gefressen werden, verschiedene Berufspläne durchdenken, etc.) das Bewusstsein möglich mache. Die verallgemeinerte Funktion sei also Anpassung an die Umwelt. Hier finden sich frühe Vorarbeiten zur aktuellen Evolutionären Psychologie [[https://de.wikipedia.org/wiki/Evolutionäre Psychologie](https://de.wikipedia.org/wiki/Evolutionäre_Psychologie)].
- **Strukturalismus vs. Behaviorismus.** Die Behavioristen (z.B. Watson, 1913) übernahmen den Fokus auf Interaktion des Organismus mit der Umwelt bzw. der Anpassung an die Umwelt von den primär an Bewusstseinsinhalte interessierten Funktionalisten¹. Nun war jedoch Verhalten statt Bewusstsein der Forschungsgegenstand

¹ Die weibliche Form bei der Benennung der Mitglieder der Strömung/en wäre leider kaum zutreffend. Offiziell anerkannte Beiträge von Frauen zur Forschung waren rar. Diejenigen, die einen Beitrag leisteten, mussten für dessen Anerkennung streiten. Wohl prominentester Fall: Gegen großen (durch ihr Geschlecht motivierten) Widerstand gelang es Mary Whiton Calkins für ihre Forschungsarbeiten (betreut durch Hugo Münsterberg, vorher Zusammenarbeit mit William James) die Promotion zu erlangen und schließlich Präsidentin der *American Psychological Association* zu werden. https://en.wikipedia.org/wiki/Mary_Whiton_Calkins Calkins, M. W. (1906). A reconciliation between structural and functional psychology. *Psychological Review*, 8, 61-81. [Calkins' APA Presidential Address: <http://psychclassics.yorku.ca/Calkins/reconciliation.htm>]

und es wurde in Forschung und Anwendung auch mit Tieren gearbeitet. Die Behavioristen stellten explizit heraus, dass es nun endlich auch Anwendung gäbe, wohingegen die Suche nach den Elementen des Bewusstseins hinsichtlich Theorie und Anwendung ergebnislos geblieben sei. U.a. die Tierdressur für Hollywood erschütterte später jedoch auch die Grundannahme des Behaviorismus, dass Lernen für verschiedene Kombinationen von Stimuli und für verschiedene Organismen im Wesentlichen gleich abläuft (wird im Modulabschnitt *Motivation, Emotion, Lernen* diskutiert; Breland & Breland, 1961). Der Bezug zur Biologie wird in der Debatte zwischen Strukturalismus und Behaviorismus abermals explizit. Titchener (1914) macht geltend, dass die Forschungsrichtung der Behavioristen sicher ihren Wert habe, aber eben der Biologie zuzurechnen sei, da sich die Psychologie ja mit Bewusstseinsinhalten beschäftige.

- **Konnektionismus.** Die Entwicklung des Konnektionismus ist ein weiteres Beispiel für das Wechselspiel zwischen psychologischer Theoriebildung und biologischen Grundlagen (z.B. Gallistel & King, 2009; die hier wiedergegebene Zusammenfassung ist eine bearbeitete Variante von Gaschler, 2016). Mentale Phänomene werden in der Strömung des Konnektionismus als emergente Eigenschaften in einem Netzwerk aus einfachen Einheiten verstanden. In konnektionistischen Netzwerken (auch bezeichnet als künstliche neuronale Netze oder als parallel verteilte Prozessmodelle, PDP) sind simulierte Neuronen in Schichten angeordnet (z.B. input layer, hidden layer, output layer). Durch Lernen verändern sich die Verbindungsstärken zwischen den simulierten Neuronen, sodass z.B. verschiedene Reize korrekt in vorgegebene Antwortklassen sortiert werden können. Berechnungen und Speichern laufen parallel und verteilt ab. Explizite Regeln und Symbole werden vermieden. Stattdessen bestehen Repräsentationen aus Aktivierungsmustern im Netzwerk. Die sind auch robust, wenn einzelne Neurone ausfallen. Das gleiche Netzwerk kann viele verschiedene Muster speichern. Konnektionistische Netzwerke können beeindruckende Ergebnisse erzeugen. Z.B. haben Sejnowski und Rosenberg schon 1986 NETtalk vorgestellt, das mit Training zunehmend besser in der Lage ist, einen engl. Text in gesprochene Sprache umzuwandeln [Tonbeispiel: <http://www.cnl.salk.edu/Media/nettalk.mp3>]. Konnektionistische Netzwerke können Verhalten produzieren, das Regeln gehorcht (denen der engl. Aussprache), ohne explizit Regeln zu benutzen. Gallistel und King (2009) argumentieren, dass es eine wechselseitige Stützung zwischen Konnektionismus und dem Konzept der Assoziation gibt, das seit über 100 Jahren (oft stark unterspezifiziert) in der Psychologie genutzt wird.
-

Quellen:

- Angell, J. R. (1907). The province of functional psychology. *Psychological Review*, 14, 61-91. [Volltext: <http://psychclassics.yorku.ca/Angell/functional.htm>]
- Breland, K. & Breland, M. (1961). The misbehavior of organisms. *American Psychologist*, 16, 681-684.
- Brentano, F. C. (1874). *Psychologie vom empirischen Standpunkt*. Duncker & Humblot, Leipzig. [Volltext u.a. hier: <https://archive.org/details/psychologievome02brengoog>]
- Gallistel, C. R. & King, A. P. (2009). *Memory and the computational brain: Why cognitive science will transform neuroscience*. New York: Wiley/Blackwell. [Volltext im FernUni-Netz: <https://ub-proxy.fernuni-hagen.de/login?url=http://site.ebrary.com/lib/fuhagen/docDetail.action?docID=11115875>]
- Gaschler, R. (2016). Gehirnmetapher/Konnektionismus. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch – Lexikon der Psychologie*. Abgerufen am 19.06.2016, von <https://portal-hogrefe-com.ub-proxy.fernuni-hagen.de/dorsch/gehirnmetapherkonnektionismus/> [Volltext aus dem FernUni-Netz]
- Gundlach, H. (2004a). Die Lage der Psychologie um 1900. *Psychologische Rundschau*, 55(Supplementum 1), 2-11.
- Gundlach, H. (2004b). Philosophische Studien, der befremdliche Titel der ersten Zeitschrift für experimentelle Psychologie. In A. Kämmerer & J. Funke (Hrsg.), *Seelenlandschaften. Streifzüge durch die Psychologie. 98 persönliche Positionen* (S. 172-173). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Gundlach, H. (2014). Metamorphosen der Psychologie zwischen 1860 und 1989 und deren Reflexe in den Akademien zu Leipzig, Berlin und Halle. *Acta Historica Leopoldina*, 64, 217-241.
- Hommel, B. (2010). Die Neurowissenschaften als Herausforderung und Chance der Psychologie. *Psychologische Rundschau*, 61, 199–202.
- James, W. (1879). Are we automata? *Mind*, 4, 1-22. [Volltext: <http://psychclassics.yorku.ca/James/automata.htm>]
- Jäncke, L. (2010). Hirnforschung: sinnvolle Ergänzung oder überflüssiges Anhängsel der Psychologie? *Psychologische Rundschau*, 61, 191–198.
- Jäncke, L. & Petermann, F. (2010). Zum Verhältnis von Biologie und Psychologie. *Psychologische Rundschau*, 61, 175–179.
- Mausfeld, R. (2010). Psychologie, Biologie, kognitive Neurowissenschaften - Zur gegenwärtigen Dominanz neuroreduktionistischer Positionen und zu ihren stillschweigenden Grundannahmen. *Psychologische Rundschau*, 61, 180–190.
- Pawlik, K. (2010). Biologische Psychologie ist mehr als Neuropsychologie. *Psychologische Rundschau*, 61, 206–209.
- Titchener, E. B. (1898). The postulates of a structural psychology. *Philosophical Review*, 7, 449-465. [Volltext: <http://psychclassics.yorku.ca/Titchener/structuralism.htm>]
- Titchener, Edward B. (1914). On "Psychology as the behaviorist views it". *Proceedings of the American Philosophical Society*, 53, 1-17. [Volltext: <http://psychclassics.yorku.ca/Titchener/watson.htm>]

Walter, H. (2004). Willensfreiheit, Verantwortlichkeit und Neurowissenschaft. *Psychologische Rundschau*, 55, 169–177.

Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, 20, 158-177. [Volltext: <http://psychclassics.yorku.ca/Watson/views.htm>]

Nach welchen Erklärungen suchen wir?

- **Gesetze vs. Mechanismen.** U.a. bedingt durch die starke Orientierung an der Physik, die bei der Etablierung des Faches vorlag (z.B. Lewin, 1930; Wundt, 1897) schien in der psychologischen Forschung die Suche nach Gesetzmäßigkeiten zumindest vordergründig prioritär (Simon, 1990; Teigen, 2002). Lewin führe z.B. das Fallgesetz [https://de.wikipedia.org/wiki/Freier_Fall] als für die Psychologie lehrreiches Beispiel an, um deutlich zu machen, wie der Kern von Zusammenhängen erfasst und mathematisch beschrieben werden kann. Mit Gesetzmäßigkeiten ist die mathematische Beschreibungen der Relation von beteiligten Variablen gemeint, beispielsweise dass Weber-Fechner-Gesetz [<https://de.wikipedia.org/wiki/Weber-Fechner-Gesetz> ; Kubovy & van den Berg, 2008, wäre ein Bsp. für aktuellere Forschung]. Allerdings wird vielfach argumentiert (z.B. Bechtel, 2008; Craver, 2007), dass bei genauerer Betrachtung in der Psychologie (so wie auch in der Biologie oder Medizin) in den allermeisten Fällen nach *Mechanismen* gesucht wird (und weniger nach Gesetzen, die sich als mathematische Relation beschreiben lassen). Man könnte sogar vermuten, dass die Stärkung des Bezugs zu den biologischen Grundlagen der Psychologie diese Forschungsperspektive in der Psychologie gestärkt hat. Bei Erklärungen auf der Ebene von Mechanismen wird beschrieben, welche Faktoren auf welchem Weg (teils in Kaskaden) zu welchen Veränderungen führen [z.B. A hemmt B, C aktiviert A, D blockiert A]. Mechanistische Erklärungen benennen und nutzen Elemente, Operationen und Organisation [[https://en.wikipedia.org/wiki/Mechanism_\(biology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mechanism_(biology))].
- Es folgen einige (nicht prüfungsrelevante) Beispiele zur Verdeutlichung des Unterschiedes zwischen Gesetz und Mechanismen. Beispielsweise expliziert das Weber-Gesetz, dass es ein konstantes Verhältnis zwischen der Intensität eines Reizes und der Größe derjenigen Intensitätsveränderung gibt, die notwendig ist, dass sie als Veränderung wahrgenommen wird. Das Gesetz sagt (im Gegensatz zu einer auf Mechanismen basierenden Erklärung) jedoch nichts dazu, auf welchem Wege dieses konstante Verhältnis zu Stande kommt. Das Potenzgesetz der Übung (weiteres Beispiel) expliziert, dass sich im Übungsverlauf (X-Achse) die Performanz (Y-Achse, z.B. % korrekte Antworten oder Reaktionszeiten) mit einer negativ-beschleunigten Potenzfunktion verändert (d.h., große Übungsgewinne in den ersten Übungsdurchgängen, kleinere Zuwächse in späteren Übungsdurchgängen; Erläuterungen & Gra-

fiken z.B. in Gaschler et al. 2014). Wodurch dieser mathematische Zusammenhang entsteht, ist in dem Gesetz nicht direkt enthalten. Es gibt jedoch auf unterschiedlichen Mechanismen des Gedächtnisabrufs und der Veränderung von Gedächtnisinhalten durch Übung beruhende Theorien, die solch eine negativ-beschleunigte Potenzfunktion vorhersagen (also mit Mechanismen erklären, warum das Potenzgesetz der Übung zutreffen soll). Allerdings gibt es andere Theorien, die auf anderen Spezifikationen dieser Mechanismen des Gedächtnisabrufs und der Veränderung von Gedächtnisinhalten beruhen, die eine negativ-beschleunigte Exponentialfunktion vorhersagen. Die Evidenz der letzten zwei Jahrzehnte spricht eher für letztere.

Quellen:

Bechtel, W. (2008). *Mental mechanisms: Philosophical perspectives on cognitive neuroscience*. London: Routledge.

Craver, C.F. (2007). *Explaining the brain: Mechanisms and the mosaic unity of neuroscience*. Clarendon Press: Oxford.

Gaschler, R., Progscha, J., Smallbone, K., Ram, N., & Bilalic, M. (2014). Playing off the curve – Testing quantitative predictions of skill acquisition theories in development of chess performance. *Frontiers in Psychology*, 5:923. [Volltext:

<http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fpsyg.2014.00923/abstract>]

Kubovy, M. & Van den Berg, M. (2008). The whole is equal to the sum of its parts: A probabilistic model of grouping by proximity and similarity in regular patterns. *Psychological Review*, 115(1), 131–154

Lewin, K. (1930). Der Übergang von der aristotelischen zur galileischen Denkweise in Biologie und Psychologie. *Erkenntnis*, 1, 421-466. [Scan der Original-Arbeit über <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00208633>; Variante in neuem Layout: <http://www.th-hoffmann.eu/archiv/lewin/lewin.1931.pdf>]

Simon, H. A. (1990). Invariants of human behavior. *Annual Review of Psychology*, 41, 1-19.

Teigen, K. H. (2002). One hundred years of laws in psychology. *The American Journal of Psychology*, 115(1), 103.

Wundt, W. M. (1896/1897). *Outlines of psychology* (Charles Hubbard Judd, Trans.). [Volltext: <http://psychclassics.yorku.ca/Wundt/Outlines/>].

Welche Zugänge gibt es prinzipiell?

- **Synthese vs. Analyse.** Braitenberg (1993) macht geltend, dass in der Forschung Analyse oft ungleich schwerer sei als Synthese. Sein Buch stellt ein Gedankenexperiment dar. Es gibt jedoch viele Realisierungsversuche [<https://de.wikipedia.org/wiki/Braitenberg-Vehikel>]. Braitenberg zeigt, dass schon auf wenigen und simplen Bauteilen basierende „Vehikel“ Verhalten zeigen können,

das als komplex wahrgenommen wird und das menschliche Beobachter/innen dazu verleiten kann, den Vehikeln mentale Eigenschaften zuzuschreiben (z.B. Ziele, Präferenzen, Flucht, Aggression, usw.). Die Interpretationen implizieren dabei häufig de facto in der Architektur gar nicht umgesetzte Merkmale (z.B. Gedächtnis). Während Braitenberg weiß, welche Elemente wie verbaut worden sind (*Synthetischer Zugang*) ist die *Analyse* eines komplexen Forschungsgegenstandes, den man nicht selbst „zusammengebastelt“ hat (z.B. das menschliche Gehirn) ungleich schwerer. Die Forschungsstrategie (u.a. in den Computational Neurosciences [https://de.wikipedia.org/wiki/Computational Neuroscience](https://de.wikipedia.org/wiki/Computational_Neuroscience) oder der Synthetischen Biologie [https://de.wikipedia.org/wiki/Synthetische Biologie](https://de.wikipedia.org/wiki/Synthetische_Biologie)) besteht in der geschickten Kombination von Synthese und Analyse. Als Analogie aus dem Alltag kann man sich vorstellen, dass es für viele Menschen schwer ist, die Bestandteile einer Suppe am Geschmack der Suppe zu erkennen. Als Strategie bleibt also, Hypothesen darüber zu bilden, aus welchen Bestandteilen die Suppe gekocht worden sein könnte. Man versucht also, die Suppe nachzukochen. Wenn die nachgekochte Suppe wie das Original schmeckt, dann ist es möglich (aber leider nicht sicher), dass man die Zutaten herausbekommen hat. Wenn das Ergebnis nicht (so) schmeckt, dann weiß man, dass man falsche / nicht alle Zutaten genommen hat (oder beim Prozess etwas verkehrt gemacht hat).

- **Ebenen nach D. Marr.** Wie in der Einführungsvorlesung des Modulabschnittes *Motivation, Emotion, Lernen* besprochen, werden Forschungsfragen in der Psychologie auf sehr unterschiedlichen Ebenen bearbeitet [[https://de.wikipedia.org/wiki/David Marr](https://de.wikipedia.org/wiki/David_Marr); Gallistel & King, 2009]. Zum Teil verbinden Forschungsvorhaben mehrere dieser Ebenen.
 - Man kann einerseits fragen, welche Anpassungsleistung durch ein psychisches Phänomen erreicht werden (Wozu wird gerechnet?).
 - Man kann² fragen, welche Repräsentationen und welche Prozesse (also Veränderungen von Repräsentationen) relevant sind (Welche Rechenprozesse laufen ab?).
 - Schließlich kann man fragen, wie diese Repräsentationen und Veränderungen auf physikalischer Ebene stattfinden (Was rechnet wie?).

² Zumindest wäre das im Rahmen des Informationsverarbeitungsansatzes / der Kognitionspsychologie naheliegender; Zusammenfassung z.B. Gaschler, 2016)

Gaschler, R. (2016). Informationsverarbeitungssystem. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch – Lexikon der Psychologie*. Abgerufen am 19.06.2016, von <https://portal-hogrefe-com.ub-proxy.fernuni-hagen.de/dorsch/informationsverarbeitungssystem/> [Volltext aus dem FernUni-Netz]

Quellen:

Braitenberg, V. (1993). *Vehikel – Experimente mit kybernetischen Wesen*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg. [Es gibt online Volltexte der englischsprachigen Originalausgabe und von deutschen Ausgaben, z.B. <https://kybernetik-simulator.googlecode.com/files/braitenberg.pdf>]

Gallistel, C. R. & King, A. P. (2009). *Memory and the computational brain: Why cognitive science will transform neuroscience*. New York: Wiley/Blackwell. [Volltext aus dem FernUni-Netz: <https://ub-proxy.fernuni-hagen.de/login?url=http://site.ebrary.com/lib/fuhagen/docDetail.action?docID=11115875>]

Biologische Psychologie – Lernziele und Empfehlungen zum Vorgehen

Prüfungsrelevant sind zwei Teile:

- Der Abschnitt *Biologische Psychologie – Anregungen zur Einordnung* (s.o.).
- Die (s.o.) als prüfungsrelevant gelisteten Abschnitte des Lehrbuches von Birbaumer & Schmidt (2010)

Diese Texte sollten zunächst gründlich gelesen werden. Es gibt zur Biologischen Psychologie und zu den biologischen Grundlagen der Psychologie ganz sicher viel mehr relevantes und interessantes Material als im Rahmen des Modulabschnittes behandelt werden kann. Zudem handelt es sich zum Teil um methodisch und theoretisch sehr stark ausdifferenzierte (bzw. spezialisierte) Forschungsstränge. Einen kohärenten Vorschlag zur Auswahl und eine kompakte Darstellung dieser Grundlagen liefert das Lehrbuch von Birbaumer & Schmidt (2010). Zum (elektronisch verfügbaren) Lehrbuch gibt es (wie oben erläutert) online-Lernhilfen. Für offene Fragen sind die nach Themen untergliederten Moodle-Foren da. Die begleitend zur Verfügung gestellten Linksammlungen dienen der interessengeleiteten Vertiefung. Sie können aber auch hilfreich sein, wenn sich der Kern eines der oft sehr kompakt dargestellten Inhalte nicht leicht erschließt. Oft hilft dann, eine Erläuterung oder Zusammenfassung aus anderer Perspektive.

Die im Lehrmaterial (Studienbrief + Buchabschnitte + Moodle) angegebenen Quellen (und Links) sind also nicht prüfungsrelevant, können und sollen jedoch dabei helfen, die prüfungsrelevanten Inhalte zu erarbeiten.

Das Lehrmaterial enthält (u.a. in den Abbildungen) auch Details, die als Vertiefungsthema interessant sein können, für den jeweiligen Gegenstand aber nicht zentral sind (z.B. in der Abbildung vorkommen, im Text aber nicht genutzt/genannt werden). Welche Aspekte zentral(er) sind und welche nicht, kann man oft erst durch die Erarbeitung des Stoffes verstehen. Zudem bieten die online vom Verlag begleitend zum Lehrbuch zur Verfügung gestellten Fragen und anderen Lernhilfen (s.o.) nützliche Anhaltspunkte. Außerdem werden vor der Klausur exemplarisch Fragen aus dem Pool möglicher Klausurfragen in Moodle zur Verfügung gestellt.

Einordnungen zum Thema Lernen

Der folgende Abschnitt hat das Ziel, Forschungsfragen, Methoden und Theorie-Perspektiven vorzustellen, die für die Forschung zu Lernen relevant sind. Der Fokus liegt dabei auf dem Klassischen Konditionieren und Operanten Konditionieren, da die damit verbundenen Methoden, Konzepte, Begriffe und Ergebnisse in Grundlagenforschung (inkl. Kognitive Neurowissenschaften) und anwendungsorientierter Forschung (z.B. Suchtforschung) besonders relevant sind.

Sich an die Zukunft anpassen – sich die Zukunft anpassen

Eine Frage, die viele Themen des Moduls verbindet ist die, warum wir ein schweres und energiefressendes Gehirn mit uns herumtragen. Unser Gehirn ist schwer und nutzt einen beträchtlichen Teil der Energie, die wir durch Nahrung zu uns nehmen. Zu der Frage, danach, welcher evolutionäre Anpassungsvorteil diesen Kosten gegenübersteht, hat schon William James (1879) einen Beitrag geleistet. Er stellte heraus, dass wir mögliche Varianten von Zukunft (z.B. den einen oder anderen Beruf ergreifen) in unserem Bewusstsein durchspielen könnten – was deutlich Zeit- und Energiesparender ist, als (viele) dieser Varianten durch Umsetzung zu erproben. Aktuelle Arbeiten erweitern deutlich den Umfang dieser Perspektive. Während James und andere Psychologinnen dieser Zeit das Bewusstsein im Fokus hatte, wird Bewusstsein heute eher als Sonderfall denn als Hauptgegenstand der Psychologie behandelt. Bewusste Vorhersage ist eher der Sonderfall. Vorhersage ist allgegenwärtig und wesentliche Funktion des Gehirns (z.B. Clark, 2013). Clark beschreibt das Gehirn als „Vorhersagemaschine“. Eingehende sensorische Stimulation wird mit den Vorhersagen abgeglichen die höhere Hirnareale liefern (z.B. V1 vs. höhere visuelle Areale). Unterschiede zwischen der eingehenden Stimulation und der Erwartung werden auf zwei Arten behandelt: Durch Lernen wird die Vorhersage angepasst. Durch Muskelkontraktion wird die eingehende Stimulation an die Vorhersage angepasst. Die Umwelt wird also an die Vorhersagen angepasst. Nach neuer Lesart werden Vorhersagen vor allem dann bewusst, wenn sie nicht zutreffen. Wenn der Ball beim Tischtennispielen so von der Platte wegspringt, wie vorhergesagt, dann wird nicht bewusst, dass wir schon lange vor dem Aufprall die Kelle in die Position gebracht haben, zu der hin er nach dem Aufprall reflektiert werden sollte. Das unbemerkte Steinchen auf der Platte lenkt den Ball ab und macht uns bewusst, dass wir nicht darauf reagieren, wo der Ball ist, sondern darauf, wo er nach unserer Vorhersage hinfliegen wird. Man kann den Eindruck bekommen, dass wir den Ball nicht dort sehen, wo er ist, sondern wo er (der Vorhersage nach) sein wird. Unser schweres und energiefressendes Gehirn erlaubt es uns, Anpassungen an die Umwelt schon zu initiieren, wenn erst Zeichen akuten Anpassungsbedarfs vorhanden sind (z.B. die Teetasse mit der Tischdecke erst bis zur Kante des Tisches gezogen wurde). Das macht Anpassungsleistungen möglich, die unmöglich wären, wenn sie erst bei akutem Anpassungsbedarf initiiert würden.

Woraus speisen sich die Vorhersagen? Die Fähigkeit zu Lernen, ist eine Gemeinsamkeit verschiedener Tierarten, der viele Unterschiede beispielsweise bei der Wahrnehmung und Motorik gegenüberstehen. Es gibt Tierarten mit extrem leistungsfähiger Farbwahrnehmung. Andere Tierarten sind blind. Manche Arten haben zwei Beine und wieder andere mehrere Dutzend Gliedmaßen zur Fortbewegung. Trotz der Unterschiede darin, wie sie die Welt wahrnehmen und wie sie sich in ihr bewegen, haben sie gemeinsam, dass sie ihr Verhaltenspotential erfahrungsbedingt verändern.

Kann man allgemeine Gesetzmäßigkeiten des Lernens beschreiben, die für so verschiedene Organismen wie *Aplysia*, Taube, Ratte und Mensch gelten? Wenn es solche Gesetze und Formen des Lernens gibt, die man immer wieder finden kann, dann kann man die verschiedenen Phänomene des Lernens besser verstehen und vorhersagen, unter welchen Umständen wie gelernt wird, also beispielsweise wie sich Lernen befördern oder verhindern lässt. Es ist denkbar, dass Menschen sowohl über die Formen des Lernens verfügen, die auch bei Seeschnecken zu finden sind, als auch noch über weitere Arten, Erfahrungen zur Änderung von Verhalten zu nutzen. Menschen können z.B. von der enormen Flexibilität Gebrauch machen, die die Sprache bei der Kodierung und Verknüpfung von Ereignissen gibt.

Im Folgenden sollen grundlegende Formen und Eigenschaften des Lernens vorgestellt werden die man bei Menschen und Tieren findet. Wie eingangs deutlich gemacht wird, sind Verhaltensänderungen die nahelegen, dass komplexe Lernvorgänge stattgefunden haben, manchmal auf einfache Lernvorgänge zurückzuführen. Diese können bei Menschen und Tieren einen großen Teil der Verhaltensänderungen erklären. Es ist also sinnvoll, mit diesen (vermeintlich) einfachen Lernvorgängen zu beginnen. Dies gilt auch für die experimentelle Erforschung von Lernen. Sie kann manchmal an Detektivarbeit erinnern. Während es oft leicht zu erkennen ist, *dass* etwas gelernt wurde, verlangt es einiges methodisches Geschick herauszufinden, *was* gelernt wurde.

In Detektivarbeit abklopfen, was genau gelernt wurde

Obwohl die Schlussfolgerung, *dass* gelernt wurde, oft leicht zu ziehen ist, stellt uns die Frage, *was* gelernt wurde oft vor spannende Rätsel. Hier soll ein historischer Fall (Gundlach, 2006; Pfungst, 1907; Prinz, 2006) beschrieben werden, der wegweisend dafür war, wie man Lernen erforscht und wie man Theorien über Lernen bildet. Um 1900 sorgte ein Pferd weit über den Berliner Hinterhof hinaus, in dem es lebte, für Aufsehen. Der pensionierter Mathematiklehrer Herr von Osten hatte durch jahrelangen Unterricht unter Einsatz vieler Mohrrüben zur Belohnung, einem Hengst beigebracht, auf komplizierte Fragen hin Bewegungen zu vollführen, aus denen die Fragesteller/innen die Antworten ablesen konnten. Zu Begutachtung des Falls bestellte Psychologen, Fachleute für die Arbeit mit Tieren im Zirkus und natürlich viele Laien staunten darüber, dass diese erstaunliche

Fertigkeit selbst Fragen einschloss, die spontan aus dem Publikum gestellt wurden. Beispielsweise fragte eine Besucherin einer der Demonstrationen von Hans' Fertigkeiten, wie viele Frauen im Publikum Hüte aufhätten. Hans klopfte diese Anzahl, aber führte auch die Anzahl Fußstritte aus, die zu den Teilern von 28 passten, wenn er danach gefragt wurde. Er vollführte auch die passende Anzahl von Fußritten auf Fragen wie „Ich denke mir eine Zahl. Ich ziehe davon 9 ab und behalte 3 übrig. Welche Zahl habe ich mir gedacht?“.

Wenn Fragen eine Zahl betrafen, dann klopfte das Pferd so oft mit dem rechten Vorderfuß auf den Boden, bis die Anzahl erreicht war. Dann stellte Hans den Huf mit einem Rücktritt wieder in Ausgangsstellung auf den Boden. Hans klopfte die passende Zahl wenn der Mathematiklehrer, Herr von Osten, dabei war und auch wenn er nicht dabei war. Hans gab Menschen die bereitwillig daran glaubten, dass er Zählen oder Rechnen konnte, die korrekte Anzahl Fußstritte auf ihre Frage zurück. Er produzierte aber auch dann die passende Anzahl von Fußritten, wenn er von Menschen untersucht wurde, die große Zweifel hatten, dass er denken könne und Wissen über Sprachen, Farben und Mathematik erworben hätte. Personen, die zu dem Berliner Hinterhof in der Griebenowstraße 10 gekommen waren, um endlich den Trick aufzudecken, überzeugten sich widerwillig davon, dass ihre Zweifel wohl unbegründet gewesen sein mussten. Die Fachleute, die u.a. mit normalen Tricks und Dressurmethoden bestens vertraut waren, mühten sich herauszufinden, wie dieses erstaunliche Verhalten möglich war, was dieses Pferd also gelernt hatte, was anderen Pferden und vielen Menschen offensichtlich nicht gelernt hatten. Zunächst konstatierten die Experten widerwillig (da keine andere Erklärung hinreichend durch Evidenz gestützt werden konnte) in einem Gutachten, dass das Pferd durch das langjährige Training mit dem Mathematiklehrer ungefähr die Intelligenz eines zwölfjährigen Kindes erreicht hätte und erstaunlicherweise Fragen beantworten konnte, die auch für Menschen eine Herausforderung gewesen wären.



Abbildung 1: Wilhelm von Osten mit dem Klugen Hans (um 1908)

https://de.wikipedia.org/wiki/Kluger_Hans#/media/File:Osten_und_Hans.jpg

Wie sah der Unterricht aus, den das Pferd erhalten hatte? Der Lehrer hatte vier Jahre lang täglich das Pferd unterrichtet und war dabei schrittweise und sehr systematisch vorgegangen. Er nutzte seine Erfahrung als Volksschullehrer und Hilfsmittel – für das Rechnenlehren beispielsweise eine Reihe von großen und kleinen Kegeln und eine Tafel mit den Ziffern von 1 bis 100, einen Abakus. Um das Pferd Rechnen zu lehren, versuchte Herr von Osten dem Pferd jeweils die Grundlagen für den nächsten Schritt im Umgang mit Zahlen beizubringen. Zunächst wurde ein Kegel vor das Pferd gestellt und geübt auf das Kommando „Fuß hoch! Eins!“ hin, den rechten Vorderfuß zu heben und einmal aufzutreten. Anfangs führte der Lehrer den Fuß dabei so, wie beim Schreibenlehren die Hand eines Schülers geführt wurde.

Mangels Bewegung auf dem Hinterhof unterlag das Pferd einer strengen Diät. Die Mohrrüben, die es sich durch Erfolge im Unterricht verdienen konnte, waren also eine wichtige Belohnung. Als das Pferd, das einmalige Treten sicher beherrschte, wurde ein zweiter Kegel hinzugegestellt, „Fuß hoch! Eins, Zwei“. Dann wurden drei Kegel aufgestellt. Während das Pferd anfangs vorgezählt bekam, wie viele Kegel zu sehen waren, wurde später nur noch die Zahl der Kegel genannt. Danach wurde die gewünschte Antwort nicht mehr vorgegeben sondern die Frage „Wie viele sind das“ gestellt. Das Addieren wurde geübt, in dem mit einem Lappen verdeckte Kegel sichtbar gemacht wurden „drei ist 2 und 1“. Der Lehrer arrangierte die Kegel und nannte die Teil- und Gesamtmenge. Nach einiger Übung klopfte das Pferd schließlich mit hoher Treffsicherheit die jeweilige Anzahl. Nach dem Addieren kleiner Zahlen wurde das Addieren großer Zahlen geübt. Es folgte das Subtrahieren, dann das kleine Einmaleins, und als dieses gut beherrscht wurde, das große Einmaleins und auch die Bruchrechnung. Der Lehrer ging schrittweise vor. Ihm blieb dadurch verborgen, dass Hans auch zu Fragen die richtige Anzahl hätte klopfen können, die im Unterricht noch nicht behandelt worden waren.

Hatte das Pferd also tatsächlich Rechnen gelernt? Letztlich wurde in einer Serie von Experimenten dann doch noch gezeigt, dass die Intelligenz des Pferdes wohl nicht darin bestand, die Fragen zu verstehen und zu beantworten. Vielmehr bestand sie darin, dass es ein Verhaltensmuster erlernt hatte, das ganz generell auf alle Fragen (situationen) passte, unabhängig von deren Inhalt (Pfungst, 1907). Dabei wurde auch herausgearbeitet und experimentell überprüft, wie dieses Verhalten erlernt wurde. In der ersten Experimentalserie wurde herausgearbeitet, auf welche Sinnesorgane sich Hans stützte. Es stellte sich heraus, dass Hans auch dann korrekt klopfen konnte, wenn er die Frage nicht hören konnte. Die richtige Anzahl von Fußritten steuerte Hans also nicht dadurch, dass er die Frage verstand und antwortete. Es war naheliegend zu prüfen, ob Hans dem Fragesteller ansehen konnte, wann er mit den Fußritten aufhören sollte. Wenn Hans den Fragesteller nicht sehen konnte, passte die Anzahl der Fußritte nicht mehr zur Frage, sondern war auf Zufallsniveau. Gleiches galt für den Fall, dass der Fragesteller selbst die Antwort nicht wusste. Es wurde

vermutet, dass Hans aus dem Verhalten des Fragestellers ableitete, wann das fortlaufende Klopfen mit dem Vorderfuß eingestellt werden sollte. Durch gezielte Beobachtung wurde schließlich entdeckt, auf welche Weise die Fragesteller unabsichtlich und unbewusst dem Pferd genau dann den Hinweisreiz gaben, mit dem Klopfen aufzuhören, wenn die korrekte Anzahl erreicht war.

Die Lösung zum Rätsel um den Klugen Hans lag darin, dass sich die Fragesteller/innen konzentrierten. Um prüfen zu können, ob er die korrekte Anzahl von Tritten gab, schauten sie auf seinen rechten Vorderfuß zählten gespannt mit, bis die Zahl erreicht war und sie sich entspannen konnten. Ein eigens entwickeltes Messgerät zur dreidimensionalen Bewegungsmessung bestätigte die Mutmaßung, dass Spannung und Entspannung dabei nicht metaphorisch blieben sondern körperlich wirkten. Wenn die korrekte Anzahl erreicht war, zeigten die Fragesteller/innen unabsichtlich und unbewusst einen minimalen Kopfruck, der das gespannte Herunterschauen auf den Fuß ablöste. Hans hatte gelernt, dass er dann anfangen musste, Fußtritte auszuführen wenn ihm jemand gegenüberstand und auf seinen Vorderfuß schaute und dass er das Klopfen genau dann einstellen musste, wenn der Kopfruck zu sehen war. Die Messapparatur bestätigte auch die zeitliche Reihenfolge (erst Kopfruck der/des Fragestellers/in, dann Rücktritt des Pferdes) und stützte damit die kausale Rolle des Kopfrucks beim Fragesteller/ der Fragestellerin für den direkt folgenden Rücktritt des Pferdes, der das Klopfen beendete.

Der Mathematiklehrer war mit dieser Interpretation der Fertigkeiten seines Pferdes sehr unglücklich, schließlich hatte er viele Jahre intensiver Beschäftigung mit Problemstellungen der Mathematik und anderer Schulfächer investiert. Er war überzeugt, dass sein Pferd die Fragen verstand und beantwortete. Der Lehrer hatte mit Hans also nicht gezielt einen Trick eingeübt sondern unabsichtlich die Umstände und Regelmäßigkeiten hergestellt, durch die Hans lernen konnte, was er tun musste um Möhren zu bekommen. Dieser Umstand macht es noch beeindruckender, dass Hans gelernt hatte, winzige, unwillkürlich und unbewusst ausgeführte Bewegungen bei Menschen zu erkennen und mit dem Verhalten zu reagieren, dass Möhren einbrachte.

Um zu demonstrieren, dass man das Rätsel um den Klugen Hans gelöst hatte, schlüpfte einer der Forscher, Oskar Pfungst, in einer zweiten Serie von Versuchen in die Rolle, die vormals das Pferd eingenommen hatte. Er bat Menschen, sich eine Zahl zu denken und klopfte mit der linken Hand auf die Tischplatte – so lange, bis er eine Entspannungsbewegung beim mitzählenden Fragesteller bemerkte. Dann hörte er auf und nannte zum Erstaunen der Fragesteller meist die korrekte Zahl. Das Nachstellen der bei Hans vermuteten Fertigkeiten im Labor war erfolgreich und damit waren die Erklärung für Hans' Erfolg gestützt. Zudem konnte auch demonstriert werden, dass die unwillkürlichen, unbewusst ausgeführten Bewegungen vom Fragesteller gezielt verändert werden konnten.

Ob jemand z.B. an „links“ oder „rechts“ dachte, offenbarte sich für den Fragesteller zunächst dadurch, dass die Person Kopf oder Augen leicht in die entsprechende Richtung bewegte. Der Fragesteller konnte nun, wenn er den Gedanken „links“ vermutete, seinen Arm heben und ihn senken, wenn die Bewegungen des Gegenübers auf den Gedanken „rechts“ schließen ließen. Durch diese Kopplung veränderten die Probanden unwillkürlich die Bewegungsmuster, durch die sie ihre Gedanken verrieten. Statt einer Bewegung nach links für den Gedanken „links“ wurde dann z.B. eine Bewegung nach oben vollführt. Die Zeichen, die sich Hans und Oskar Pfungst zunutze machten, waren also durch unbewusstes Lernen veränderbar.

Die Veränderbarkeit der unwillkürlichen Zeichen macht deutlich, dass man sich auch beim Menschen Lernen nicht unbedingt als einen gezielten, willentlichen Prozess vorstellen muss. Während man sich absichtlich eine Liste von Vokabeln vornimmt und Lernstrategien nutzt um die Wortpaare zu lernen, mag man gleichzeitig unbeabsichtigt und unbemerkt seine Fertigkeiten darin verbessern, einen auf Kippe stehenden Stuhl sitzend zu balancieren oder einen Bleistift mit zwei Fingern rotieren zu lassen. Beim Zahnarzt mag man unbeabsichtigt einen Zusammenhang zwischen dem Geruch des dort verwendeten Raumsprays und den Schmerzen erwerben. Später fühlt man sich dann bei ähnlichen Gerüchen in anderen Situationen unwohl und weiß womöglich nicht, wie es dazu kommt. Das Beispiel vom klugen Hans macht deutlich, dass es manchmal fast detektivisch anmutender Forschungsarbeit bedarf, um herauszufinden, was genau ein Organismus gelernt hat.

Einfache Zuordnungen von Hinweisreizen zu Reaktionen können Verhalten produzieren, das man fälschlich so interpretieren mag, dass ein komplexes Problem verstanden wurde. Kinder im zweiten Schuljahr können beispielsweise lernen, dass $7 + 2 - 2 = 7$ (z.B. Siegler & Stern, 1998) ergibt und dass das richtige Ergebnis bei $5 + 3 - 3 = 5$ lautet. Wenn Kinder auf die Addition und anschließende Subtraktion derselben Zahl verzichten, kann das verschiedene Gründe haben. Sie könnten lediglich gelernt haben, dass 7 und 5 die Lösungen genau dieser Aufgaben sind, die sie mehrmals durch Addieren und Subtrahieren erhalten haben. Die zu testende Vorhersage wäre: Wenn $6 + 4 - 4 = ?$ als neue Aufgabe eingeführt würde, dann würden die Kinder wieder subtrahieren und anschließend addieren. Ebenso wäre es möglich, dass die Kinder nach einer Reihe von Problemen der Struktur $X + Y - Y = ?$ gelernt haben, dass jeweils die erste Zahl die richtige Antwort darstellt. In dem Fall würden sie bei $2 + 7 - 2 = ?$ also möglicherweise „2“ antworten. Schließlich könnten sie gelernt haben, dass eine Gleichung nicht unbedingt als Rechenaufforderung verstanden werden sollte, sondern eine Aussage über Mengen darstellt. Ein Vergleich der Zahlen ergibt, dass die selbe Menge addiert wird, die auch subtrahiert wird, zwei der drei Zahlen sich also gegenseitig aufheben und die dritte stehen bleibt. Da eine Repräsentation erworben wurde, die die abstrakte Struktur der Aufgaben nutzen kann, sollten in diesem Fall alte, neue und umgestellte Aufgaben gleichermaßen gut gelöst werden können.

Menschen können also zum einen lernen, auf konkrete Reize die passenden Reaktionen zu produzieren. Sie können aber auch allgemeineres, abstrakteres Wissen erwerben, das dann hilft, die passende Reaktion flexibel auszuwählen. Es ist eine spannende und praktisch sehr relevante Frage, unter welchen Umständen Menschen lernen, basierend auf Hinweisreizen passendes Verhalten zu produzieren und wie man hingegen Lernsituationen gestalten muss, damit abstraktes Wissen erworben wird, das es ermöglicht eine Antwort auf die Aufgabe abzuleiten. Beispielsweise wurden in der Trends in International Mathematics and Science Study (https://de.wikipedia.org/wiki/Trends_in_International_Mathematics_and_Science_Study) Varianten von Mathematikunterricht international verglichen. Sollte man beispielsweise viel Zeit darauf verwenden, Übungsblätter mit Rechenaufgaben eines Typs zu bearbeiten, also beispielsweise viele Aufgaben, die die Umstellung nach X verlangen, hintereinander zu üben? Man könnte meinen, dass es sinnvoll ist, beispielsweise die Fertigkeit, nach X umzustellen zu üben, so dass sie schnell und präzise angewandt werden kann, damit man später darauf aufbauen kann, wenn es darum geht Sachprobleme mathematisch zu lösen. Alternativ könnte man von Anfang an üben, Sachprobleme zu lösen, bei denen das Umstellen nach X häufig eine Rolle spielt. Die Ergebnisse zeigten, dass es sinnvoll ist, im Unterricht viel Zeit auf das Lösen von Textaufgaben zu verwenden (z.B. Mayer, 2002). Die Lösung von Sachproblemen führte einerseits zu besseren Ergebnissen was das Verständnis der zugrunde liegenden mathematischen Strukturen angeht als Übung mit Übungsblättern, die isoliert und massiert Rechenaufgaben darbieten. Andererseits führten die Textaufgaben erstaunlicherweise zu ähnlich guten Ergebnissen, was das schnelle und sichere Beherrschen der Rechenabläufe angeht wie das direkte Üben dieser Rechenabläufe in isolierten Rechenaufgaben. Es stellte sich heraus, dass der wesentliche Vorteil der Sachaufgaben darin bestand, dass die korrekte Rechenregel erkannt und aus dem Gedächtnis rekonstruiert werden musste. Wenn dieselbe Rechenregel bei einer späteren Sachaufgabe wieder anwendbar war, musste das wiederum erkannt werden und sie musste wieder rekonstruiert werden. Durch das mehrmalige Auswählen und Rekonstruieren der Regel wurde die Repräsentation der Regel einerseits gestärkt und andererseits mit verschiedenen Kontexten (den Inhalten der jeweiligen Sachaufgaben) verknüpft. Man könnte sagen, die Regel „saß dann fest“. Bei repetitiven Übungsblättern mit isolierten Aufgaben hingegen, wurde immer wieder dieselbe Regel verlangt. Daher wurde diese nur einmal konstruiert und immer wieder angewandt. Da sich das Auswählen und (Re)konstruieren als wesentliche Gelegenheit zum Lernen herausstellte, führte der Mathematikunterricht mit Arbeitsblättern weder zu besonders robusten Fertigkeiten in der Anwendung der Rechenregel noch zu weitgehendem Verständnis darüber, wie und warum diese angewandt werden könnten.

Die einleitenden Beispiele haben gezeigt, dass Lernen beabsichtigt und unbeabsichtigt in vielen Situationen auftritt. Es ist schwer Beispiele zu finden, in denen sich das Verhalten

von Organismen nicht durch Erfahrung verändert. Ein Beispiel wären Reflexe. Ein Lidschlagreflex tritt auf, wenn sich ein Körper oder Luftstoß dem Auge nähert. Selbst dann, wenn viele Wiederholungen solch einer Reizung deutlich machen, dass dem Augen keine Gefahr droht, tritt der Reflex weiter auf.

Im weiteren Verlauf werden das Klassische Konditionieren und das Operante Konditionieren in den Fokus gestellt. Lernen als erfahrungsbedingte Veränderung von Verhalten(spotential) kann hinsichtlich der zu Grunde liegenden neuronalen Mechanismen und psychischen Prozesse sehr unterschiedliche Formen annehmen (vgl. Anderson, 2000; De Houwer, Vandorpe, & Beckers, 2005) und dennoch im Rahmen einer dieser beiden Perspektiven fassbar sein. Klassisches Konditionieren beim Menschen und bei Aplysia unterscheidet sich in den neuronalen Prozessen. Klassisches Konditionieren hat jedoch auch unterschiedliche Grundlagen innerhalb einer Tierart – beispielsweise wenn die beteiligten Stimuli bewusst repräsentiert werden oder aber unbewusst bleiben. Denkprozesse können zu sehr ähnlichen Änderungen von Verhalten(spotential) führen, wie das Knüpfen von Assoziationen. Es kann am Verhalten oft nur schwer abgelesen werden, ob ein Organismus einen Zusammenhang per Assoziation gelernt und/oder den Zusammenhang verstanden hat (De Houwer, Vandorpe, & Beckers, 2005). Forschung zum Klassischen und Operanten Konditionieren zeichnet sich dadurch aus, dass die Umstände für das Zustandekommen von Änderung von Verhalten(spotential) detailliert und mit geteilten Begriffen (Unkonditionierter Reiz, Konditionierter Reiz, usw.) erfasst werden. Der Rahmen passt sowohl für Änderung von Verhalten(spotential) durch Assoziationen als auch durch Denkprozesse. Es ist (u.a. auch für die Anwendungsorientierte Forschung, beispielsweise Suchtforschung) vorteilhaft, dass Forschungsergebnisse zu den Umständen und Ausmaß von Lernen so beschrieben sind, dass sie weiter genutzt werden können, selbst wenn sich die Interpretationen hinsichtlich der zugrundeliegenden psychischen Prozesse (z.B. Assoziation vs. Denken) ändern sollten oder über Jahrzehnte strittig bleiben sollten.

Assoziationen – Was trinkt die Kuh?

Wenn es darum geht, zu beschreiben, was gelernt wird, spielt der Begriff Assoziation (lat. Verbindung, Verknüpfung) häufig eine Rolle. Bereits Aristoteles nutzte dieses Konzept. Er beschrieb als wesentliche Bedingungen unter der zwei Gedächtnisinhalte miteinander verknüpft werden, dass sie gemeinsam im Bewusstsein vorhanden sein müssen (https://en.wikipedia.org/wiki/Laws_of_association). Wenn die Ereignisse, wie z.B. Blitz und Donner) in enger zeitlicher Nähe zueinander auftreten, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sie assoziiert werden. Außerdem kann die Ähnlichkeit der Ereignisse zueinander mit beeinflussen, ob sie miteinander assoziiert werden. Assoziationen führen dazu, dass dann, wenn eines der Elemente prozessiert wird, auch das andere erinnert wird. Assoziationen bilden ab, welche Dinge häufig gemeinsam auftreten oder gemeinsam genannt werden.

„Weiß“ wird häufig mit „Schnee“ assoziiert. Und auch die Frage „was trinkt die Kuh“ wird häufig mit „Milch“ geantwortet, weil „Kuh“ und „Milch“ viel häufiger zusammen genannt werden als „Kuh“ und „Wasser“. Schließlich stellen Menschen intuitiv zeitlichen Kontiguität her, in dem sie beim Vokabelnernen dafür sorgen, dass die zwei zu assoziierenden Wörter immer wieder in enger zeitlicher Nähe zueinander prozessiert werden. Die Forschung hat im Allgemeinen bestätigt, dass Ereignisse dann leichter miteinander assoziiert werden, wenn sie in unmittelbarer zeitlicher Nähe auftreten (Kontiguität). Trotzdem ist eine Kontiguität der Ereignisse weder notwendig noch hinreichend für Assoziationsbildung. Beispielsweise bilden sich Lebensmittel-Aversionen aus, obwohl zwischen Nahrungsaufnahme und Übelkeit Stunden vergangen sein können. Ratten und Menschen können trotzdem aus einer einzigen schlechten Erfahrung lernen, eine Nahrung zu meiden.

Wenn man die Frage stellt, ob Lernen grundsätzlich darin besteht, dass Elemente verknüpft werden, fällt auf, dass sich Verhalten erfahrungsbedingt auch dadurch ändern kann, dass die Übertragung von sensorischem Input auf die Motorik gehemmt wird. Diesen Lernvorgang, Habituation, findet man bei Einzellern aber auch bei Menschen. Im Gegensatz zur Assoziationsbildung werden weder Verknüpfungen gestärkt noch neu erstellt. Stellen Sie sich vor, Sie sitzen in einer Bibliothek und jemand öffnet die Tür. Sie werden vermutlich von Ihrem Buch aufschauen. Kommen jedoch immer wieder Leute in den Lesesaal, weil gerade eine Vorlesung zu Ende gegangen ist, werden Sie irgendwann nicht mehr auf die Störung reagieren. Nicht jede Abnahme einer Reaktion auf einen wiederholt auftretenden Stimulus ist Ausdruck von Lernen. Habituation ist beispielsweise nicht gegeben, wenn die Sinnesorgane vorübergehend insensitiv reagieren (nach einem lauten Konzert) oder wenn Muskeln erschöpft sind.

Im folgenden werden zwei Formen von Lernen genauer vorgestellt, die auf Assoziationsbildung beruhen. Sie liefern Erklärungen für viele Lernvorgänge im Alltag und Labor. Unter den Überschriften (a) Klassisches Konditionieren und (b) Operantes Konditionieren wurden viele verschiedene experimentelle Anordnungen und theoretische Interpretationen vorgestellt. Moderne Ansätze gehen davon aus, dass beim Klassischen Konditionieren eine Assoziation zwischen Ereignissen gebildet wird, die der Organismus erlebt. Operantes Konditionieren wird ebenfalls durch Assoziationsbildung zwischen Ereignissen erklärt. Allerdings ist eines der Ereignisse das Verhalten des Organismus. Es wird gelernt, welches Verhalten in welcher Situation welche Folgen hat.

Klassische Konditionierung – Klopfen statt Klingeln

Wer beim Zahnarzt, ein starkes Raumspray riecht, wird nach einer schmerzhaften Behandlung allein auf den Duft aversiv reagieren. Während der Duft vor der Behandlung keine Reaktionen auslöst, wird er nach der Behandlung beispielsweise zu beschleunigtem Herzschlag und feuchten Händen führen.

Klassische Konditionierung wurde um 1900 von dem russischen Physiologen Iwan Pawlow in Untersuchungen mit Hunden eher zufällig entdeckt (Anderson, 2000, https://en.wikipedia.org/wiki/Classical_conditioning). Pawlow war an der Physiologie der Verdauung interessiert. Dafür gab er einem Hund Fleischpulver in den Mund und maß den Speichelfluss. Er bemerkte, dass schon nach wenigen Durchgängen eine präzise Messung nicht mehr möglich war, weil der Hund schon dann anfang Speichel abzusondern, wenn der Experimentator erst den Raum betrat. Anscheinend fing der Speichelfluss schon an, wenn ein Ereignis ankündigte, dass es wahrscheinlich bald Fleischpulver geben würde. Um Essen zu können, war Speichel nötig. Je eher er verfügbar war, desto schneller konnten die Hunde essen. Pawlow stellte schließlich die Situation systematisch her, in der die Hunde den Zusammenhang von einem ankündigenden Ereignis und der Futtergabe lernen konnten. Immer wieder wurde vor der Futtergabe eine Glocke geläutet. Bald begann der Speichelfluss schon beim Glockenläuten während ursprünglich das Glockenläuten allein natürlich keinen Speichelfluss zur Folge gehabt hatte.

Der Speichelfluss wird als *Unkonditionierte Reaktion (UR)* bezeichnet. In vielen Fällen handelt es sich um einen angeborenen Reflex, also ein Verhalten, das, wenn die Auslösebedingungen zutreffen, automatisch gezeigt wird und das der Organismus nicht erlernen muss. Die Auslösebedingungen, in der Versuchsanordnung von Pawlow, also das Futter, nennt man *Unkonditionierten Stimulus (US)*. Während die beiden eben erwähnten Elemente der Lernsituation, die schon vor dem Lernen in Beziehung standen jeweils *unkonditioniert* heißen (wirken sozusagen ohne Bedingung – „without condition“ – dass es schon Gelegenheit zum Lernen gegeben hat), ist der Reiz, der erst nach dem Lernvorgang ein Verhaltensprogramm auslöst, der *Konditionierte Stimulus (CS)*; wirkt erst nach dem Lernen – sozusagen „with condition“). Das Verhalten, dass lernbedingt bei Darbietung des Konditionierten Reizes auftritt, wird als *Konditionierte Reaktion (CR)* bezeichnet. Die Konditionierte Reaktion und die Unkonditionierte Reaktion können sich unterscheiden (z.B. Einfrieren bei Hinweis auf Beutegreifer vs. Fluchtversuch bei Angriff des Greifvogels).

Moderne Theorien machen Klassisches Konditionieren davon abhängig, inwiefern der Konditionierte Stimulus Information über das zu erwartende Auftreten des Unkonditionierten Stimulus liefert (Pearce & Bouton, 2001; Rescorla, 1988). Wenn Konditionierter und Unkonditionierter Stimulus häufig gemeinsam und selten allein auftreten, dann kann der Konditionierte Stimulus den Unkonditionierten vorhersagen. Gleiches gilt, wenn die Kovarianz stattdessen negativ ist, der Unkonditionierte Stimulus also nie auftritt, wenn der Konditionierte dargeboten wurde. Häufiges gemeinsames Auftreten (hohe Kontiguität) ist also weder notwendig noch hinreichend für die Assoziationsbildung. Stattdessen kommt es darauf an, ob sich der Unkonditionierte basierend auf dem Auftreten oder Ausbleiben des Konditionierten Reizes vorhersagen lässt.

Die Anekdote von Pawlows Türschild mit der Aufschrift „Bitte Klopfen – nicht Läuten“ ist sicherlich erfunden. Gleiches dürfte für die Geschichte über eine Spielverzögerung im ersten Spiel der neuen Saison gelten, die ein Student dadurch produziert hat, dass er während der Spielpause einen Sommer lang jeden Tag mit einem schwarze Hemd bekleidet auf dem Rasen des Fußballstadions hin und her lief, in die Trillerpfeife blies und mit Vogelfutter um sich warf (https://www.reddit.com/r/Jokes/comments/3d0k4m/pavlovs_birds/). In der Werbung wird beispielsweise versucht, durch Bilder idyllischer Landschaften angenehme körperliche Zustände wie Entspannung hervorzurufen, die dann mit dem zu bewerbenden Produkt assoziiert werden. Man kann davon ausgehen, dass der Zusammenhang von Unkonditioniertem Reiz (Landschaft) und Konditioniertem Reiz (Produkt) unabsichtlich gelernt wird. Das trifft auch auf die Angstreaktion auf das Raumspray beim Zahnarzt zu. Sie ist zudem nicht hilfreich so dass sich die Frage stellt, wie Sie durch folgende Lernerfahrungen modifiziert werden kann. Eine einmal erworbene Konditionierte Reaktion verschwindet beispielsweise wieder, wenn der Konditionierte Stimulus wiederholt allein (ohne den Unkonditionierten Reiz) dargeboten wird (Löschung / Extinktion). Wenn man wiederholt das Raumspray ohne Schmerzen beim Bohren erlebt, wird die Angstreaktion nachlassen. Allerdings kann die Konditionierung bewirken, dass man genau die Situationen vermeidet (z.B. in dem man nicht mehr zum Zahnarzt geht), in denen man lernen könnte, dass Konditionierter und Unkonditionierter Reiz doch nicht oder doch nicht mehr zusammen auftreten. Das Augenmerk therapeutischer Intervention kann sich also darauf richten, überhaupt sicherzustellen, dass Patienten wieder mit dem Unkonditionierten Reiz konfrontiert werden.

Im Labor können die Reize nicht umgangen werden. Darum kann auch gelernt werden, dass sich der Zusammenhang von Konditioniertem und Unkonditioniertem Reiz verändert hat. Wenn die Hunde nach erfolgreichem Lernen die Glocke immer wieder hören, ohne dass danach Futter gegeben wird, dann wird die Speichelreaktion auf den Glockenton nachlassen. Diese Löschung einer Konditionierten Reaktion geht dann schneller von statten, wenn die Reaktion durch regelmäßige Paarung des Konditionierten mit dem Unkonditionierten Stimulus erfolgte. Wenn es also anfangs *immer* Futter nach dem Glockenton gibt, ist ein schneller Abfall der Speichelreaktion über die späteren Durchgänge hinweg zu erwarten, in denen kein Futter mehr gegeben wird, wenn die Glocke geläutet hat. Die Löschung sollte langsamer ablaufen, wenn anfangs nicht in 100% der Durchgänge Futter nach dem Glockenton dargeboten wurde, sondern zufällig in einem Teil der Durchgänge.

Generalisierung und Diskrimination – Merkmale des Konditionierten Reizes

Während in Laborsituationen weitgehend identische Reize immer wieder verwendet werden können, treten exakte Wiederholungen identischer Reize in der Natur kaum auf.

Jeder Apfel sieht etwas anders aus. Auch der Anblick einer Spinne wiederholt sich nicht exakt. Was passiert also mit einer konditionierten Reaktion, die mit einem Reiz erworben wurde, wenn ähnliche Reize wahrgenommen werden? Die konditionierte Reaktion tritt, wenn auch schwächer bzw. weniger zuverlässig, auch auf Reize hin auf, die dem konditionierten Reiz ähnlich sind. Man kann einen Generalisierungsgradienten bestimmen, der angibt, wie stark die konditionierte Reaktion abnimmt - in Abhängigkeit von der zunehmenden Unähnlichkeit des Reizes vom konditionierten Reiz. Wenn während einer Trainingsphase auf einen 1000-Hz-Ton hin ein Luftstoß in Richtung Auge folgt, dann wird der Lidschlagreflex konditioniert und tritt schon beim Ton auf. Wenn dann später die Frequenz variiert wird, wird deutlich, dass die Auftretenshäufigkeit der Lidschlagreaktion beim 1000-Hz-Ton maximal ist und mit zu- und abnehmender Frequenz abnimmt (vergl. Siegel, Hearst, George, & O'Neil, 1968 nach Anderson, 2000). Ähnlich tritt eine Generalisierung auch auf, wenn bei Menschen eine Konditionierung der Lidschlagreaktion auf einen Lichtreiz auf der rechten Seite durchgeführt wurde, der von einem Luftstoß gefolgt worden war. Wenn nach Erwerb der konditionierten Reaktion ein Lichtreiz auf der *linken* Seite auftaucht, dann kommt es zunächst ebenfalls zur Lidschlagreaktion, die Konditionierung hat also zu einer Assoziation von Lichtreiz und Luftstoß geführt, die die Position des Lichtreizes nicht maßgeblich berücksichtigt (Anderson, 2000).

Es ist jedoch nicht der Fall, dass mit zunehmender Übung die Bedingungen, unter denen eine Reaktion beobachtet wird, grundsätzlich immer breiter werden. Organismen können durch Übung auch zunehmend fein zwischen Reizen bzw. Reiz-Varianten differenzieren, wenn die sich in ihren Auswirkungen unterscheiden. Wenn auf den oben beschriebenen Generalisierungstest der Lidschlagreaktion sowohl Durchgänge mit Licht auf der linken als auch Durchgänge mit Licht auf der rechten Seite folgen, wobei Luftstöße immer nur nach einem Licht auf der rechten Seite auftritt, dann zeigt sich die Lidschlagreaktion bald nur noch bei Licht auf dieser Seite. Solange die Seite nicht variiert wird, scheint sie also kein wesentlicher Bestandteil der Reizsituation zu sein. Wenn dann jedoch Licht mal links und mal rechts dargeboten wird, dann wird die Seite der Lichtdarbietung Teil der Repräsentation des Reizes. Während die Personen also anfangs die konditionierte Reaktion generalisiert hatten und das Positionsmerkmal anfangs nicht Teil der Repräsentation des konditionierten Reizes war, änderte sich dies durch Diskriminationslernen. Konditionierte Reaktionen treten oft auf eine ganze Klasse von Reizen hin auf, nicht nur auf exakt die Reize, die beim Lernen präsent waren. Wenn unterscheidbare Reize jedoch unterschiedliche Folgen haben, können Organismen lernen, zwischen Reizen zu unterscheiden. Diskriminationslernen kann beispielsweise helfen, anfangs übergeneralisierte Furchtreaktionen so zu beschränken, dass sie nicht mehr in vielen Situationen (und meist unangemessen) auftreten.

Reizsubstitution? – Ersetzen oder Ankündigen

Welche Eigenschaften hat die Konditionierte Reaktion? Wenn die Hunde in Pawlows Experimenten immer wieder einen Glockenton hören, bevor das Futter gegeben wird, dann zeigen sie eine Speichelreaktion schon beim Glockenton. Diese Reaktion ist derjenigen Speichelreaktion sehr ähnlich, die auftritt, wenn tatsächlich Futter gereicht wird. Die konditionierte Lidschlussreaktion auf Licht oder Ton ist dem Lidschlussreflex ähnlich, der auch unkonditioniert auf einen Luftstoß erfolgen würde. Wirkt der Konditionierte Reiz also anstelle des Unkonditionierten Reizes (vgl. z.B. Anderson, 2000)? Man könnte beispielsweise annehmen, dass der Konditionierte Reiz dazu führt, dass die assoziierte Repräsentation des Unkonditionierten Reizes aktiviert wird, beispielsweise ein inneres Bild des Unkonditionierten Reizes. Diese Repräsentation könnte dann reflexhaft die Reaktion auf den Unkonditionierten Reiz auslösen, ohne dass dieser Reiz selbst dargeboten worden sein muss.

Alternativ kann man sich aber auch vorstellen, dass der Konditionierte Reiz den Unkonditionierten Reiz nicht ersetzt sondern dass er ihn ankündigt. Nach dieser Sichtweise wäre die Konditionierte Reaktion eine *Vorbereitung* auf den Unkonditionierten Stimulus, anstelle einer Reaktion auf ihn. Wenn eine Glocke Futter ankündigt, führen beide Sichtweisen zur gleichen Vorhersage, da Speicheln sowohl in Vorbereitung auf das Futter als auch bei Vorstellung oder Darbietung des Futters angemessen ist. Es gibt jedoch auch Beispiele von Konditionierten Reaktionen, die überhaupt nicht der Unkonditionierten Reaktion entsprechen. Ratten reagieren beispielsweise, wenn ein leichter Stromschlag *erfolgt* mit erhöhter Aktivität. Wenn jedoch ein Stromschlag durch einen konditionierten Reiz *angekündigt* wird, dann verfallen die Ratten in eine Starre (Rescorla, 1988). Die unkonditionierte Reaktion ist in diesem Fall also das Gegenteil der konditionierten Reaktion. Es ist also offensichtlich, dass sie nicht identisch sind und dass daher der konditionierte Reiz den unkonditionierten in dessen Rolle als Auslöser der unkonditionierten Reaktion nicht ersetzt. Man kann annehmen, dass die oben geschilderten gegensätzlichen Reaktionen jeweils adaptiv sind. Wenn man annimmt, dass ein Stromschlag auf Ratten ähnlich wirkt wie ein Fressfeind, bietet sich folgende Erklärung an (Anderson, 2000; Koch & Stahl, 2017): Starre wäre als konditionierte Reaktion ein angemessenes Verhalten auf den Anblick (konditionierter Stimulus) eines Fressfeindes, um Entdeckung zu vermeiden. Greift der Fressfeind aber an (unkonditionierter Reiz), ist erhöhte Aktivität bzw. Flucht (unkonditionierte Reaktion) hilfreich.

Reiz-Reiz Lernen beim klassischen Konditionieren

Welche Rolle spielt die Reaktion beim klassischen Konditionieren? Unsere bisherige Darstellung spricht dafür, dass eine Assoziation zwischen zwei Reizen, dem unkonditionierten und dem konditionierten, gebildet wird und damit die Antwort selbst also nicht Teil der Assoziation sein muss. Für diese Sichtweise sprechen verschiedene Befunde.

Light und Gantt (1936) zeigten, dass Klassisches Konditionieren auch stattfindet, wenn Reaktionen künstlich verhindert werden. Hunde, die wegen einer temporären Schädigung der motorischen Nervenbahnen ihre Pfote nicht zurückziehen konnten, wenn auf Summton hin wiederholt ein Stromschlag erfolgte, erlernten den Zusammenhang der beiden Reize dennoch. Nachdem die Pfote wieder beweglich war, trat das Zurückziehen jedoch auf, wenn der Summton zu hören war. Es muss also während des Lernvorganges keine Reaktion *ausgeführt* werden. Die Reaktion ist also für das Lernen nicht nötig. Man könnte jedoch argumentieren, dass die Auswahl oder Steuerung der Reaktion im Gehirn der für das Lernen relevante Aspekt der Reaktion ist und es folglich keine große Rolle spielen muss, dass die Reaktion nicht in der Motorik umgesetzt werden kann.

Es gibt jedoch außerdem Befunde, die zeigen, dass eine Reaktion die beim Klassischen Konditionieren erworben wurde nicht automatisch ausgeführt werden muss. Die Reaktion ist also weder nötig für das Lernen noch führt Lernen dazu, dass eine Konditionierte Reaktion zwingend ausgeführt wird, wenn der Konditionierte Reiz vorhanden ist. Viele Konditionierte Reaktionen werden nur ausgeführt wenn die Begleitumstände passen, der Konditionierte Reiz allein ist nicht hinreichend. Beispielsweise scheint es unmittelbar plausibel, dass satte Ratten, wenig Aktivität zeigen. Holland und Rescorla (1975) trainierten hungrige Ratten mit einer Anordnung in der ein Lichtreiz Futter ankündigte. Auf den Lichtreiz hin reagierten die Ratten mit erhöhter Aktivität. Jedoch nicht mehr nachdem sie ausgiebig fressen konnten. Allerdings hätte man, wenn der Konditionierte Reiz direkt mit der Reaktion assoziiert gewesen wäre, auch bei sattten Ratten erhöhte Aktivität nach Lichtreizen erwarten können.

Eine besonders elegante Versuchsanordnung zur Rolle der Reaktionen beim Klassischen Konditionierens kommt in der Lernphase ganz ohne Reaktionen aus. Beim sensorischen Vorkonditionieren (Rizley & Rescorla, 1972) werden zunächst zwei weitgehend neutrale Reize wiederholt zusammen dargeboten. Beispielsweise wird immer wieder ein Licht vor einem Ton dargeboten, ohne dass darauf reagiert werden sollte. Später wird der Ton eingespielt und daraufhin ein Schock in die Pfote verabreicht. Erwartungsgemäß führt danach der Ton allein ebenfalls zum Zurückziehen der Pfote. Interessanterweise wird die Pfote aber auch zurückgezogen, wenn das Licht allein erscheint, obwohl das Licht ja nie zusammen mit dem Schock auftrat sondern lediglich zusammen mit dem Ton. Wiederum zeigt sich also, dass beim Klassischen Konditionieren eher etwas über den Zusammenhang von Reizen gelernt wird, als über den Zusammenhang von Reizen und Reaktionen.

Konditionierte Reaktionen per Instruktion

Bei Menschen können Assoziationen zwischen Unkonditioniertem und Konditioniertem Reiz auf verschiedenen Wegen hergestellt werden. Die bisher vorgestellten Befunde lassen vermuten, dass man den Unkonditionierten und den Konditionierten Reiz

zusammen erleben muss, damit es zu Konditionierung kommt. Cook und Harris zeigten jedoch schon 1937 dass es jedoch genügt, darüber zu sprechen, welche Folge der Unkonditionierte Reiz haben wird. Sie maßen die Veränderung des elektrischen Widerstandes der Haut. Angstschweiß hat einen niedrigeren Widerstand als trockene Haut. Wenn Probanden darüber informiert wurden, dass ein Ton von einem leichten elektrischen Schock gefolgt würde, dann führte der Ton zu einer ähnliche Verringerung des Hautleitwiderstandes, wie sie als Reaktion zu messen wäre, wenn man tatsächlich Ton und Schock mehrfach miteinander paart. Obwohl Konditionierter und Unkonditionierter Reiz nie zusammen auftraten, löste der Konditionierte Reiz nach der Instruktion eine Reaktion aus, die zum Unkonditionierten Reiz passte. Man kann per Instruktion nicht nur eine Assoziation zwischen Konditioniertem und Unkonditioniertem Reiz herstellen, sondern diese auch abschwächen. Colgan (1970) fand, dass sich die Hautleitreaktion auf den Ton stark verringerte, wenn man Probanden erklärte, dass der Ton nun nicht mehr von einem Schock gefolgt werde. Diese Verringerung war schon beim ersten Darbieten des Tones ohne Schock zu beobachten. Menschen können also auf verschiedenen Wegen die Assoziation zwischen Unkonditioniertem und Konditioniertem Reiz herstellen bzw. verändern. Es bedarf nicht des direkten Erlebens, da auch durch Sprache Repräsentationen von Reizen aktiviert werden können woraufhin sich Assoziationen bilden oder verändern.

Blocking – Wieviel zusätzliche Information bringt ein zusätzlicher Reiz?

Die Veränderung von Assoziation zwischen Unkonditioniertem und Konditioniertem Reiz durch Informationen, die per Instruktion vorgegeben werden, lassen sich nur bei Menschen studieren. Jedoch gibt es auch aus Untersuchungen mit Tieren Hinweise darauf, dass man Klassisches Konditionieren gut verstehen kann, wenn man nach der Information fragt, die verschiedene Reize übermitteln. Kamin (1968) berichtete von einer Untersuchung mit zwei Gruppen von Ratten, mit der er das Paradigma des Blocking einführte. In der Experimentalgruppe wurde zunächst in 16 Durchgängen ein Geräusch (Konditioniert Reiz 1) mit einem Stromschlag (Unkonditionierter Reiz) gepaart. In einer zweiten Phase folgten dann acht Durchgänge, in denen das Geräusch und ein Licht (Konditionierter Reiz 2) zusammen mit dem Stromschlag dargeboten wurden. Die Kontrollgruppe absolvierte nur die zweite Phase. Die Ratten der Kontrollgruppe zeigten starke Konditionierte Reaktionen, sowohl auf den Ton als auch auf das Licht. Bei der Experimentalgruppe hingegen löste das Licht kaum eine Reaktion aus, obwohl es ja genauso häufig mit dem Stromschlag gepaart worden war wie in der Kontrollgruppe. Wenn man Klassisches Konditionieren allein mit dem häufigen gemeinsamen Auftreten von Konditionierten und Unkonditioniertem Reiz(en) erklären will, kann man den Unterschied zwischen den beiden Gruppen im Blocking-Paradigma nicht deuten. Zielführender ist die Frage danach, wie viel zusätzliche Information ein Reiz über den anderen bietet. In der Experimentalgruppe wird der Stromschlag schon

valide durch das Geräusch (Konditionierter Reiz 1) vorhergesagt, wenn der zweite konditionierte Reiz hinzugenommen wird. Das Licht bringt also keine neuen Informationen über das zu erwartende Auftreten des Schocks. Das baldige Auftreten des unkonditionierten Reizes ist also nicht überraschend. Man kann jedoch annehmen, dass es einer Überraschung bedarf, damit eine neue Assoziation gebildet wird.

Genauer gesagt, argumentierten Kamin (1969) und später Rescorla und Wagner (1972), dass die Größe der Diskrepanz zwischen der Erwartung und dem Eintreten eines Ereignisses bestimmt, wie stark sich Assoziationen verändern. Wenn man also (aufgrund des Geräusches) ohnehin schon erwartet, dass ein Schock eintreten wird und dann tatsächlich ein Schock eintritt, dann gibt es keine Überraschung bzw. Diskrepanz zwischen Erwartung und tatsächlichem Ereignis. Demzufolge ändern sich auch die Assoziationen kaum. Das bedeutet, dass der (Konditionierter Reiz 1) seine starke Assoziation mit dem unkonditionierten Reiz behält während es jedoch kaum zu einer Assoziationsbildung zwischen Licht und Schock kommt. In der Kontrollgruppe hingegen, ist das Eintreten des Schocks nach Licht und Geräusch überraschend. Die Tiere hatten ja noch keine Gelegenheit, zu lernen, dass der Schock zu erwarten sein. Darum werden Assoziationen zwischen Licht und Schock und zwischen Geräusch und Schock gebildet.

Zusätzlich zu der Frage danach, was der relative Informationsgewinn eines neuen Reizes ist, kann man auch noch fragen, wie dieser bestimmt wird. Einige Forscher vertreten die Auffassung, dass dabei Nachdenken über die Kausalstruktur der Situation eine wichtige Rolle spielen kann (Waldmann, 2017). Nach dieser Perspektive wären Menschen und Tiere also darum bemüht, herauszufinden, was ein negatives Ereignis verursacht, anstatt nur zu lernen, durch welchen Reiz es vorhergesagt werden kann. Wenn beispielsweise nach gemeinsamer Einnahme von zwei neuen Nahrungsmitteln A und B eine leichte Übelkeit auftritt und eines der Nahrungsmittel vorher bereits allein Übelkeit hervorgerufen hatte, dann könnte man schlussfolgern, dass A die Ursache der Übelkeit war. Blocking ließe sich also auch dadurch begründen, dass in etwa der folgende Gedankengang stattfindet und die Assoziationsbildung bestimmt: *Wenn A und B zusammen das Ergebnis in der gleichen Intensität und mit der gleichen Wahrscheinlichkeit hervorrufen wie A allein, dann ist B nicht die Ursache des Ereignisses.* Es ist möglich, dass Assoziationsbildung, die im Rahmen des klassischen Konditionierens untersucht wird, oft auf Denkprozessen beruht.

Rescorla-Wagner Theorie

Beim Blocking kann man die Reaktion auf eine Kombination von zwei Reizen basierend auf den Reaktionen auf die einzelnen Reize vorhersagen. Für diesen und ähnliche Fälle hat sich die Rescorla-Wagner Theorie als sehr erfolgreich erwiesen. Sie kann viele Phänomene des klassischen Konditionierens erklären und wird auch in neurowissenschaftlichen Modellen verwendet. Die Theorie ist in einer einfachen

mathematischen Formel zusammengefasst. Es kann wirklich erstaunen, wie eine leicht zu überschauende Formel viele der Anpassungsleistungen abbildet, die Organismen in Versuchen zum Klassischen Konditionieren zeigen (vgl. Anderson, 2000).

Einer der drei Grundbestandteile der Rescorla-Wagner Theorie ist die Assoziationsstärke zwischen Konditioniertem und Unkonditionierten Reiz (V). Der zweite Bestandteil ist die Maximalstärke λ (Lambda), die diese Assoziation erreichen kann. Man nimmt an, dass die maximal zu erreichende Stärke, davon abhängt, wie stark der Unkonditionierte Reiz wirkt. Beispielsweise können starke Schmerzen zu einer stärkeren Assoziation führen als schwache Schmerzen. Der dritte Baustein ist die Lernrate α (Alpha). Die Lernrate bestimmt, wie oft Konditionierter und Unkonditionierter Reiz zusammen auftreten müssen, damit deren Assoziation die Maximalstärke (fast) erreicht. Die Assoziation wächst mit jedem gemeinsamen Auftreten von Konditioniertem und Unkonditioniertem Reiz proportional zur Lernrate α und der Differenz zwischen der Maximalstärke und der der aktuellen Stärke (λ minus V). Während also beispielsweise die erste Paarung der Reize noch einen sehr großen absoluten Zugewinn an Assoziationsstärke mit sich bringt, ist der Zuwachs der Assoziationsstärke bei einer der späteren Paarungen deutlich kleiner. Der Zugewinn an Assoziationsstärke (bzw. allgemeiner das Ausmaß der Änderung der Assoziationsstärke) wird als ΔV notiert. Δ (Delta) steht für die Differenz zum vorangegangenen Wert.

Aus den Bestandteilen ergibt sich die Formel $\Delta V = \alpha (\lambda - V)$. Ein Zahlenbeispiel soll illustrieren, wie die Formel funktioniert. Konditionierter und Unkonditionierter Reiz werden insgesamt 20 mal zusammen dargeboten. Für die Maximalstärke der Assoziation (λ) nehmen wir den Wert 100 an und die Lernrate (α) soll 0,2 sein. Vor der ersten Paarung ist die Stärke der Assoziation zwischen den Reizen Null. Die erste Paarung führt dann zu einem Anwachsen dieser Stärke von Null auf 20, denn $\Delta V = 0,2 (100 - 0) = 20$. Im nächsten Durchgang ist dann V nicht mehr Null sondern wird auf 20 gesetzt. Der *Zuwachs* an Assoziationsstärke bei der zweiten Paarung ist also $\Delta V = 0,2 (100 - 20) = 16$. Die Assoziationsstärke ist also $20 + 16 = 36$. Abbildung 2 gibt den weiteren Verlauf der Assoziationsstärke wieder.

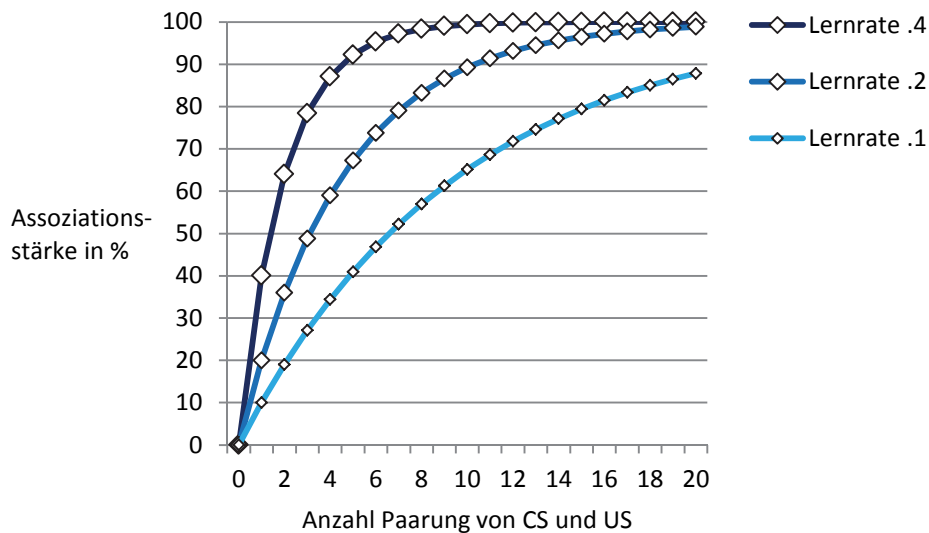


Abbildung 2: Lernraten .4, .2 und .1 (adaptiert nach Anderson, 2000).

Wie geht die Rescorla-Wagner Theorie mit zusammengesetzten Reizen um? Bevor wir das Phänomen des Blocking untersuchen, soll ein einfacherer Fall diskutiert werden (vgl. Anderson, 2000). Zwei Reize, (A = Ton, B = Licht) werden gleichzeitig als Konditionierte Reize dargeboten, wobei der Unkonditionierte Reiz, den sie ankündigen, beispielsweise Futter sein kann. Die Gesamt-Assoziationsstärke zwischen dem zusammengesetzten Konditionierten Reiz und dem Unkonditionierten Reiz ergibt sich als Summe der Assoziationsstärken, die die Reize A und B für sich genommen zum Unkonditionierten Reiz aufweisen: $V_{AB} = V_A + V_B$. Man kann also das Anwachsen der Assoziationsstärke für den zusammengesetzten Reiz dadurch abbilden, dass man den Zuwachs für die Bestandteile einzeln berechnet und dann addiert. In die Formeln $\Delta V_A = \alpha (\lambda - V_{AB})$ und $\Delta V_B = \alpha (\lambda - V_{AB})$ werden wiederum Zahlen unter der Annahme eingesetzt, dass $\alpha 0,2$ und $\lambda 100$ ist. Im ersten Durchgang wächst die Assoziationsstärke für A und B jeweils von Null auf 20, denn für A gilt $\Delta V_A = 0,2 (100 - 0) = 20$ und für B gleichermaßen $\Delta V_B = 0,2 (100 - 0) = 20$. Die Gesamtassoziationsstärke beträgt nach dem ersten Durchgang dann 40, denn $V_{AB} = V_A + V_B = 20 + 20$. Der Zuwachs für den zweiten Durchgang ergibt sich dann als Summe von $\Delta V_A = 0,2 (100 - 40) = 12$ und $\Delta V_B = 0,2 (100 - 40) = 12$. Die Assoziationsstärke V_{AB} wäre also nach der zweiten Paarung $40 + 24 = 64$.

Das Anwachsen der Assoziationsstärke für kombinierte Reize und einzelne Reize unterscheidet sich in einem wichtigen Punkt. A und B müssen sich die Maximalstärke von 100 teilen. Wenn A allein konditioniert wird, kann es 100 erreichen, wenn es zusammen mit B auftritt jedoch nur seinen Anteil an 100. Dieser Anteil muss natürlich nicht für beide Teile des Gesamt-Reizes gleich ausfallen. Die Reize können beispielsweise unterschiedlich salient sein (z.B. ein auffällig lauter Ton vs. ein schwaches Licht). In der Abbildung 3 beträgt die Lernrate α für A 0,4 und für B 0,1. Während die Gesamt-Assoziationsstärke sich wiederum 100 annähert, geht die Stärke für A auf 80 zu und nähert sich für B 20 an. Der auffällige

Konditionierte Reiz A überschattet also den gleichzeitig dargebotenen Konditionierten Reiz B (Phänomen des Overshadowing). Wenn A und B gemeinsam auftreten, dann übernimmt A fast die ganze Assoziationsstärke die mit dem Unkonditionierten Reiz erreicht werden kann und B bildet nur eine sehr schwache Assoziation mit dem Unkonditionierten Reiz aus. Wenn B allein aufgetreten wäre, dann hätte B die Maximalstärke 100 erreichen können, auch wenn das wegen der geringeren Lernrate α vergleichsweise vieler Paarungen bedurft hätte (vgl. Kamin, 1969).

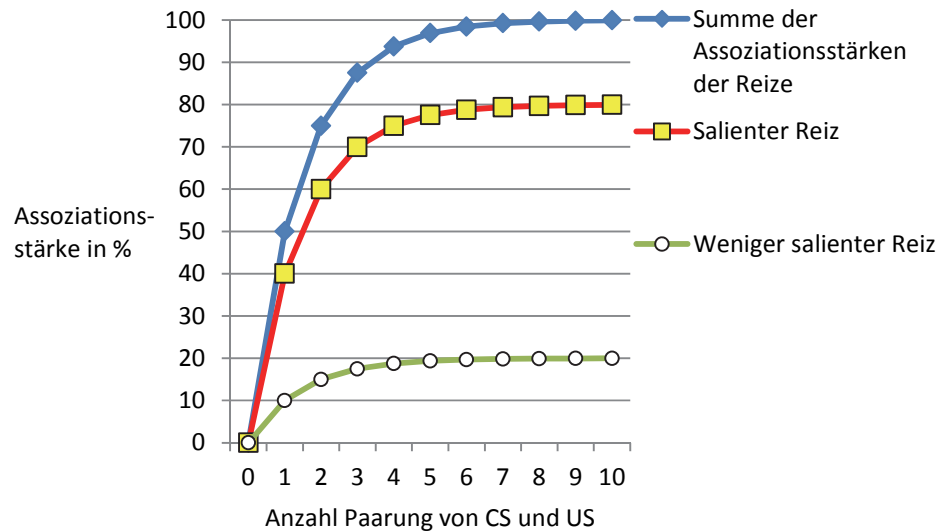


Abbildung 3: Lernraten .4 und .1 für einen salienten und einen weniger salienten Reiz (adaptiert nach Anderson, 2000).

Beim Blocking nimmt ebenfalls einer der beiden Stimuli den Großteil der Maximalstärke der Assoziation zum Unkonditionierten Reiz für sich in Anspruch. Im Unterschied zur eben besprochenen Overshadowing findet dies jedoch nacheinander statt. Beispielsweise wird der bot Kamin den Konditionierten Reiz A 16 mal zusammen mit dem Unkonditionierten Reiz dar. Erst danach wurden A und B in 8 Durchgängen gemeinsam dargeboten. Es stellte sich heraus, dass B nur eine sehr schwache Assoziation zum Unkonditionierten Reiz ausbildete. In einer Kontrollbedingung, in der A und B durchgehend gemeinsam auftraten, bildete sich eine starke Assoziation zwischen B und dem Unkonditionierten Reiz.

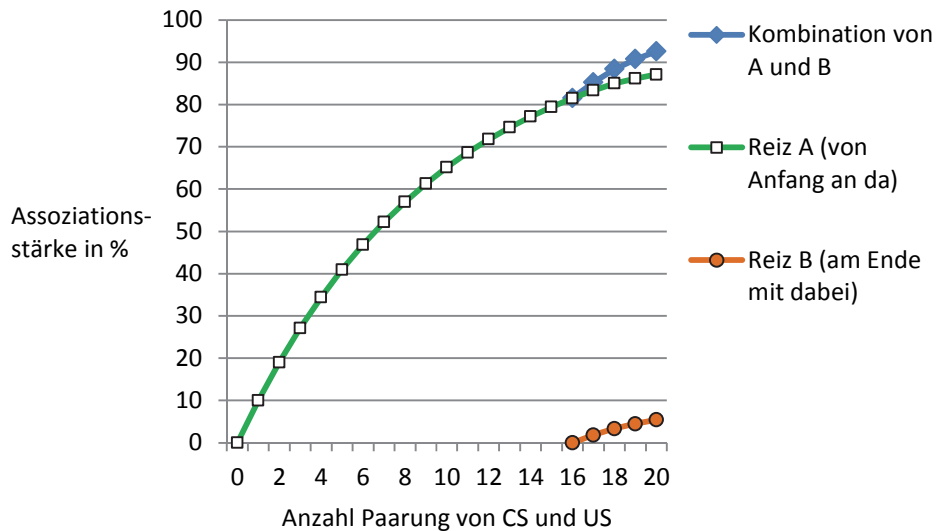


Abbildung 4: Blocking bei einer Lernrate von .1 für Stimulus A 8 (ab Durchgang 1 dargeboten) und einer Lernrate von ebenfalls .1 für Stimulus B (ab Durchgang 17 gemeinsam mit A dargeboten; adaptiert nach Anderson, 2000).

Blocking kann man im Rahmen der Rescorla-Wagner Theorie dadurch erklären, dass die 16 anfänglichen Durchgänge mit A allein dazu führen, dass der Reiz A fast die gesamte Maximalstärke der Assoziation zum Unkonditionierten Reiz bindet. Bei einer Lernrate von .1 würden 16 Durchgänge zu einer Stärke von 80 von 100 führen. In anschließenden Durchgängen könnten A und B also nur noch 20 von 100 untereinander aufteilen. Kamin beschreibt, dass eine Assoziation von B und dem Unkonditionierten Reiz dann hergestellt werden kann, wenn letzterer in der AB-Phase stärker ist als in der A-Phase. Da die Maximalstärke der Assoziation ja von der Stärke des Unkonditionierten Reizes (z.B. Schmerz) abhängt, würde man annehmen, dass die Maximalstärke steigt, wenn im Zuge des Überganges von Durchgängen mit A allein hin zu Durchgängen mit A&B beispielsweise der Schmerz als Unkonditionierter Reiz stärker wird. Stimulus A hätte zwar fast die gesamte *alte* Stärke für sich in Anspruch genommen. Den Differenzbetrag der neuen (höheren) Stärke zur alten, könnten dann jedoch sowohl A als auch B für sich in Anspruch nehmen.

Neben Blocking und Overshadowing kann die Rescorla-Wagner Theorie auch das Phänomen der konditionierten Hemmung erklären. Konditionierte Hemmung tritt beispielsweise auf, wenn ein Ton als Konditionierter Reiz mit einem elektrischen Schock als Unkonditioniertem Reiz kombiniert wird, jedoch immer dann, kein Schock auftritt, wenn sowohl Ton als auch zusätzlich ein Licht dargeboten werden. Tiere würden auf einen Ton (A), der zusammen mit einem Licht (B) auftritt, keine Reaktion zeigen, sehr wohl jedoch auf einen Ton, der ohne Licht dargeboten wird. Aus letzterem Umstand kann man

schlussfolgern, dass tatsächlich eine Assoziation zwischen Ton und Schock gebildet wurde. So könnten beispielsweise 16 Paarungen von Ton, Licht und Schock dazu führen, dass $V_A = 97$ beträgt. Nachdem Modell von Rescorla und Wagner gilt jedoch, dass $V_A + V_B = 0$ sein muss, schließlich tritt ja auf den gemeinsam mit Licht dargebotenen Ton keine Reaktion auf. Es muss also angenommen werden, dass die Assoziationsstärke V_B negativ, also -97 ist. Mit jedem Lerndurchgang, in dem Ton, Licht und Schock auftreten, wird die Assoziation von Ton und Schock an positiver und die von Licht und Schock an negativer Stärke gewinnen. Das Ergebnis wäre also, dass trotz stärker werdender Assoziationen Reaktionen auf den zusammengesetzten Reiz ausbleiben.

Die Rescorla-Wagner Theorie sagt Blocking und Konditionierte Hemmung basierend auf der Annahme vorher, dass Reize um die Assoziation mit dem Unkonditionierten Reiz konkurrieren.

Die Rescorla-Wagner Theorie hat die Stärke, dass sie trotz einfacher Annahmen, eine große Bandbreite an Phänomenen des Konditionierens erklären kann (vgl. Anderson, 2000). Die Sparsamkeit der Annahmen bringt es mit sich, dass es Phänomene gibt, die in der Theorie keinen Platz finden. Beispielsweise wird das Lernen geschwächt, wenn der Konditionierte Reiz vor Beginn des Konditionierens mehrmals allein dargeboten wird (Latente Hemmung). Wenn der Organismus also mehrmals erlebt hat, dass nichts weiter passiert, wenn der Konditionierte Reiz auftritt, dann wird der Reiz später schlechter mit dem Unkonditionierten Reiz assoziiert, also wenn es vorher keine Einzel-Darbietung gegeben hätte. Es wurde vorgeschlagen, dass Modell so zu erweitern, dass nicht nur die Salienz des Unkonditionierten Reizes (z.B. Stärke des Schmerzes) das Lernen beeinflusst, sondern auch die Salienz des Konditionierten Reizes, welche sich z.B. durch vorherige Gewöhnung verringern kann.

Neuronale Netzwerke

Die Rescorla-Wagner Theorie hat Parallelen dazu, wie viele Modelle des Lernens auf neuronaler Ebene konzeptualisiert sind (vgl. Anderson, 2000). Neuronale Netzwerke sind mathematisch festgelegte Netzstrukturen. Sie sollen diejenigen Eigenschaften ihrer biologischen Vorbilder abbilden, die wesentlich sind, um Lernen und andere Psychologische Phänomene simulieren zu können. Eine besondere Rolle kommt dabei den Verbindungen (connections) zu, die zwischen den im Computer simulierten Neuronen zahlreich vorhanden sind. Darum wird diese Theorie-Richtung auch als Konnektionismus bezeichnet. Konnektionistische Netzwerke sind in der Lage, beeindruckende Ergebnisse zu erzeugen. Beispielsweise haben Terrence J. Sejnowski und Charles R. Rosenberg schon 1986 das konnektionistische Netzwerk NETalk vorgestellt, das in der Lage ist, einen vorgelegten schriftlichen englischen Text in gesprochene englische Sprache umzuwandeln (<https://de.wikipedia.org/wiki/NETalk> <http://cni.salk.edu/Media/nettalk.mp3>).

In Abbildung 5 ist ein einfaches Neuronales Netz abgebildet. Alle Neuronen der Input-Schicht haben Verbindungen zu allen Neuronen der Output-Schicht (komplexer wäre z.B. eine Variante mit einer Schicht zwischen Input- und Output-Schicht). Wenn einige der Neuronen der Input-Schicht aktiviert werden, dann ergibt sich ein spezifisches Aktivitätsmuster in der Output-Schicht. Welches Muster als Antwort gegeben wird, hängt dabei davon ab, wie die Gewichte der einzelnen Verbindungen sind. Es sind zwar alle Input- mit allen Output-Neuronen verbunden, aber die Verbindungen, deren Gewicht niedrig ist, haben wenig Einfluss auf das Output-Muster, da sie wenig Aktivität durchlassen. Neuronale Netzwerke lernen, die Gewichte so zu setzen, dass je nach Input-Muster das passende Output-Muster generiert wird. Eine häufig verwendete Lernregel, die es erlaubt, die Assoziationen zwischen den Neuronen entsprechend den Anforderungen einzustellen, ist die Delta-Regel. Sie basiert auf der Gleichung des Rescorla-Wagner Modells.

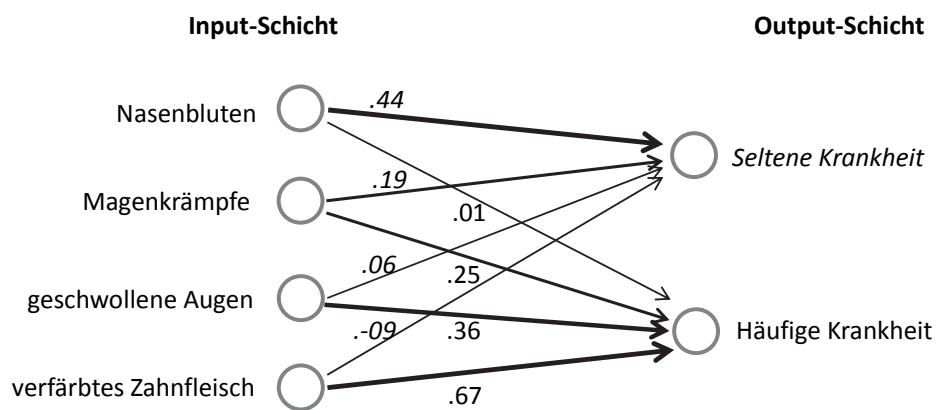


Abbildung 5: Neuronales Netzwerk nach Gluck und Bower (1988) sowie Anderson (2000).

Abbildung 4 deutet an, wie ein Neuronales Netzwerk nach Lernen medizinische Diagnosen stellen kann. Gluck und Bower (1988) ließen zum einen Menschen, zum anderen aber auch das Netzwerk, lernen, zwischen zwei hypothetischen Krankheiten zu unterscheiden und zwar basierend auf dem Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein von vier Symptomen (Nasenbluten, Magenkrämpfe, Geschwollene Augen, verfärbtes Zahnfleisch). Die 4 Symptome bilden die Input-Schicht und die zwei Krankheiten sind der Output. Die Gewichte im Netzwerk sollen also so eingestellt werden, dass je nach Symptomen, die Krankheit diagnostiziert wird, die auch von unabhängiger Quelle als die richtige angegeben worden ist. Menschen und Netzwerke erhielten über viele Lerndurchgänge hinweg jeweils ein Symptom-Muster, mussten die Krankheit vorhersagen und bekamen eine Rückmeldung, ob die Diagnose korrekt war. Nachdem das Netzwerk gelernt hatte, entsprachen die Diagnosen des Netzwerkes weitgehend den Diagnosen, die die Studienteilnehmer machten. Im Netzwerk wurde Nasenbluten mit einem hohen Gewicht auf

die seltene Krankheit versehen während für die drei anderen Symptome die Gewichte für die häufige Krankheit jeweils höher waren als für die seltene. Entsprechend gaben die Studienteilnehmer nach dem Experiment an, dass Nasenbluten das einzige Symptom war, dass sich als diagnostisch für die seltene Krankheit erwiesen hatte.

Im Rahmen der Rescorla-Wagner Theorie könnte man die Symptome als Konditionierte Reize und die Krankheiten als Unkonditionierte Reize konzeptualisieren. Während der Hund in Pawlows Versuchen vorherzusagen versucht, ob in Kürze Futter dargeboten wird, geht es hier darum basierend auf den Symptomen die Krankheit vorherzusagen. Da es 4 Symptome und 2 Krankheiten gibt, werden $4 * 2 = 8$ Assoziationen zwischen Konditioniertem und Unkonditioniertem Reiz gelernt.

Die Delta-Regel ist eine Anpassung der Gleichung des Rescorla-Wagner Modells für Lernen in Neuronalen Netzwerken. Die Notation spiegelt wider, dass Gewichte von Verbindungen zwischen Neuronen verändert werden (statt Assoziationen zwischen Konditioniertem und Unkonditioniertem Stimulus). Die Veränderung der Assoziationsstärke zwischen den Input-Neuron i und Output-Neuron j wird als ΔA_{ij} angegeben. Die Delta-Regel lautet $\Delta A_{ij} = \alpha A_i (T_j - A_j)$. Dabei geben A_i und A_j die Stärke der Aktivierung des Input- bzw. Output-Neurons an und α ist wiederum die Lernrate. T_j ist die Aktivität („ T “ für Target- bzw. Ziel-Aktivität), die das Output-Neuron j haben sollte. Lernen ist proportional zur Abweichung zwischen Ziel-Aktivität und tatsächlicher Aktivität des jeweiligen Output-Neurons. Es wird als in jedem Lerndurchgang abgeglichen, welche Aktivität jedes Output-Neuron haben sollte und welche es tatsächlich hat. Je größer die Abweichung und je größer die Lernrate ist, desto stärker wird die Assoziation des Output-Neurons mit dem jeweiligen Input-Neuron verändert. Wenn also beispielsweise Nasenbluten als Input gegeben war und die bisher stark gewichtete Verknüpfung mit der häufigen Krankheit zur falschen Prädiktion „häufige Krankheit“ geführt hat, dann wird das Gewicht dieser Verknüpfung reduziert.

Die Rescorla-Wagner Theorie ist eng verwandt mit der Delta-Regel, einer häufig verwandten Lernregel für neuronale Netze.

Im Vergleich von Delta-Regel und der Gleichung von Rescorla und Wagner ergibt sich eine Entsprechung von ΔA_{ij} und ΔV , αA_i und α , T_j und λ sowie A_j und V . Zusätzlich zur Differenz von Ziel-Output und tatsächlichem Output, hängt das Lernen auch noch proportional von der Stärke der Aktivierung des Input-Neurons ab. Hier findet man also die Entsprechung zu dem Erweiterungsvorschlag für das Rescorla-Wagner-Modell, nach dem nicht nur die Stärke des Unkonditionierten Reizes sondern auch die des Konditionierten Reizes das Lernen mit bestimmen sollte.

Operante Konditionierung – tun, was verstärkt wird

Beim Klassischen Konditionieren passt sich der Organismus an die Vorhersagbarkeit von Ereignissen in der Umwelt an, also daran, dass manche Ereignisse häufig gemeinsam und selten einzeln auftreten, so dass das eine zur Vorhersage des anderen genutzt werden kann. Dabei treten die Ereignisse jedoch weitgehend unabhängig davon, was der Organismus tut, gemeinsam auf. Es werden Zusammenhänge von Ereignissen gelernt, denen der Organismus ausgesetzt ist. Eine wichtige Form von Lernen betrifft jedoch Verhaltensänderungen die sich dadurch ergeben, dass der Organismus aktiv ist und sein Verhalten positive bzw. negative Konsequenzen hat (z.B. Blaisdell, 2008; Ostlund, Winterbauer, & Balleine, 2008).

Thorndike (1911) erforschte das Erlernen von Verhaltenskonsequenzen in dem er beobachtete, wie sich Katzen aus Trick-Käfigen befreiten. Katzen, die in einer Holzkiste eingesperrt sind, versuchen verschiedene Manipulationen an Latten, Hebeln und Scharnieren. Man könnte den Eindruck haben, dass sie zufällig herumprobieren. Thorndike nahm an, dass dann, wenn die Befreiung aus der Kiste glückt, der Zusammenhang von erfolgreichem Verhalten und Stellung in der Kiste gelernt wird. Die Belohnung (Erreichen des Futters vor der Kiste) sollte die Bildung der Assoziation zwischen Ausgangsstellung in der Trickkiste und zielführender Reaktion verstärken. Woran erkannte Thorndike, dass gelernt wurde? Thorndike setzte die Katzen immer wieder von neuem in den Trick-Käfig. Er beobachtete, dass die Katzen immer weniger irrtümliche Versuche benötigten, bis sie das vormals erfolgreiche Verhalten zeigten. Lernen war also darin sichtbar, dass sich die Zahl der Fehlversuche von Durchgang zu Durchgang verringerte. Heute wird angenommen, dass operantes Lernen zu Assoziationen zwischen Reiz, Reaktion und Konsequenz führt (Colwill & Rescorla, 1990). Organismen lernen also, welches Verhalten in welchen Situationen positive bzw. negative Konsequenzen hat. Die Belohnung wirkt also nicht allein dadurch, dass sie die Assoziation von Situation und Verhalten stärkt, sondern es wird gelernt, bei welchem Verhalten welche Belohnung zu erwarten ist. Dieses Lernen heißt instrumentell, weil das richtige Verhalten ein Instrument im Zugang zum Futter ist. Es ergibt sich daraus die Frage, wie man zeigen kann, was genau gelernt wurde. Wenn die Katzen gelernt haben, was sie tun müssen um an eine Belohnung zu gelangen, dann sollten sie dieses Verhalten nicht mehr zeigen, wenn sie keine Belohnung mehr erwarten können. Wenn die Katzen also satt sind oder das spezifische Futter kürzlich zu starker Übelkeit geführt hat, hat das Futter, das eigentlich als Belohnung dargeboten wird, für das Tier keinen belohnenden Wert. Wenn es sich beim Lernen tatsächlich um instrumentelles Lernen gehandelt hat, dann wird das Verhalten unterlassen, wenn die zu erwartende Konsequenz nicht mehr belohnend ist.

Was genau ist eigentlich der Unterschied zwischen Klassischem und operantem Konditionieren? Kann man nicht das eine als eine besondere Form des anderen beschreiben?

Beim Instrumentellen / Operanten Konditionieren wird der Zusammenhang von Verhalten und Konsequenz gelernt und damit ein anderer Zusammenhang erworben als beim Klassischen Konditionieren. Beim Klassischen Konditionieren war der Zusammenhang von zwei Ereignissen relevant, die weitgehend unabhängig vom Verhalten des Organismus auftreten. Oder haben Pawlows Hunde etwa gelernt, dass sie speicheln müssen, um das Futter schlucken zu können? In dem Fall könnte man das Speicheln auf den Glockenton als instrumentelles, also zielgerichtetes Verhalten interpretieren. Eine Versuchsanordnung von Sheffield (1965) stellt Operantes und Klassisches Konditionieren geschickt gegenüber. Wiederum wurde über mehrere Durchgänge hinweg erst ein Ton und dann Futter dargeboten. Allerdings gab es nicht jedes mal Futter sondern nur in den Durchgängen, in denen der Hund auf den Ton hin keine Speichel-Reaktion zeigte. Wenn das Speicheln eine instrumentelle Handlung ist, also mit dem Ziel stattfindet, die Nahrungsaufnahme zu erleichtern, dann sollte es bei dieser Versuchsanordnung zu keiner Erhöhung der Speichelreaktion über die Durchgänge hinweg kommen. Der Ton wurde generell häufig von Futter gefolgt. Er sagte mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit also vorher, dass Futter gegeben wird. Da aber in den Durchgängen in denen Speichelfluss auftrat *kein* Futter gab, wurde das Verhalten jedoch nie belohnt. Die Hunde hatten auch keine Gelegenheit zu lernen, dass das Speicheln die Belohnung vergrößert, weil das Futter sich besser schlucken lässt oder besser schmeckt. Nach einigen Durchgängen zeigten die Hunde dennoch das Speicheln während der Tondarbietung. In über 800 Durchgängen blieb dieses Verhalten stabil, obwohl ihnen dadurch ja das meiste Futter entging, das sie hätten bekommen können, wenn sie nicht bei Tondarbietung gespeichelt hätten. Das Verhalten, das durch Prozeduren des Klassischen Konditionierens erworben wird, ist also nicht zielgerichtet. Klassisches Konditionieren und Operantes Konditionieren lassen sich also klar trennen. Man kann annehmen, dass im oben geschilderten Beispiel eine Assoziation zwischen Ton und Futter erworben wird. Der Ton kündigt an, dass mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit Futter gereicht werden wird. Darum führt Lernen dazu, dass der Ton die Speichelreaktion auslöst. Die Hunde haben gelernt, dass es dann oft Futter gibt, wenn vorher die Glocke zu hören war. Sie haben nicht gelernt, was sie tun oder lassen müssen, damit sie Futter bekommen.

Die Versuchsanordnung von Thorndike hatte den praktischen Nachteil, dass die Katzen immer wieder neu in die Kiste gesetzt werden mussten, aus der sie sich dann befreien konnten. Skinner verlagerte die Belohnung in die Box hinein. Tauben konnten gegen Scheiben picken und damit die maschinelle Zuteilung von Futter auslösen. Ratten konnten Hebel drücken, um Futter zu bekommen.

Beim operanten Konditionieren hängt es vom Verhalten des Organismus ab, ob ein Verstärker dargeboten wird oder nicht. In Tierversuchen wird als appetitiver Verstärker häufig Futter eingesetzt. Anders als dass es der Begriff vermuten lässt, müssen Verstärker nicht angenehm sein. In Lernversuchen mit Tieren werden beispielsweise Elektroschocks als

aversive Verstärker eingesetzt. Die Frage danach, ob es sich bei einem Lernversuch um positive oder negative Verstärkung handelt, hat jedoch direkt nichts damit zu tun, ob angenehme oder unangenehme Verstärker verwendet werden. Vielmehr ist ausschlaggebend, wie sich das Eintreten oder Ausbleiben des Verstärkers aus dem operanten Verhalten vorhersagen lässt. Bei *positiver Verstärkung* ist die Kontingenz (Auftrittszusammenhang) positiv: wenn das operante Verhalten auftritt, dann wird der Verstärker dargeboten. Bei *negativer Verstärkung* tritt der Verstärker immer genau dann nicht auf, wenn das operante Verhalten auftritt.

Verstärkerpläne

Verstärker bewirken dass ein Verhalten häufiger gezeigt wird. Ein positiver Verstärker (Belohnung) ist dadurch gekennzeichnet, dass auf ein gewünschtes Verhalten hin ein angenehmer Reiz hinzugefügt wird. Bei einem negativen Verstärker wird auf ein gewünschtes Verhalten hin ein unangenehmer Reiz weggelassen (z.B. Anderson, 2000; Ostlund, Winterbauer, & Balleine, 2008; [https://de.wikipedia.org/wiki/Verstärkung_\(Psychologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Verstärkung_(Psychologie))).

Positive Verstärkung wird oft mit appetitiven, angenehmen, Verstärkern durchgeführt. Sie liegt z.B. vor, wenn Tiere oft dann Futter erhalten, wenn sie einen Hebel drücken. Der appetitive Verstärker führt dazu, dass sich die Auftretenshäufigkeit des Verhaltens erhöht. Negative Verstärkung wird oft mit aversiven, unangenehmen Verstärkern durchgeführt. Das operante Verhalten ermöglicht es, den Verstärker zu vermeiden. Tiere drücken z.B. zunehmend häufig einen Hebel, wenn das Elektroschocks vermieden. Während sowohl positive als auf negative Verstärkung die Auftretenshäufigkeit des operanten Verhaltens erhöhen, ist dies bei *Bestrafung* nicht der Fall. Hier wird ein aversiver Verstärker immer dann appliziert, wenn das unerwünschte Verhalten ausgeführt wird. Da die Kontingenz also positiv ist, handelt es sich bei Bestrafung um positive Verstärkung. Ein Nachteil von Bestrafung ist, dass offen bleibt, welches Verhalten erwünscht ist. Der Organismus kann viele verschiedene Verhaltensweisen anstatt der bestraften Verhaltensweise zeigen. Diese frei gewählten Alternativen können nicht gezielt verstärkt werden und ihr Einfluss auf die Vermeidung des unerwünschten Verhaltens bleibt daher schwach. Schnellere Erfolge beim Vermeiden einer unerwünschten Verhaltensweise können dadurch erzielt werden, dass ein Verhalten verstärkt wird, das mit der unerwünschten Verhaltensweise inkompatibel ist. Die Verstärkung bezieht sich also auf ein konkretes Alternativverhalten. Dieses erhält dadurch gesammelt die Verstärkung, die sich sonst auf verschiedene Alternativverhalten verteilt hätte und damit in der Wirkung beschränkt geblieben wäre.

Bisher haben wir 3 der möglichen 4 Kombinationen aus Kontingenz der Verstärkung (positiv vs. negativ) und Valenz der Verstärkung (appetitiv vs. aversiv) betrachtet. Appetitive negative Verstärker stellen die verbleibende Kombination dar. Bei der *Weglass-Prozedur* (omission procedure), ist ein angenehmer Verstärker immer verfügbar, es sei denn, das

operante Verhalten tritt auf. In dem Fall wird er weggelassen. Das Weglassen von aufmunternden verbalen Rückmeldungen wäre ein Beispiel. Wie auch bei der Bestrafung wird nicht gezielt ein inkompatibles Alternativverhalten gefördert. Wenn die Auftretenshäufigkeit unerwünschter Verhaltensweisen durch Bestrafung oder das Weglassen angenehmer Verstärker vermindert werden sollen, kann das Hilflosigkeit erzeugen, weil ja nicht vorgegeben wird, wie man sich statt dessen verhalten soll.

Wir haben bisher nicht diskutiert, mit welcher Regelmäßigkeit auf das operante Verhalten die Verstärkung erfolgt bzw. nicht erfolgt. Das Verhältnis von operantem Verhalten und Verstärkung wird in Verstärkerplänen beschrieben (z.B. Anderson, 2000). *Kontinuierliche Verstärkerpläne* bestehen darin, dass *jede* operante Reaktion die vorgesehene Konsequenz hinsichtlich der Verstärkung hat. Bei *intermittierenden Verstärkerplänen* hat das operante Verhalten nur manchmal die vorgesehene Konsequenz. Bei positiver Verstärkung tritt der Verstärker also nicht immer auf. Bei negativer Verstärkung wird der Verstärker entsprechend nicht immer durch das operante Verhalten vermieden. Intermittierende Verstärkerpläne gliedern sich auf in *Intervall- und Quotenpläne*. Bei Quotenplänen mit positiver Verstärkung muss der Organismus das operante Verhalten für eine festgesetzte Anzahl von Wiederholungen ohne Verstärkung zeigen, bis wieder ein Verstärker dargeboten wird. Beispielsweise wird jeder vierte Druck auf einen Hebel mit Futter belohnt. Bei Intervallplänen erfolgt die Verstärkergabe auf das operante Verhalten hin in Abhängigkeit davon, ob ein festgesetztes Zeitintervall seit der letzten Verstärkung verstrichen ist. Diese Labor-Anordnung hat eine Entsprechung in der natürlichen Umwelt vieler Organismen. Wenn Tiere beispielsweise verschiedene Stellen nach Futter absuchen, hängt die Trefferwahrscheinlichkeit davon ab, ob das Futter seit dem letzten Aufsuchen der Stelle nachwachsen konnte. Wer sehr häufig eMails checkt, wird häufig feststellen, dass keine neuen eingetroffen sind. In Intervallplänen ist der Einfluss darauf, wie viel Verstärkung sich über die Zeit hinweg aufsummiert also begrenzt. Durch häufiges Ausführen des operanten Verhaltens kann lediglich vermieden werden, dass eine Verstärkung lange Zeit ungenutzt bleibt.

Kontinuierliche Verstärkerpläne führen zu einer schnellen und großen Steigerung der Auftretenswahrscheinlichkeit des operanten Verhaltens. Allerdings geht die Auftretenswahrscheinlichkeit schnell wieder zurück, wenn später keine Verstärkung mehr erfolgt. Einen größeren Löschungswiderstand produzieren hingegen die intermittierenden Verstärkerpläne. Bei ihnen geht das Lernen langsamer vonstatten und erzeugt eine geringere Rate an operantem Verhalten. Da das operante Verhalten ohnehin nicht jedes mal verstärkt wurde, geht dessen Auftretenswahrscheinlichkeit bei komplettem Aussetzen der Verstärkung jedoch im Vergleich zu den kontinuierlichen Verstärkerplänen langsamer.

Tiere können sich an Verstärkerpläne anpassen. Man sollte jedoch über diese Erfolge

im Labor nicht übersehen, dass zum Teil angeborene Tendenzen existieren, gegen die sich Verstärkerpläne erst durchsetzen müssen. Beispielsweise legen die Ausführungen zum instrumentellen Lernen die Vermutung nahe, dass Tiere, wenn sie in einem Gang Futter gefunden haben, im nächsten Versuch wieder den selben Gang wählen. Man stelle sich einen Weihnachtsskallender mit Schokoladenstückchen hinter jeder der 24 Türen vor wobei geöffnete Türen nach dem Verzehr der Schokolade wieder verschlossen werden. An welcher Tür würde man am 2. Dezember nach Schokolade suchen? Sicherlich nicht an der Tür, bei der man die zugehörige Schokolade schon am 1. Dezember verspeist hat. Das Prinzip der Verstärkung sollte jedoch genau das vorhersagen. Diese Vorhersage trifft wohl bei den meisten Menschen nicht zu. Außerdem kann man z.B. auch bei Ratten beobachten, dass nach dem am Ende eines Ganges Futter gefunden wurde, zunächst ein anderer Gang exploriert wird (z.B. Tolman, 1948). Während Tiere lernen können, dass es immer wieder an der selben Stelle Futter zu finden gibt, scheinen sie zunächst der Erwartung zu folgen, dass dort, wo sie eben Futter gefunden haben, zunächst keines mehr zu finden ist – was in natürlichen Umgebungen sicherlich oft zutrifft.

Shaping

Shaping ist die Methode durch stufenweise Annäherung Versuchstieren Verhaltensweisen beizubringen, die die Tiere sonst nicht oder nur selten zeigen würden (vgl. z.B. Anderson, 2000). Diese Technik wird beispielsweise für die Dressur von Tieren verwendet. Wenn sich ein Tier im Kreis drehen soll, würde man beispielsweise in einem ersten Schritt schon leichte Drehbewegungen nach links mit Futter belohnen. Wenn diese Bewegung dann gehäuft auftritt, dann wird nur noch eine weitergehende Drehbewegung verstärkt. Danach gibt es dann nur noch für volle Drehungen eine Belohnung.

Mit operantem Konditionieren können komplexe Verhaltensweisen antrainiert werden. Unter den Schlagwörtern „BF Skinner on Reinforcement“ kann man im Internet beispielsweise ein Video von einer Taube in einer Kiste (Skinner Box) sehen, die eindrucksvolle Kunststücke zeigt (https://www.youtube.com/watch?v=I_ctJqjlrHA). In der Kiste gibt es einerseits einen Behälter in den mechanisch Körnerfutter eingefüllt werden kann. Zum anderen gibt es eine Schrifftafel, die über einen Drehmechanismus zwischen zwei geschriebenen Aufforderungen wechselt, „picken“ oder „umdrehen“. Wenn die Tafel „PECK“ zeigt, dann pickt die Taube gegen die Tafel um anschließend Futter aus dem darunter befindlichen Behälter zu fressen. Wenn die Tafel „TURN“ zeigt, dann dreht sich die Taube in wenigen Schritten um die eigene Achse.

Was macht Reize zu Reizen und Reaktionen zu Reaktionen? Verbindung von Klassischem und Operantem Konditionieren

Operantes Verhalten wird häufig als Reaktion bezeichnet. Da drängt sich die Frage auf, worauf dieses Verhalten denn eine Reaktion darstellen soll. Schließlich ist der Fokus des

Operantes Konditionierens, dass Organismen die Auftretenswahrscheinlichkeit desjenigen Verhaltens erhöhen, das verstärkt wird. Allerdings kann Operantes Konditionieren nicht in Isolation betrachtet werden. Fast immer gibt es spezifische Umstände, unter denen ein bestimmtes Verhalten angemessen ist und andere unter denen es keine Verstärkung zur Folge hat. Eine Interpretation sieht das Verhalten als Reaktion auf die spezifischen Umstände, die man als Diskriminativen Reiz bezeichnet (z.B. Ostlund, Winterbauer, & Balleine, 2008). Instrumentelles Lernen kann also vorliegen, wenn sich beispielsweise der Himmel verdunkelt (diskriminativer Reiz) und eine Person ein Gebäude betritt (Reaktion), um zu vermeiden, im Regen nass zu werden (aversiver Verstärker). Vermeidungslernen im Labor wäre gegeben, wenn eine Ratte zunehmend häufig eine Barriere überwindet um einem elektrischen Schock zu entgehen. Um Instrumentelles Lernen bzw. Operantes Konditionieren zu erklären muss Klassisches Konditionieren mit betrachtet werden, da Instrumentelles Lernen auf Klassischem Konditionieren aufbaut. Beispielsweise könnte der Zusammenhang von dunklen Wolken und unangenehmem Nasswerden durch Klassisches Konditionieren erworben worden sein, wodurch die Wolken als Diskriminativer Reiz für das operante Verhalten in Frage kommen. Wenn im Labor operantes Verhalten mit Futter verstärkt wird, können per Klassischem Konditionieren die Umgebung während des Essens und die vor dem Essen mit dem Essen assoziiert werden. Der Raum vor dem Fressplatz oder die Situation bevor das Essen freigegeben wird, kann wie eine Erwartung auf die Verstärkung wirken. Es kann also gelernt werden, dass manche Merkmale der Umgebung gemeinsam auftreten und in Beziehung zu Verstärkung stehen. Klassisches Konditionieren kann also helfen zu erklären, was genau Reize ausmacht und warum sie wirken.

Muskelkontraktion oder Ziel finden – Was ist eine Reaktion?

Das Durchlaufen von Gängen bzw. Labyrinthen ist eine oft genutzte Laboranforderung zum Untersuchen von Lernprozessen in Tierversuchen (vgl. z.B. Anderson, 2000). Durch das Laufen im Labyrinth verringern sich die Zeit und die Anzahl von Fehlversuchen, die eine Ratte benötigt, um Futter zu finden. Eine Ratte ist mehrmals einen Gang mit einer Verzweigung entlangelaufen, bei der links Futter, rechts aber kein Futter zu finden gewesen war. Sie wählt mit zunehmender Übung immer häufiger den Weg nach links. Was genau hat ein Tier gelernt, wenn es die richtige Antwort produzieren kann? Es ist einerseits möglich, dass die Ratte die Gabelung mit dem Bewegungsmuster assoziiert hat, dass eine Wendung nach links bewirkt und deshalb mit zunehmender Übung immer zielsicherer den richtigen Weg nimmt. Andererseits ist es möglich, dass die Ratte vor allem gelernt hat, wo sich das Futter befindet und dieses Wissen mit Übung weiter verfestigt. Eine Ratte, die zunehmend sicher weiß, wo das Futter ist, wird ebenfalls zunehmend zielsicher den richtigen Gang ansteuern. Ein Vergleich von zwei Lernbedingungen in einem Kreuzgang ergibt, dass Ratten prinzipiell beides lernen können, sowohl Bewegungsänderungen als auch das Ansteuern von festen Positionen. Wenn das Futter unabhängig vom Startpunkt immer in

die jeweils linke Kammer gelegt wird, dann lernen die Ratten, sich immer nach links zu wenden. Wenn die Ratten das Futter jedoch immer in der selben Kammer im Labyrinth erhalten, dann wenden sie sich nach links oder rechts, je nachdem an welcher Stelle sie den Kreuzgang betreten.

Wenn das, was als Antwort bezeichnet wird, ein Bewegungsmuster ist, dann sollte sich die Variabilität der Bewegungen, die die Antwort ausmachen mit zunehmendem Lernen verringern. So eine Reduktion in der Vielfältigkeit der Bewegungen, die die Tiere dem Futter näher bringen, wäre nicht zwingend zu erwarten, wenn die Tiere beispielsweise allgemeiner Lernen, dass sie an Futter kommen können, wenn sie die Kammer am Ende des linken Ganges ansteuern. Muenzinger (1928) trainierte Meerschweinchen über 1000 Durchgänge hinweg darin, zu einem Hebel zu laufen und ihn zu drücken. Er beobachtete, auf welche Weise die Meerschweinchen den Hebel drückten: mit dem linken Fuß, mit dem rechten Fuß, mit der Nase, mit beiden Füßen, usw.. Wenn man annimmt, dass das was die Antwort ausmacht, die durch Futter verstärkt wird, konkrete Bewegungsmuster sind, dann würde man erwarten, dass die Meerschweinchen sich mit zunehmender Übung jeweils auf eine Variante festlegen, den Hebel zu drücken. Wenn ein Meerschweinchen beispielsweise den Hebel mit dem linken Fuß gedrückt hat und danach Futter bekommt, dann würde genau dieses Bewegungsmuster verstärkt werden. Wenn das Meerschweinchen das nächste mal zu dem Hebel läuft, sollte es also noch wahrscheinlicher sein, dass es wieder den linken Fuß zum Drücken benutzt und wenn dies geschieht, würde dieses Bewegungsmuster gestärkt werden, was es beim nächsten Durchgang noch wahrscheinlicher zum Zuge kommen lassen würde, usw.. Allerdings blieben die Meerschweinchen flexibel darin, wie sie den Hebel herunter drückten. Gelernt wurde anscheinend eher, dass es sich lohnte den Hebel zu drücken, als eine spezifische Art dies zu tun. Lernen betrifft also allgemeine Antworteigenschaften.

Wenn sich die Auftretenshäufigkeit eines Verhaltens erhöht, heißt das nicht unbedingt, dass Assoziationen zwischen Reizen und dem entsprechenden Verhalten gestärkt worden sind. Tatsächlich werden möglicherweise nicht Assoziation von Reizen und Reaktionen durch Lernen verändert, sondern Assoziationen zwischen Reizen. Der Anfang des Ganges kann als ein Reiz begriffen werden der beispielsweise mit dem Ende des Ganges (nächster Reiz) verknüpft wird, das wiederum mit dem Futter assoziiert ist. Die Reiz-Reiz-Interpretation geht nicht davon aus, dass eine spezifische Reaktion erlernt wird. Stattdessen zeigt das Tier jeweils ein Verhalten, das zur aktiven Repräsentation passt und die Situation (z.B. Hindernisse im Weg) berücksichtigt. Wenn sich das Tier am Anfang des Ganges befindet, wird also die Assoziation zum Futter am Ende des Ganges hervorgerufen. Die Repräsentationen lösen jeweils Verhalten aus, ohne dass das Verhalten selbst mit den Reizen assoziiert sein müsste. Das Tier kann auf verschiedene Weise zu dem zweiten Reiz und schließlich zum Futter gelangen. So nützt den Ratten die beim Laufen gemachte Erfahrung in dem Gang auch dann noch, wenn der Gang unter Wasser gesetzt wird und sie folglich

zum Futter schwimmen müssen (Tolman, 1932).

Ratten als Forscher/innen

Tolman (1948) fasste Forschung mit Ratten dahingehend zusammen, als das Verhalten oft zielgerichtet ist und spezifische Bewegungsmuster nicht wesentlich sind, wenn es darum geht verstärktes Verhalten zu charakterisieren. Die von ihm vorgestellten Befunde wurden dahingehend gedeutet, dass Ratten sich aktiv ein Bild von ihrer Umgebung machen also mentale Repräsentationen ihrer Umwelt aufbauen. Sie sind von sich aus motiviert, ihre Umwelt zu erkunden und zu verstehen. Belohnungen wie Futter sind für das Lernen nicht notwendig. Beispielsweise zeigte eine Gruppe von Ratten, die für das korrekte Durchlaufen eines Labyrinthes zunächst nicht belohnt wurde, nachfolgend die gleiche Laufleistung wie eine Gruppe, die immer mit Futter belohnt worden war. Die Befunde implizieren dass, Ratten auch dann eine mentale Repräsentation des Labyrinthes erstellen, wenn keine Belohnung gegeben wird und dass Belohnung wohl die Nutzung „latent“ erworbenen Wissen beeinflussen kann, nicht aber dessen Erwerb. Der Verstärker hat also lediglich bewirkt, dass sich vorher erworbenes Wissen im Verhalten ausdrückt. Da während des Lernprozesses selbst sich das Verhalten (mangels externer Verstärkung) nicht sichtbar veränderte, spricht man von latentem Lernen.

In einem anderen Labyrinth-Versuch wurde nach dem Training der ehemals korrekte Gang (zum Futter) verschlossen, und es wurden alternativ verschiedene Gänge angeboten, die strahlenförmig angeordnet waren. Die Ratten wählten in der Mehrzahl denjenigen Gang, der in Richtung des Zielortes im Labyrinth verlief. Hingegen wählten sie z. B. nicht den Gang, dessen Eingang am dichtesten zu dem verschlossenen Eingang lag, oder den Gang, dessen erste Richtungsänderung am besten zum ehemals trainierten Weg passte. Die Interpretation, dass sich die Ratten eine räumliche mentale Karte der Situation erarbeitet hatten, wurde noch durch einen Zwischenfall am Anfang der Versuchsreihe betont. Dabei versuchten die Ratten, sich einen Überblick über das Labyrinth zu verschaffen, indem sie auf die Mauern kletterten.

Tolman argumentierte, dass es beide Formen von Wissen gäbe und dass es von den Umständen abhängt, ob die Ratten einen Überblick über das Labyrinth erwerben oder lediglich lernen, an welcher Ecke welche Richtungsänderung korrekt ist. Er nahm an dass die Ratten bei mittlerer Motivation (wenig Hunger) eine kognitive Repräsentation aufbauen, die mit einer mentalen Landkarte verglichen werden könne. Bei extremer Motivation (großer Hunger) jedoch fände ein Lernen statt, das zu einem Wissen führe, das gut zu behavioristischen Theorien passe und keinerlei Überblick über das Labyrinth beinhalte. Die Ratten speichern in diesem Fall zu jedem Hinweisreiz die erforderliche Laufrichtung ab. Die Weggabelungen wirken also als Reiz, denen z.B. die Bewegungsrichtung links oder rechts als Reaktion zugeordnet wird. Tolman nutzte zur Charakterisierung des Reiz-Reaktions-Wissens

als Metapher die damaligen Telefon-Schaltzentralen. Um ein Gespräch zustandezubringen, mussten aus einer Vielzahl von Kabeln die beiden Kabel (für Reiz und Reaktion) der zwei Teilnehmer in der Zentrale zusammengesteckt werden. Eine Kombination von zwei Gesprächspartnern, die sich häufig ergibt, könne die Zentrale durch Übung schneller herstellen (Stärkung von erfolgreichen Reiz-Reaktions-Verbindungen), es gab jedoch keine Repräsentation von Wissen im Sinne eines mentalen Abbildes äußerer Gegebenheiten. Dies ist dagegen bei der Metapher eines zentralen Kontrollraums der Fall. Analog zu einer Landkarte in einem Polizeiquartier, in der die Orte mit besonderen Vorkommnissen mit Fähnchen markiert sind, stellt sich das Überblickswissen der Ratten dar, die ein Abbild ihrer Umwelt erlernen können. Andere Versuche wiesen darauf hin, dass Ratten neue Labyrinth so durchlaufen, als ob sie Hypothesen testeten. Sie probierten beispielsweise zunächst alle grauen oder alle linken Türen aus, bevor sie, falls die nicht erfolgreich war, alle weißen oder alle rechten Türen testeten.

Wenn sich plötzlich die Erwartungen ändern, kann sich das Verhalten auch schnell ändern. Beispielsweise ließ Tolman (1932) Ratten in neun Durchgängen durch ein Labyrinth laufen, an dessen Ende sie jeweils ein besonders leckeres Futter in der Futterbox fanden. Im zehnten Durchgang wurde in der Futterbox jedoch ein weniger schmackhaftes Futter platziert. Im elften Durchgang liefen die Ratten dann deutlich langsamer durch das Labyrinth. Die Erwartung einer vergleichsweise geringwertigen Belohnung hatte also unmittelbare Konsequenzen für das Verhalten. Das Verhalten kann also nicht allein durch Assoziationen bestimmt sein, Reize und Reaktionen beinhalten, die beim Durchlaufen des Labyrinthes relevant waren. Vielmehr kann man annehmen, dass Assoziationen zwischen Verhalten und zu erwartendem Ergebnis gebildet worden sind. Wenn sich ändert, was man als Konsequenz einer Handlung erwartet, verändert sich die Auftretenswahrscheinlichkeit der Handlung. Wenn ein Futter verdorben ist, stellen die Ratten das Verhalten ein, das zu einer Belohnung mit diesem Futter geführt hatte. Wenn Ratten mit durch das Drücken zwei verschiedener Hebeln jeweils verschiedene Sorten Futter erhalten können und sich anschließend an einem der beiden Futtersorten satt essen können, dann wird der zugehörige Hebel im Folgenden seltener gedrückt als der andere Hebel. Die Tiere bilden also Assoziationen zwischen Verhaltensweisen und Konsequenzen.

Sehen oder Machen – Lernen durch Manipulieren

Wir haben diskutiert, wie Ereignisse in der Umwelt, die gemeinsam auftreten, miteinander assoziiert werden. Diese Ereignisse können einander bedingen oder aber aus anderen Gründen zusammen auftreten, ein Unterschied, der für Organismen wichtig sein kann. Hier scheint zu helfen, dass Lernen besonders stark ist, wenn Ereignisse *produziert* werden (vgl. Blaisdell, 2008). Wenn sich der Anzeigestand eines Barometers nach oben oder unten verändert, dann sind häufig spezifische Änderungen im Wetter zu beobachten. Wenn

der Zeiger steigt, dann kann man Sonnenwetter erwarten. Ein Fallen des Zeigers geht meist mit der Bildung von Regenwolken einher. Da Änderungen in der Anzeige des Barometers Wetteränderungen vorausgehen, könnte ein Kind annehmen, dass das Barometer das Wetter verändert. Man kann erwarten, dass es dann den Zeiger des Barometers auf einen hohen Wert schiebt, um schönes Wetter zu produzieren. Diese Intervention und das folgende Ergebnis kann auf das Wissen über den Zusammenhang von Barometer und Wetter eine viel größere Wirkung haben, als die vielen vorangegangenen Beobachtungen, bei denen nicht aktiv eingegriffen wurde. Das ist beispielsweise der Fall, wenn ein Schalter gedrückt wird und darauf das Licht angeht. Gleichmaßen kann aber auch die Beobachtung einer Intervention zu Wissen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge führen. Wenn also ein herabfallendes Buch gegen den Schalter stößt und das Licht angeht, wird der Zusammenhang von Schalterbetätigung und Licht auf ähnliche Weise klar.

Abstrakt oder konkret – Tiere lernen den zu nehmen, der nicht passt

Es ist eine spannende Frage, ob Tiere abstrakte Zusammenhänge lernen können, oder ob sie lediglich lernen können, auf konkrete Reize hin die passende Reaktion zu produzieren. Eine interessante Methode, um Abstraktionsfähigkeiten bei Tieren auf die Spur zu kommen, ist das Ungleichheits-Lernen (odddity learning sets). Dabei werden in jedem Durchgang drei Objekte dargeboten. Zwei der Objekte sind gleich und Verstärkung erfolgt, wenn das dritte, ungleiche Objekt gewählt wird. Tiere können bei wiederholter Darbietung der drei Objekte lernen, das einzelne Objekt zu wählen. Das kann zum einen daran liegen, dass Sie gelernt haben, dieses spezifische Objekt auszuwählen oder aber auch daran, dass sie gelernt haben, allgemeiner jeweils das einzelnen Objekt zu wählen – welches auch immer das im Konkreten Fall ist. Nachdem einige Durchgänge mit einem Satz von drei Objekten absolviert worden sind, werden also jeweils drei neue Objekte gewählt – wiederum zwei die sich gleichen und ein einzelnes. Wenn Tiere im allerersten Durchgang mit einem neuen Satz von Objekten die richtige Entscheidung treffen, dann kann man davon ausgehen, dass die Tiere das Konzept „Ungleichheit“ erworben haben. Schließlich hatten sie bei dem neuen Material ja noch keine Gelegenheit, auf die Wahl eines der Objekte hin eine Belohnung bzw. das Ausbleiben der Belohnung zu erfahren. Die Fähigkeit abstrakte Konzepte zu erwerben wurde mit dieser Aufgabe bei Primaten (Thomas & Frost, 1983) aber auch bei Seelöwen (Hille, Dehnhardt, & Mauck, 2006) festgestellt.

Können Tiere beliebige Verknüpfungen lernen?

Allgemeine Lernmodelle haben den Vorteil, dass mit einem Satz einfacher Regeln, Vorhersagen für verschiedene Lernbedingungen gemacht werden können, also beispielsweise auch für Reize mit denen noch keine Erfahrungen vorliegen. Die Annahme, dass prinzipiell alle Reize gleich gut miteinander assoziiert werden können, hat den theoretischen Vorteil, dass man Änderungen im Verhalten auf Lernen während des Lebens des Organismus

zurückführen kann, ohne mögliche angeborene Verhaltensweisen ergründen zu müssen. Ein praktischer Vorteil wäre, dass man bei Anwendung der allgemeinen Erkenntnisse zum Lernen sehr flexibel Verhalten in gewünschte Bahnen lenken könnte, in dem man die Umwelt so strukturiert, dass sich die entsprechenden Verhaltensänderungen ergeben. Allerdings zeigt die Forschung zum Klassischen Konditionieren mittlerweile recht deutlich, dass sich manche Konditionierte Reize leichter als andere mit bestimmten Unkonditionierten Reizen assoziieren lassen. Dies widerspricht der Annahme der Philosophischen Strömung des Empirizismus (z.B. John Locke, 1632-1704) und den daran angelehnten behavioristischen Annahmen von Skinner (1950) und J. B. Watson (1913). Danach kämen die Menschen und Tiere im Wesentlichen ohne angeborenes Wissen auf die Welt und alles Wissen würde auf Erfahrungen während der Lebensspanne basieren. Entgegen der Annahme, dass prinzipiell alle Reize gleich gut miteinander assoziiert werden können die in enger zeitlicher Abfolge erscheinen, gibt es viele Belege für angeborene Prädispositionen bestimmte Verknüpfungen leicht und andere weniger leicht lernen zu können (Domjan, 2005). Beispielsweise treten beim Erwerb von Geschmacksaversionen zwei Eigenschaften zu Tage, die in anderen Lernzusammenhängen nicht gelten. Zum einen werden Geschmacksaversionen, also Assoziationen zwischen einer Art Futter und Übelkeit, erworben, obwohl zwischen der Nahrungsaufnahme und der Übelkeit Stunden liegen. In diesen Stunden können viele andere Ereignisse auftreten, die potentiell anstelle des Futters mit der Übelkeit assoziiert werden könnten. Trotzdem wird das Futter gemieden, wenn es wieder verfügbar gemacht wird. Geschmacksaversionen können in einem einzigen Zyklus von Nahrungsaufnahme und Übelkeit gelernt werden. Es gibt kaum andere Beispiele, bei denen bei einmaliger Paarung und großem zeitlichem Abstand eine Verknüpfung erstellt wird. Wenn also Geschmacksaversionen im Vergleich zu anderen Dingen, die man lernen kann, besonders schnell abläuft, dann spricht das dagegen, dass die selben Lernregeln für alle möglichen Inhalte gelten könnten. Anscheinend lassen sich manche besonders überlebenswichtigen Assoziationen besonders leicht herstellen. Das kann dadurch geschehen, dass die relevanten Reize leicht entdeckt und daher leicht assoziiert werden können. LoBue und DeLoache (2008) konnten zeigen, dass schon Vorschulkinder Schlangen schneller entdecken können als vergleichbare ähnliche Objekte. Während Angst vor Schlangen nicht angeboren ist, bringen schon Säuglinge die Fähigkeit mit, Schlangen leicht zu entdecken. Daher können sie beispielsweise die Schlangen und die Angstreaktion der Mutter leicht assoziieren, während es keine angeborene Lern-Erleichterung gibt, was den Erwerb des Wissens um die Gefährlichkeit von Steckdosen oder Straßenkreuzungen angeht.

Eine weitere Beobachtung, die gegen die umfassende Gültigkeit allgemeiner Lernregeln spricht, ist das Assoziationen zwischen manchen Ereignissen leichter erworben werden können als zwischen anderen. Garcia und Koelling (1966) beobachteten, dass Übelkeit, als innerer Unkonditionierter Reiz, eher mit einem Geschmacksreiz assoziiert wird,

wohingegen Schmerz eher mit einem äußeren Reiz (Licht, Ton) assoziiert wird. In einem Versuch konnten Ratten Wasser trinken, das süß (Konditionierter Reiz 1) war und bekamen zusätzlich Licht und Ton (Konditionierter Reiz 2) dargeboten. Manche der Ratten bekamen danach ein Mittel injiziert, das Übelkeit und Erbrechen erzeugte (Unkonditionierter Reiz 1). Andere Ratten erhielten einen leichten Stromschlag (Unkonditionierter Reiz 2). Diejenigen Ratten, die das Mittel injiziert bekommen hatten, tranken später weniger Wasser, wenn es einen süßen Geschmack hatte, als wenn ungesüßtes Wasser zusammen mit dem Ton und dem Licht dargeboten wurde. Ein einziger Lerndurchgang genügte, eine Geschmacksaversion zu erzeugen. Die Ratten, die einen Schock erhalten hatten, tranken hingegen unvermindert, wenn das Wasser gesüßt war, jedoch weniger, wenn gleichzeitig mit der Darbietung von Wasser Ton und Licht präsent waren.

Beobachtungslernen – Lernen was erlaubt ist

Bisher wurde instrumentelles Lernen so beschrieben, dass Tiere oder Menschen die positiven oder negativen Konsequenzen eigener Handlungen im Gedächtnis behalten. Die Handlungen sind mit den Konsequenzen assoziiert. Es gibt also eine Zuordnung von Handlungen zu Konsequenzen, die dazu benutzt wird, die zu einer gewünschten Konsequenz passende Handlung auszulösen. Sowohl bei Menschen als auch bei Tieren (Pearce, 1997) kann die Assoziation von Handlungen und Konsequenzen auch durch Beobachten anderer erstellt werden. Man muss die Konsequenzen also nicht selbst hervorrufen bzw. am eigenen Leib erfahren. An imitativem Verhalten kann man genauso Verstärkerabhängigkeit, Lösbarkeit und Generalisierbarkeit beobachten, wie das sonst bei konditioniertem Verhalten der Fall ist (Miller & Dollard, 1941). In vielen Fällen wird also imitatives Verhalten auf Lernen und nicht auf angeborenen Instinkten beruhen. Miller und Dollard ließen Kinder zunächst ein anderes Kind (die Modellperson) dabei beobachten, wie es eine Auswahl zwischen zwei Schachteln traf, die links und rechts positioniert waren. In einer der beiden Schachteln befand sich ein Bonbon, den das Kind behalten konnte, die andere Schachtel war leer. Danach durfte auch das Kind eine Schachtel wählen, die den Vorgang beobachtet hatte. In der Imitationsbedingung fand das Kind immer dann ein Bonbon vor, wenn es genau die selbe Schachtel wählte, die zuvor das andere Kind gewählt hatte. In der anderen Bedingung, wurde immer die entgegengesetzte Wahl verstärkt. Das Kind erhielt also dann ein Bonbon, wenn es die zuvor nicht gewählte Schachtel auswählte. Dieser Ablauf wurde mehrfach wiederholt. Die Modellperson wählte zufällig mal die eine und mal die andere Schachtel. In beiden Bedingungen lernten die Kinder schnell, welches Verhalten zum Erfolg führte. Bei instinktgetriebener Imitation wäre zu erwarten gewesen, dass die Bedingung, in der die gleiche Schachtel belohnt wird, besser abschneidet als die Bedingung in der die jeweils andere Schachtel ein Bonbon enthält. Die Kinder konnten das beobachtete Verhalten und dessen Konsequenzen flexibel nutzen, um die eigene Handlung

je nach Verstärkerbedingung passend auszuwählen.

Man könnte kritisch einwenden, dass sowohl die Modellperson als auch die Versuchsteilnehmer Verstärkung erfahren haben. Zum einen beobachteten die Kinder, wofür ein anderes Kind ein Bonbon bekommt. Zum anderen erhielten sie jedoch auch selber Bonbons. Eine noch klarere Abgrenzung der Methodik von anderen instrumentellen Lernversuchen hat Bandura 1965 vorgestellt. Beobachtungslernen fand bei ihm statt, ohne dass das Kind selbst handelte und selbst verstärkt wurde. Kindern wurde ein Film gezeigt, in denen ein anderes Kind ein lebensgroße Plastikpuppe (Bobo Doll) misshandelte. In einer der beiden Versuchsbedingungen sahen die Kinder anschließend eine stellvertretende Bestrafung. Ein Erwachsener tadelte die aggressive Modellperson deutlich. In der anderen Versuchsbedingung (stellvertretende Verstärkung) lobte ein Erwachsener das Kind, dass die Puppe geschlagen und getreten hatte. In einer Kontrollbedingung wurde die bewertende Episode weggelassen. Nach dem Film konnten die Kinder in einem Nebenraum frei spielen, in dem sich auch die aus dem Film bekannte Puppe befand. Aggressives Verhalten wurde in der Bedingung, in der das Modell verstärkt worden war, häufiger beobachtet als in der Kontrollbedingung und in der Bedingung mit stellvertretender Bestrafung. Interessanterweise beschränkt sich das Modelllernen nicht auf imitatives Verhalten. Schon Bandura, Ross und Ross, 1961 demonstrierten, dass Kinder, die aggressives Verhalten beobachtet haben, auch erhöht aggressives Verhalten das gar nicht am Modell beobachtet worden ist. Kinder spielten in einem Zimmer. Dann wurde durch ein Erwachsener (die Modellperson) hinzugeholt, die sich entweder durchgehend mit Bastelspielzeug beschäftigte oder aber das Bastelspielzeug bald beiseite legte, um eine lebensgroße Plastikpuppe zu misshandeln. Bevor die Kinder in einem neuen Raum mit der Plastikpuppe und anderem Spielzeug spielen konnten, wurden sie dadurch frustriert, dass ihnen einiges attraktives Spielzeug explizit vorenthalten wurde. Kinder, die die aggressive erwachsene Modellperson beobachtet hatten, zeigten mehr aggressives Verhalten als die anderen ebenfalls frustrierten Kinder. Da das Modelllernen auch die Auftretenshäufigkeit von aggressivem Verhalten erhöhte, dass das Modell nicht gezeigt hatte, kann geschlussfolgert werden, dass die Kinder auch gelernt haben, dass aggressives Verhalten im Allgemeinen erlaubt ist. Neben der Imitation von konkreten Verhaltensweisen kommt es also dazu, dass gelernt wird, dass diese und ähnliche Verhaltensweisen belohnt bzw. nicht bestraft werden. Bandura und Mischel (1965) konnten zudem demonstrieren, dass Modelllernen bei Kindern kurz- und langfristig beeinflussen kann, ob eine unmittelbare kleine (z.B. kleinen Gummiball sofort) oder eine verzögerte größere Belohnung (z.B. Großer Gummiball in zwei Wochen) bevorzugt wird.

Ähnlich zu dem Wissen darum, dass ein Verhalten belohnt wird, kann vom Modell gelernt werden, dass es möglich ist, ein bestimmtes Ziel zu erreichen. So lernen beispielsweise wilde Schimpansen in West-Afrika, mit Steinen Palmnüsse aufzuschlagen um an das Mark zu gelangen (Hayashi, Mizuno, Matsuzawa, 2005). Eine Palmnuss wird auf einen

flachen Stein positioniert und es wird mit einem zweiten Stein darauf geschlagen. Dabei muss die Kraft genau dosiert werden, damit die Nuss nicht vom Stein springt. Junge Schimpansen verbringen viele Stunden damit zu beobachten, wie erwachsene Artgenossen die Nüsse aufschlagen. Dabei lernen sie vor allem, dass es möglich ist, die Nüsse aufzuschlagen. Die volle Beherrschung dieser Fertigkeit verlangt jahrelange Übung. Beobachtungslernen scheint also unter anderem Wissen darüber herzustellen, dass ein Ziel erreicht werden kann, und wie man es versuchen kann, die Fertigkeiten zu erwerben.

Schluss

Eingangs wurde behauptet, dass eine wesentliche Funktion des Gehirns ist, Vorhersagen zu machen und damit Anpassungen an zukünftige Ereignisse zu ermöglichen bzw. zukünftige Ereignisse herbeizuführen (Clark, 2013; James, 1879). Ausgehend von der Überlegung, dass es Lernen bedarf, um Vorhersagen zu ermöglichen, wurden Forschungsfragen, Methoden und Theorie-Perspektiven vorgestellt, die für die Forschung zu Lernen relevant sind. Der Fokus lag dabei auf dem Klassischen Konditionieren und Operanten Konditionieren, da die damit verbundenen Methoden, Konzepte, Begriffe und Forschungsergebnisse in Grundlagenforschung (inkl. Kognitive Neurowissenschaften) und anwendungsorientierter Forschung (z.B. Suchtforschung) besonders relevant sind.

Quellen

- Anderson, J. R. (2000). *Learning and memory: An integrated approach* (2nd edition). New York: John Wiley & Sons.
- Bandura, A. Influence of models' reinforcement contingencies on the acquisition of imitative responses. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1(6), 589-595.
- Bandura, A., & Mischel, W. (1965). Modification of self-imposed delay of reward through exposure to live and symbolic models. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2(5), 698-705.
- Bandura, A., Ross, D., & Ross, S. A. (1961). Transmission of aggressions through imitation of aggressive models. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 63, 575-582. PDF: <http://psychclassics.yorku.ca/Bandura/bobo.htm>
- Blaisdell, A. P. (2008). Cognitive dimension of operant learning. In: J. Byrne (Series Ed.) & H. L. Roediger III (Vol. Ed.), *Learning and memory: A comprehensive reference: Vol. 1. Cognitive psychology of memory* (pp. 173–195). Oxford, England: Elsevier.
- Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 1-24. PDF: <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/~karl/Whatever%20next.pdf>
- Colgan, D. M. (1970). Effect of instructions on the skin conductance response. *Journal of Experimental Psychology*, 86, 108-112.
- Colwill, R. M., & Rescorla, R. A. (1990). Evidence for the hierarchical structure of instrumental learning. *Animal Learning & Behavior*, 18(1), 71-82.
- Cook, S. W., & Harris, R. E. (1937). The verbal conditioning of the galvanic skin reflex. *Journal of Experimental Psychology*, 21, 202-210.

- De Houwer, J., Barnes-Holmes, D., & Moors, A. (2013). What is learning? On the nature and merits of a functional definition of learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*, 631–642.
- De Houwer, J., Vandorpe, S., & Beckers, T. (2005). On the role of controlled cognitive processes in human associative learning. In A. Wills (Ed.), *New directions in human associative learning* (pp. 41-63). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum. PDF <http://users.ugent.be/~jdhouwer/wills.pdf>
- Domjan, M. (2005). Pavlovian conditioning: A functional perspective. *Annual Review of Psychology*, *56*, 179-206.
- Garcia, J., & Koelling, R. A. (1966). Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonomic Science*, *4*, 123–124.
- Gluck, M.A., & Bower, G. H. (1988). From conditioning to category learning: An adaptive network model. *Journal of Experimental Psychology: General*, *8*, 37-50.
- Gundlach, H. (2006). Carl Stumpf, Oskar Pfungst, der Kluge Hans und eine geglückte Vernebelungsaktion. *Psychologische Rundschau*, *57*(2), 96-105.
- Hayashi, M., Mizuno, Y., & Matsuzawa, T. (2005). How does stone-tool use emerge? Introduction of stones and nuts to naive chimpanzees in captivity. *Primates*, *46*, 91–102.
- Hille, P., Dehnhardt, G., & Mauck, B. (2006). An analysis of visual oddity concept learning in a California sea lion (*Zalophus californianus*). *Learning & Behavior*, *34*(2), 144-53.
- Holland, P. C., & Rescorla, R. A. (1975). The effects of two ways of devaluing the unconditioned stimulus after first- and second-order appetitive conditioning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *1*, 355-363.
- James, W. (1879). Are we automata? *Mind*, *4*, 1-22.
<http://psychclassics.yorku.ca/James/automata.htm>
- Kamin, L. J. (1968). "Attention-like" processes in classical conditioning. In M. R. Jones (Ed.), *Miami Symposium on the Prediction of Behavior: Aversive stimulation* (pp. 9-31). Miami, FL: University of Miami Press.
- Kamin, L. J. (1969). Predictability, surprise, attention, and conditioning. In B. A. Campbell & R. M. Church (Eds.), *Punishment and aversive behavior*. (pp. 279-296). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Koch, I., & Stahl, C. (2017). Lernen – Assoziationsbildung, Konditionierung und implizites Lernen. In: J. Müsseler & M. Rieger (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. (S. 319 – 352). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Light, J. S., & Gantt, W. H. (1936). Essential part of reflex arc for establishment of conditioned reflex – Formation of conditioned reflex after exclusion of motor peripheral end. *Journal of Comparative Psychology*, *21*, 19-36.
- LoBue, V., & DeLoache, J. (2008). Detecting the snake in the grass: attention to fear-relevant stimuli by adults and young children. *Psychological Science*, *19*(3), 284-289.
- Mayer, R. E. (2002). Rote versus meaningful learning. *Theory into Practice*, *41*(4), 226-232.
PDF: http://web.mit.edu/jrankin/www/teach_transfer/rote_v_meaning.pdf
- Miller, N. E., & Dollard, J. (1941). *Social learning and imitation*. New Haven: Yale Univer. Press.
- Muenzinger, K. F. (1928). Plasticity and mechanization of the problem box habit in guinea pigs. *Journal of Comparative Psychology*, *8*(1), 45-69.
- Blaisdell, A. P. (2008). Cognitive dimension of operant learning. In: J. Byrne (Series Ed.) & H. L. Roediger III (Vol. Ed.), *Learning and memory: A comprehensive reference: Vol. 1. Cognitive psychology of memory* (pp. 173–195). Oxford, England: Elsevier.
- Ostlund, S. B., Winterbauer, N. E., & Balleine, B. W. (2008). Theory of reward systems. In: J. Byrne (Series Ed.) & H. L. Roediger III (Vol. Ed.), *Learning and memory: A comprehensive reference: Vol. 1. Cogni-*

- tive psychology of memory* (pp. 701–719). Oxford, England: Elsevier. 701-720. PDF <http://faculty.sites.uci.edu/ostlund/files/2011/03/Ostlund-Winterbauer-and-Balleine-2008-Theories-of-Reward-Systems.pdf>
- Pearce, J. M. (1997). *Animal Learning and Cognition* (2nd edn.) East Sussex: Psychology Press Ltd.
- Pearce, J. M., & Bouton, M. E. (2001). Theories of associative learning in animals. *Annual Review of Psychology*, 52, 111–139.
- Pfungst, O. (1907). *Das Pferd des Herrn von Osten. Der Kluge Hans: Ein Beitrag zur experimentellen Tier- und Menschenpsychologie*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.
- Prinz, W. (2006). Messung kontra Augenschein: Oskar Pfungst untersucht den Klugen Hans. *Psychologische Rundschau*, 57(2), 106–111.
- Rescorla, R. A. (1988). Pavlovian conditioning: It's not what you think it is. *American Psychologist*, 43, 151-160.
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations on the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In A. H. Black & W. F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning: II. Current research and theory* (pp. 64-99). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Rizley, R. C., & Rescorla, R. A. (1972). Associations in higher order conditioning and sensory preconditioning. *Journal of Comparative Physiological Psychology*, 81, 1-11.
- Sheffield, F. D. (1965). Relation between classical and instrumental conditioning. In: Prokasy WF (ed.) *Classical Conditioning*, pp. 302–322. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Siegel, S., Hearst, E., George, N., & O'Neil, E. (1968). Generalization gradients obtained from individual subjects following classical conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, 78, 171-174.
- Siegler, R. S. & Stern, E. (1998). Conscious and unconscious strategy discoveries: a micro genetic analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127, 377-397.
- Skinner, B. F. (1950). Are theories of learning necessary? *Psychological Review*, 57, 193-216. <http://psychclassics.yorku.ca/Skinner/Theories/>
- Thorndike, E. L. (1911). *Animal intelligence*. (chapter 2) <http://psychclassics.yorku.ca/Thorndike/Animal/>
- Tolman, E. C. (1932). *Purposive behavior in animals and men*. New York: Century.
- Tolman, Ed., C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189-208. <http://psychclassics.yorku.ca/Tolman/Maps/maps.htm>
- Thomas, R. K., & Frost, T. (1983). Oddity and dimension-abstracted oddity (DAO) in squirrel monkeys. *The American Journal of Psychology*, 96(1), 51-64.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, 20, 158-177. <http://psychclassics.yorku.ca/Watson/views.htm>
- Waldmann, M. R. (2017). Kategorisierung und Wissenserwerb. In: J. Müsseler & M. Rieger (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. (S. 357 – 394). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.