

3 Lernen und Gedächtnis

3.1 Arbeitsgedächtnis

B

Der wohl berühmteste Patient der neuropsychologischen Gedächtnisforschung, ein junger Mann mit den Initialen H. M., unterzog sich einer beidseitigen Resektion (Abtragung) großer Teile des medialen Temporallappens, um eine anderweitig nicht behandelbare Epilepsie zu therapieren. Er litt nach dieser experimentellen Therapie an einer gravierenden Gedächtnisstörung, die darin bestand, dass er neue Informationen nicht dauerhaft erinnern konnte (Scoville/Milner 1957). Diese Unfähigkeit, neue Gedächtnisinhalte zu memorieren, äußerte sich etwa darin, dass er den Untersucher nicht mehr wiedererkannte, wenn dieser kurz das Zimmer verlassen hatte und H. M. seine Aufmerksamkeit zwischenzeitlich einer anderen Aufgabe zugewendet hatte. Andererseits war H. M. durchaus in der Lage, Informationen kurzzeitig aufzunehmen und zu behalten. So konnte er etwa von einer zuvor vorgelesenen Liste genauso viele Wörter wiedergeben wie vergleichbare hirngesunde Probanden, auch wenn die Wiedergabe zeitlich verzögert war. Sobald H. M. jedoch eine andere, interferierende, Aufgabe während des Behaltensintervalls ausführen musste, sank seine Behaltensleistung auf Zufallsniveau (s. Kap. 3.3 für weitere Informationen).

Gedächtnissysteme

Wir alle haben uns schon einmal darüber geärgert, etwas vergessen zu haben. Anders als bei der Wahrnehmung, deren Leichtigkeit über die Komplexität der Wahrnehmungsprozesse hinwegtäuscht, stoßen wir beim Gedächtnis nur allzu leicht an Grenzen. Manchmal können wir uns nicht an lange zurückliegende Ereignisse erinnern, u. U. können wir aber auch nur noch einen Bruchteil dessen berichten, was wir 10 Minuten zuvor in den Fernsehnachrichten gesehen haben. Oder es gelingt uns nicht, eine Telefonnummer abzuschreiben, ohne mehrmals auf die

Tab. 3.1.1: Gedächtnissysteme (nach Buchner 2003, bearbeitet)

Sensorische Speicher	■ Ikonischer Speicher ■ Echoischer Speicher
Arbeitsgedächtnis	■ zentrale Exekutive ■ Subsysteme: visuell-räumlich, phonologisch, episodisch
Langzeitgedächtnis Deklaratives Gedächtnis	■ Episodisches Wissen (Erlebnisse) ■ Semantisches Wissen (Fakten)
Nondeklaratives System	■ Perzeptuelles Lernen: Merkmals-erkennung, visuelle/auditive Wortform, Objektform ■ Prozedurales Wissen: motorische/kognitive Fertigkeiten, Konditionierung, assoziatives Wissen

Nummer zu schauen. Schließlich ist es auch eine Gedächtnisleistung, ein Klavierstück spielen zu lernen oder die Abfahrtstechnik am Skihang zu verbessern.

Diese Beispiele deuten schon an, dass sich Gedächtnisprozesse in ganz unterschiedlichen Zeitskalen abspielen und die unterschiedlichsten Inhalte betreffen können. Tabelle 3.1.1 gibt eine Konzeption verschiedener Gedächtnissysteme, die in den folgenden Kapiteln vorgestellt und kritisch diskutiert werden.

Tabelle 3.1.1 ist ein Versuch, die Vielfalt der Gedächtnisphänomene zu gliedern, der in Zukunft sicher noch Veränderungen erfahren wird. So gibt es neben dem ikonischen und auditiven Speicher (Kap. 3.4) sicher noch weitere sensorische Speicher, die aber nicht so gut erforscht sind wie diese beiden. Auch zur Struktur des Arbeitsgedächtnisses gibt es unterschiedliche Konzeptionen (s. u.). Perzeptuelles Lernen kann durchaus auch Prozesse des prozeduralen Lernens beinhalten (Kap. 3.4) sowie Konditionierungslernen auch Gemeinsamkeiten mit dem Erkennen von Kausalzusammenhängen (Kap. 3.7) und damit dem deklarativen Gedächtnis aufweisen. Trotz all dieser Einschränkungen ist die Systematik aber hilfreich, um die verschiedenen Ausprägungen des Gedächtnisses zu überblicken.

Befunde wie die Fallgeschichte von H. M. führen uns plastisch vor Augen, dass es einen Unterschied macht, Informationen kurzzeitig im Gedächtnis zu behalten oder ob eine Information dauerhaft im Gedächtnis abgespeichert ist. Die Diskrepanz zwischen dem intakten kurzzeitigen Behalten von H. M. und seiner Unfähigkeit, Gedächtnisinhalte über interferierende Aufgaben hinweg im Gedächtnis zu behalten, führt uns auch vor Augen, dass es ein vom Langzeitgedächtnis unabhängiges transientes Gedächtnis gibt.

**transientes
Gedächtnis**

Auch im Alltag machen wir häufig die Erfahrung, dass wir viele Dinge, etwa eine Telefonnummer, die wir gerade nachgeschaut haben, um sie Sekunden später einzutippen, nur kurzfristig merken und später nicht mehr erinnern. So sind denn auch die Bezeichnungen Kurz- und Langzeitgedächtnis Allgemeingut. Schwieriger wird es jedoch, wenn wir uns diese Unterscheidung einmal etwas genauer ansehen. Die wohl naheliegendste Frage wäre, wie lange dauert das Kurzzeitgedächtnis, wann beginnt das Langzeitgedächtnis? Um es gleich vorwegzunehmen, es kommt weit mehr darauf an, welche Anforderungen wir während des Behaltensintervalls erfüllen müssen, als auf die Dauer dieses Intervalls.

Machen Sie einmal folgenden Selbstversuch. Lassen Sie sich von einem Freund 10 Wörter vorlesen und versuchen Sie, nach 2 Minuten, in denen Sie sich nicht durch andere Tätigkeiten wie Gespräche, Musikhören etc. ablenken lassen, möglichst viele dieser Wörter wiederzugeben. Wiederholen Sie den Versuch nun mit einer neuen Wortliste, nur dass Sie das Behaltensintervall auf 30 Sekunden verkürzen, während derer Sie, von 99 beginnend, jeweils 7 subtrahieren, also 99, 92, 85...

Wenn Sie diese Aufgabe ausgeführt haben, werden Sie wohl bemerkt haben, dass es sehr viel schwieriger ist, etwas zu memorieren, während man gleichzeitig andere Informationen bereithalten muss, um eine andere Aufgabe durchzuführen. Offenbar ist die Kapazität des Kurzzeitspeichers begrenzt. Wenn wir Zwischenresultate aus der Rechnung für den nächsten Rechenschritt bereithalten, können wir

entsprechend weniger Wörter memorieren. Wenn wir andererseits keine Interferenzaufgabe während des Behaltensintervalls bearbeiten müssen, fällt uns das Memorieren der Wörter relativ leicht. Vermutlich haben Sie die Wörter leise oder laut vor sich hin gesprochen, bis der Zeitpunkt des Abrufs gekommen war. Diese Strategie, im Englischen *rehearsal* genannt, erlaubt es uns, dem Vergessen entgegenzuwirken und das Behalten beinahe beliebig zu verlängern.

3.1.1 Das Konzept des Kurzzeitgedächtnisses

Eine vormalis einflussreiche Theorie des Gedächtnisses von Atkinson und Shiffrin (1968) postulierte, dass es zwischen den sensorischen Speichern und dem Langzeitgedächtnis ein separates Kurzzeitgedächtnis gebe, das anderen Gesetzmäßigkeiten als das Langzeitgedächtnis unterliege und eine notwendige Zwischenstufe für die Speicherung im Langzeitgedächtnis darstelle. Man nahm an, dass *rehearsal* im Kurzzeitgedächtnis eine notwendige Voraussetzung zum Aufbau eines Langzeitgedächtniseintrags sei, dass ferner Informationen im Kurz- und Langzeitgedächtnis unterschiedlich repräsentiert seien und schließlich, dass die Zeitdauern der Speicherung, gemäß der Namensgebung, verschieden seien.

Alle drei Annahmen stießen auf Schwierigkeiten (s. Anderson 2000). Zunächst einmal reicht reines *rehearsal* für eine effektive Enkodierung im Langzeitgedächtnis nicht aus. Dies wurde paradigmatisch unter dem Stichwort *levels of processing* bekannt (Craik/Lockhart 1972).

Craik und Tulving (1975) zeigten in einer Serie von Experimenten, dass die Tiefe der Verarbeitung einen entscheidenden Einfluss auf die dauerhafte Enkodierung hat. Sie variierten die Verarbeitungstiefe durch verschiedene Instruktionen beim Erlernen einer Wortliste. Eine geringe Verarbeitungstiefe wurde durch die Instruktion induziert, die Wörter aus einer Liste daraufhin zu beurteilen, ob sie groß oder klein geschrieben waren. Eine mittlere Verarbeitungstiefe wurde dadurch erreicht, dass die zu lernenden Wörter daraufhin beurteilt wurden, ob sie sich mit einem anderen Wort reimten. Die tiefste Verarbeitung schließlich wurde dadurch erreicht, dass Satzanfänge vorgegeben und die Wörter daraufhin beurteilt wurden, ob sie sich zur Satzergänzung eigneten. Die Behaltensleistung für die Wörter stieg mit der Verarbeitungstiefe, die wenigsten Wörter wurden in der Groß-/Kleinschreibungsaufgabe behalten, einige mehr in der Reimaufgabe und schließlich die meisten in der Satzergänzungsaufgabe.

Die Tiefe der Verarbeitung hatte also einen direkten Einfluss auf die Behaltensleistung. Dies passte nicht zu der Vorstellung eines Kurzzeitgedächtnisses, dessen primäre Funktion das *rehearsal* war.

Verbunden war damit auch die Vorstellung, dass der Inhalt des Kurzzeitgedächtnisses eine sensorische Natur hat, im Unterschied zu einer semantischen Kodierung im Langzeitgedächtnis. Tatsächlich gibt es vielfältige Hinweise darauf, dass wir mit zunehmender Dauer des Behaltensintervalls eher den semantischen Gehalt als die sensorischen Details einer Begebenheit behalten (s. aber Kap. 3.4 zum visuellen Langzeitgedächtnis). Die Annahme einer ausschließlich sensorischen Natur der initialen Speicherung kann jedoch relativ einfach widerlegt werden.



Verarbeitungstiefe



Kodierungs-
unterschiede



Versuchen Sie sich einmal folgende Buchstabenketten einzuprägen:

HJU ERW SIF ULO XYZ VAZ ISD

Schreiben Sie aus dem Gedächtnis auf, wie viele „Silben“ sie erinnern. Versuchen Sie nun das Gleiche mit folgenden Buchstabenketten:

BMW IBM UNO USA SPD CDU ETC

Es erscheint trivial, dass wir bedeutungshaltige Buchstabenkombinationen besser behalten können. Das bedeutet aber, dass wir diese bereits von Anfang an mit einer semantischen Bedeutung verknüpfen können. Umgekehrt können wir uns dauerhaft an die Melodien unserer Lieblingslieder erinnern (oder auch an Schlager oder Werbe-Jingles, die wir gar nicht erinnern möchten), was zeigt, dass die Natur der Langzeitspeicherung auch nicht allein semantischer Natur sein kann (s. Kap. 3.4). Auf die Frage der Enkodierung von Gedächtnisinhalten werden wir im nächsten Kapitel noch ausführlicher eingehen. Hier bleibt festzuhalten, dass Kodierungsunterschiede keinen eindeutigen Hinweis auf ein separates Kurzzeitgedächtnis geben.

Auch der dritte Grund für die Annahme eines separaten Kurzzeitgedächtnisses, die unterschiedliche Zeitdauer des Behaltens, liefert keine eindeutigen Hinweise auf getrennte Kurz- und Langzeitspeicher. Misst man die Behaltensleistung über eine Reihe von Zeitintervallen, so erhält man als generellen Befund einen starken initialen Abfall der Behaltensleistung. Dieser geht dann in einen relativ flachen Anteil der Kurve über, der einen geringeren Abfall der Behaltensleistung über längere Zeitintervalle widerspiegelt. Die höhere initiale Behaltensleistung wurde dem Kurzzeitgedächtnis zugeschrieben, der steile Abfall dem relativ schnellen Zerfall dieser Kurzzeitspeicherung.

Das Hauptproblem dieser Argumentation ist, dass Behaltenskurven eine ähnliche Form – mit zunächst steilem, dann flacherem Verlauf – auf den unterschiedlichsten Zeitkurven haben. Dies reicht vom Behaltensabfall bei Retentionsintervallen unter einer Minute, bei einer Aufgabe, bei der die Probanden durch eine Interferenzaufgabe abgelenkt wurden (Keppel/Underwood 1962), bis hin zu Tagen, bei gut gelerntem Material (s. Abb. 3.2.1 – nächstes Kapitel) oder länger. Zusammen genommen liefern diese Befunde also keine überzeugende Evidenz für ein Kurzzeitgedächtnis im Sinne einer Instanz, die eine eigenständige Art der Kodierung von Gedächtnisinhalten hat und eine notwendige Zwischenstufe auf dem Weg zu einer dauerhaften Speicherung im Langzeitgedächtnis darstellt.



Behaltensdauer

3.1.2 Konzepte des Arbeitsgedächtnisses

Es gibt zwar keine überzeugende Evidenz für ein Kurzzeitgedächtnis im Sinne einer unabhängigen Verarbeitungsstufe zwischen sensorischem Speicher und Langzeitgedächtnis, die bei der Bildung eines dauerhaften Gedächtniseintrags durchlaufen werden muss. Aber so ist es doch unumstritten, dass wir bei fast allen geistigen Tätigkeiten einen Speicher benötigen, um kurzfristig Informationen zu halten und damit zu arbeiten, wie die Telefonnummer, die wir gerade eintippen,

die letzte Äußerung eines Gesprächspartners, auf die wir uns anschicken zu antworten oder die Preisangaben, die wir gerade zu einem Endpreis summieren. Diese Kombination aus dem Halten von Informationen und ihrer Manipulation wird in dem Konzept des Arbeitsgedächtnisses betont.

Modell von Baddeley / Hitch

Ein Modell, das lange Zeit die Arbeitsgedächtnisliteratur dominiert hat, stammt von den britischen Psychologen Alan Baddeley und G. Hitch (1974; Baddeley 1986). Baddeley und Hitch unterschieden eine zentrale Exekutive und zwei von der Exekutive abhängige Speichersysteme, eine phonologische Schleife (*phonological loop*) und einen visuell-räumlichen Skizzenblock (*visuospatial sketch pad*). Wie die Bezeichnungen schon andeuten, handelt es sich bei den Arbeitsspeichern um getrennte Systeme für phonologisches und visuell-räumliches Material. Die Trennung dieser Systeme berücksichtigt, dass wir einerseits nur eine limitierte Kapazität für phonologisches oder visuell-räumliches Material haben, dass es aber zwischen diesen beiden Arten von Gedächtnisinhalten nur geringe Interferenz gibt.

Evidenz für phonologische und visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisspeicher

Phonologische Schleife

- Wortlängeneffekt: Wir können so viele Wörter im Arbeitsgedächtnis halten, wie wir in etwa 2 s aussprechen können. Dabei kommt es nicht so sehr auf die Silbenzahl, sondern auf die Aussprechdauer an.
- Phonologischer Ähnlichkeitseffekt: Bei ähnlich klingendem Material (z. B. B, D, W, T) treten eher Verwechslungen der Reihenfolge auf als bei unähnlichem Material (C, S, R, M).
- Effekt unbeachteter Sprache: Die Behaltensleistung für gelesene Wörter sinkt, wenn im Hintergrund gesprochen wird, umso mehr, je phonologisch ähnlicher Hintergrund und gelesene Wörter sind.
- Artikulatorische Suppression: Wird uns die Möglichkeit genommen, phonologische Information durchs rehearsal (eine Art inneres Sprechen) ständig zu wiederholen – etwa durch die Instruktion, ständig eine Silbe leise zu wiederholen (ba – ba – ba ...) –, zerfällt die Information innerhalb von 2 s.

Visuell-räumlicher Skizzenblock

Auch die Fähigkeit, visuell-räumliche Beziehungen im Arbeitsgedächtnis zu behalten, ist begrenzt.

- Die Fähigkeit, exakte räumliche Beziehungen zu memorieren, nimmt bereits über Behaltensintervalle von wenigen Sekunden ab. So nimmt die Genauigkeit der Positionsbestimmung von Punktmustern kontinuierlich über einen Zeitraum von wenigen Sekunden ab (Müller et al. 1998).
- Das räumliche Absuchen mentaler Bilder interferiert viel stärker mit motorischen Aufgaben mit räumlichen Anforderungen als mit phonologischen Aufgaben (Brooks 1967).

- Es gibt auch Hinweise für eine weitere Unterteilung in einen visuellen und einen räumlichen Speicher.

Kürzlich hat Baddeley (2000) noch einen zusätzlichen episodischen Arbeitsspeicher (*episodic buffer*) postuliert, der integrierte Informationen halten kann. Diese Erweiterung des Modells war nötig geworden, weil das ursprüngliche Modell nur in der zentralen Exekutive (s. u.) einen Ort hatte, um komplexe Inhalte, die auf phonologische und visuell-räumliche Codes zurückgriffen, zu speichern. Der episodische Speicher soll nun diese Funktion übernehmen, um so die zentrale Exekutive zu entlasten.

episodischer Speicher

Die zentrale Exekutive ist im Modell von Baddeley und Hitch der Ort, an dem die Inhalte der Arbeitsgedächtnisspeicher manipuliert werden. Die zentrale Exekutive ist im Laufe der Zeit zu einem Überbegriff für eine ganze Reihe von Prozessen geworden. Das Konzept einer einheitlichen zentralen Exekutive ist angesichts der verschiedenen Prozesse und der mit ihnen assoziierten neuronalen Korrelate (Kap. 2.2) zumindest fraglich geworden. Zwischen Tests der verbalen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisspanne, die die individuelle Kapazität für verbale und visuell-räumliche Manipulationen messen, wurden nur geringe Korrelationen gefunden. Dies spricht für eine Unabhängigkeit verbaler und visuell-räumlicher Exekutivprozesse (Shah/Miyake 1996).

zentrale Exekutive

Während das Baddeley'sche Modell noch explizit von der Existenz eigener Arbeitsgedächtnisspeicher ausging, so wird dies in manchen Konzeptionen des Arbeitsgedächtnisses bestritten (Cowan 2000). In diesen Modellen wird der Arbeitsspeicher als aktivierter Teil des Langzeitgedächtnisses beschrieben. Danach wird uns in jedem Moment nur der Teil der im Langzeitgedächtnis gespeicherten Erinnerung bewusst, der sich im Fokus der Aufmerksamkeit befindet (Abb. 3.1.1). Der Fokus der Aufmerksamkeit bestimmt damit auch die Anzahl der Items, die wir im Arbeitsgedächtnis behalten können. Neben den Items, die sich im Aufmerksamkeitsfokus befinden, gibt es weitere Gedächtniseinträge, die zwar nicht bewusst werden, aber dennoch leichter abzurufen sind als die verbleibenden Gedächtniseinträge. Welche Items zu letzterer Gruppe gehören, wird durch den Kontext bestimmt. Cowan (2000) nennt als Beispiel, dass die Namen von Obstsorten leichter abzurufen sind, wenn wir uns beim Obsthändler befinden und vergessen haben, welches Obst wir neben Äpfel und Bananen noch kaufen wollten.

Arbeitsgedächtnisspeicher?

Der Unterschied dieser Konzeption zu dem Modell von Baddeley und Hitch ist, dass die Abrufbarkeit der Arbeitsgedächtniseinträge außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus vom Kontext abhängt und nicht von einer zeitlichen Verfallsdauer. In dieser Konzeption hinterlassen Reize, die wir gerade wahrgenommen haben, sofort eine Erinnerungsspur im Langzeitgedächtnis, auch wenn diese zunächst schwach ist. Diese Vorstellung erklärt beispielsweise, warum man sich in der obigen Übung leichter „UNO“ als „ULO“ merken kann. Für UNO existiert bei den meisten von uns bereits ein Eintrag im Langzeitgedächtnis. Lesen des Wortes UNO führt daher zu einer Aktivierungssteigerung dieses Eintrags. Für ULO dürfte kein eigener Eintrag bestehen, so dass es nur zur Aktivierung der drei Buchstaben



Arbeitsgedächtnis-
kapazität



U, L und O kommen kann. Bei einer Reihe von sinnarmen Trigrammen führt das dann schnell zu einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses.

Dies führt uns zu der Frage, wie groß die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist. Dass die Kapazität für die temporäre Speicherung von Informationen recht gering ist, bemerken wir alle ständig im Alltag. Lange Zeit war man der Ansicht, dass das Arbeitsgedächtnis eine Kapazität von etwa 7 Elementen hat. Diese „magische Nummer 7“ (Miller 1956) wird jedoch von neueren Arbeiten in Frage gestellt.

Die visuelle Arbeitsgedächtniskapazität wurde mit Hilfe eines Experiments geprüft, in dem zunächst ein Muster aus farbigen Punkten kurzzeitig (100–500 ms) präsentiert wurde, kurz darauf gefolgt von einem weiteren Muster (Luck/Vogel 1997). Die Probanden mussten angeben, ob die beiden Muster identisch waren oder sich in einem Punkte unterschieden. Dies gelang ihnen bis zu einer Menge von 3 Punkten nahezu perfekt. Bei Mustern, die 4 oder mehr Punkte enthielten, nahm die Fehlerzahl rapide zu. Die Autoren schlossen zunächst daraus, dass das visuelle Ar-

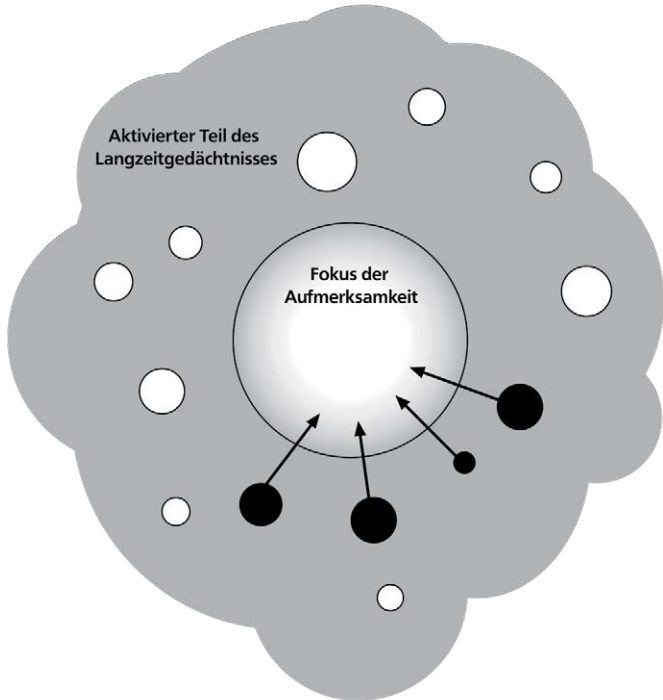


Abb. 3.1.1: Arbeitsgedächtnis als aktivierter Teil des Langzeitgedächtnisses (nach Cowan, 2000, bearbeitet)

beitsgedächtnis nur eine Kapazität von 3–4 Items hat. Die Probanden mussten weiterhin in jedem Versuchsdurchgang zwei Zahlen memorieren, die sie am Ende des Durchgangs wiedergeben mussten. Dies diente dazu, eine verbale Speicherung des Musters auszuschließen. In weiteren Experimenten fanden Luck und Vogel, dass sich die Kapazitätsgrenze von 3–4 Items nicht auf einzelne Merkmale bezog. Ihre Probanden konnten auch 3–4 recht komplexe Objekte memorieren, wie etwa Reize, die sich hinsichtlich 4 Merkmalen (Farbe, Größe, Ausrichtung und der Präsenz einer Lücke) unterschieden. Das visuelle Arbeitsgedächtnis ermöglicht also das Halten komplexer Objekte in ähnlicher Weise, wie wir im verbalen Arbeitsgedächtnis statt einzelner Buchstaben *chunks* wie „UNO“ als ein Item halten können.

Todd und Marois (2004) suchten mit Hilfe einer fMRT-Studie nach Hirnarealen, deren Aktivierung die Kapazität des visuellen Arbeitsgedächtnisses widerspiegeln. Zu diesem Zweck zeigten sie ihren Probanden in einer Delayed-Matching-Aufgabe ein Muster aus farbigen Punkten (Abb. 3.1.2).

Nach einem kurzen Retentionsintervall von 1.200 ms sahen die Probanden einen einzelnen farbigen Punkt und mussten angeben, ob dieser Punkt mit der gleichen Farbe und an der gleichen Position in dem zuvor präsentierten Muster enthalten war. Während der Aufgabe mussten die Probanden zwei zuvor gehörte Zahlen mental wiederholen, die am Ende eines Durchgangs mit einer weiteren Zahl verglichen werden mussten. Dies diente dazu, eine verbale Kodierung und Speicherung des Musters in der phonologischen Schleife zu verhindern. Die Analyse der Behaltensleistung ergab, wie in der Studie von Luck und Vogel, dass die Probanden eine Arbeitsgedächtniskapazität von 3–4 Punkten hatten. Daraufhin suchten sie nach Hirnarealen, in denen das fMRT-Signal bei Mustern bis zu 4 Punkten anstieg und dort ein Plateau erreichte. Ein solches Aktivierungsmuster wurde nur beidseits im deszendierenden Segment des Sulcus intraparietalis, am Übergang zum Occipitalcortex, gefunden. Kontrollexperimente schlossen aus, dass die Plateaubildung durch einen Deckeneffekt der vaskulären Versorgung bedingt war.

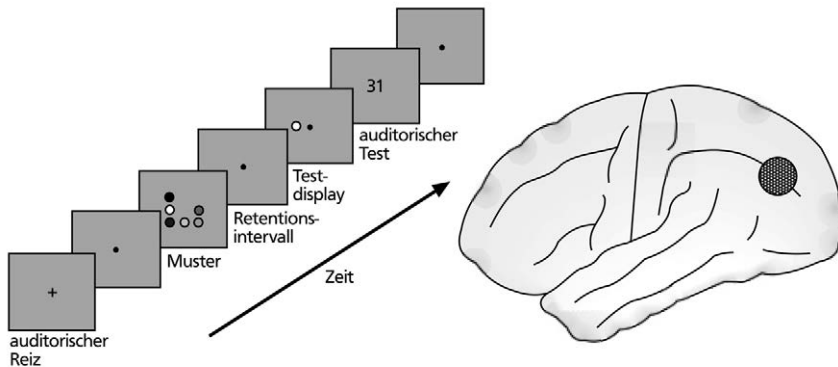


Abb. 3.1.2: Die Kapazität des visuellen Arbeitsgedächtnisses korreliert mit der Aktivierung entlang des posterioren Sulcus intraparietalis. Links: Ablauf eines Versuchsdurchgangs im Experiment von Todd und Marois. Rechts: Ort der Aktivierung entlang des deszendierenden Segments des SIP, beidseits (nach Todd/Marois 2004, bearbeitet)

Delayed Matching

Bei der Delayed-Matching-Aufgabe wird zunächst ein Reiz präsentiert, der erinnert werden muss. Nach Ende der Reizpräsentation folgt ein Behaltensintervall (*delay*), an das sich die Präsentation zweier Stimuli anschließt. Aus diesen zwei Stimuli muss der vor dem Intervall gezeigte Reiz wiedererkannt werden. Das Paradigma erlaubt vielfältige Variationen, etwa Auswahl des Reizes, der zuvor nicht gezeigt wurde, Vergleich des Ortes der Präsentation usw.

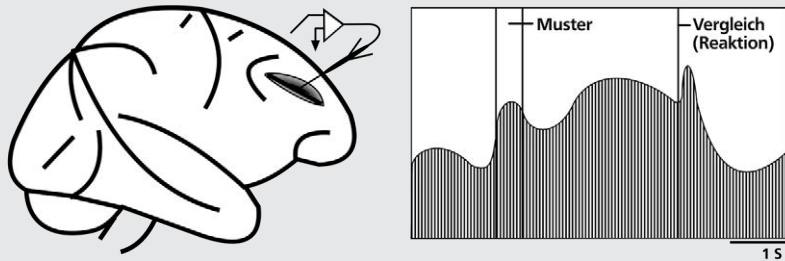


Abb. 3.1.3: Delay-Aktivität in einem Delayed-Matching-Experiment. Links: Ableitort im lateralen Präfrontalcortex. Rechts: Neuronale Aktivität (nach Curtis/D'Esposito 2003, bearbeitet)

Delay-Neurone

Neuronale Delay-Aktivität wurde zunächst im Präfrontalcortex gefunden, später jedoch auch in anderen Arealen des Gehirns. Im menschlichen Gehirn wurde ein globaler anterior-posteriorer Gradient beobachtet, mit primär reizgetriebener Aktivität in den posterioren (insbesondere sensorischen) Arealen und ausgeprägter Delay-Aktivität im Frontalcortex (Courtney et al. 1997). Bedeutet die Existenz solcher Delay-Neurone nun, dass es doch einen Zwischenspeicher gibt, im Sinne der ursprünglichen Konzeption des Kurzzeitgedächtnisses? Das wäre wohl zu kurz gedacht. Die Funktion der Delay-Neurone ist wohl eher, Gedächtniseinträge im Langzeitgedächtnis, die durch die Wahrnehmung äußerer Reize oder auch endogen durch Denkprozesse aktiviert werden, aktiv zu halten, wenn der Anstoß zur Aktivierung nicht mehr präsent ist.



Fragen zu Kapitel 3.1

Überprüfen Sie Ihr Wissen!

- 141.** In welchen Defiziten äußert sich die Gedächtnisstörung von Patient H. M.? Welche Gedächtnisfunktionen sind bei H. M. erhalten geblieben?
- 142.** Wie lange können wir Informationen im Arbeitsgedächtnis behalten?
- 143.** Welche Konzeptionen zum Aufbau des Arbeitsgedächtnisses gibt es?
- 144.** Wie unterscheiden sich die Konzeptionen des Kurzzeitgedächtnisses und des Arbeitsgedächtnisses?

145. Warum können wir uns bedeutungshaltige Reize besser merken?
146. Welche Komponenten hat das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch? Warum?
147. Was ist eine zentrale Exekutive? Diskutieren Sie das Konzept, auch vor dem Hintergrund der Kognitions-Kapitel.
148. Wie groß ist die Arbeitsgedächtniskapazität? Was sollte man bei ihrer Bestimmung beachten?
149. Welche Zusammenhänge werden zwischen Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis vermutet?
150. Beschreiben Sie den Ablauf eines Delayed-Matching-Experiments. Wo findet man Delay-Neurone?

3.2 Langzeitgedächtnis: Akquisition und Abruf

Im Jahr 1885 erschien das Buch „Über das Gedächtnis“ von Hermann Ebbinghaus. Das Buch kann als der Beginn einer experimentell fundierten Gedächtnisforschung angesehen werden. Ebbinghaus berichtete darin von Experimenten, die er in jahrelanger Arbeit, mit sich selbst als einziger Versuchsperson, durchgeführt hatte. Zunächst hatte er sich einen Vorrat „sinnloser“ Silben erstellt, indem er 2.300 willkürliche Konsonant-Vokal-Konsonant-Kombinationen erstellt hatte, die kein Wort der deutschen Sprache darstellen durften. Damit wollte er sicherstellen, dass es sich um neues, möglichst nicht zuvor gehörtes Material handelte. Aus diesem Silbenvorrat stellte er dann Listen unterschiedlicher Länge zusammen, indem er zufällig Silben aus diesem Vorrat zog. Sodann las er die Liste – wobei er die Lesegeschwindigkeit mit einem Metronom taktete – i. d. R. so lange, bis er alle Silben in der richtigen Reihenfolge wiedergeben konnte. Dabei führte er die verschiedensten Variationen ein: Listenlänge, Dauer des Behaltensintervalls, initiale Wiederholungen usw.

Als abhängige Variable zur Messung der Gedächtnisgüte nutzte er insbesondere die Anzahl der Wiederholungen, die er benötigte, um eine Liste richtig wiedergeben zu können. Dabei entwickelte er den Begriff der „Ersparnis“.

B

Ersparnis

Ersparnis

Ersparnis definierte Ebbinghaus als die Anzahl der Lerndurchgänge, die er nach einem Behaltensintervall, oft 24 Stunden, benötigte, um eine Liste wieder vollständig aufsagen zu können, in Verhältnis gesetzt zur Anzahl der initialen Lerndurchgänge.

$$\text{Ersparnis (\%)} = (\text{Lerndurchgänge} - \text{Wiederholungsdurchgänge}) / \text{Lerndurchgänge} \times 100$$

Benötigt man beispielsweise initial 30 Lerndurchgänge und nach 24 Stunden 20 Wiederholungsdurchgänge, so ergibt sich eine Ersparnis von $(30 - 20) / 30 \times 100 = 33 \%$.

Ebbinghaus fand, dass Lernen bis zur Beherrschung einer Liste nur zu etwa 32 % **Überlernen** Ersparnis nach 24 Stunden führte. Zusätzliche Lerndurchgänge nach Beherr-

Listenlänge

schung der Liste führten zu höherer Ersparnis. Denken Sie an diesen positiven Effekt des Überlernens, wenn Sie sich auf die nächste Prüfung vorbereiten!

Weiterhin fand Ebbinghaus einen Effekt der Listenlänge. Das erscheint zunächst trivial, jeder weiß, dass längere Listen schwieriger zu lernen sind. Nimmt aber die Schwierigkeit gleichmäßig mit der Länge der Liste zu? Ebbinghaus fand, dass das nicht der Fall war, sondern dass die Anzahl der Wiederholungen, die er benötigte, überproportional mit der Listenlänge zunahm.

Retentionsintervall

Auch die Länge des Retentionsintervalls wirkte sich auf die Ersparnis aus. Je länger das Retentions-(Behaltens-)intervall war, umso geringer war die Ersparnis. Dabei war es jedoch so, dass die Ersparnis bei zunehmenden Retentionsintervallen immer geringer abnahm. Mit anderen Worten, die Behaltensleistung fiel anfangs besonders stark, mit zunehmendem Behaltensintervall dann immer geringer ab (Abb. 3.2.1).

Effekt der Bedeutungshaltigkeit

Weiterhin fand Ebbinghaus auch einen Effekt der Bedeutungshaltigkeit. Er konnte Strophen aus Byrons Gedicht „Don Juan“ zehnmal schneller lernen als eine vergleichbar lange Liste sinnloser Silben.

Aus heutiger Sicht gibt es sicher einige Aspekte an Ebbinghaus' Arbeiten, die kritikwürdig sind, trotz seiner Bemühungen um hohe experimentelle Standards. So sind „sinnlose“ Silben selten frei von sinnhaltigen Assoziationen. Auch schränkt die Verwendung einer einzigen Versuchsperson, Ebbinghaus selbst, die Verallgemeinerbarkeit der Befunde ein. Vor dem Hintergrund seiner Zeit, in der die experimentelle Untersuchung höherer geistiger Prozesse wie des Gedächtnisses als unmöglich galt, sind seine Beiträge zur Begründung einer experimentellen Gedächtnisforschung gar nicht hoch genug einzuschätzen. Weiterhin haben zumindest seine oben genannten Beiträge den Test der Zeit bestanden und gelten auch heute noch.

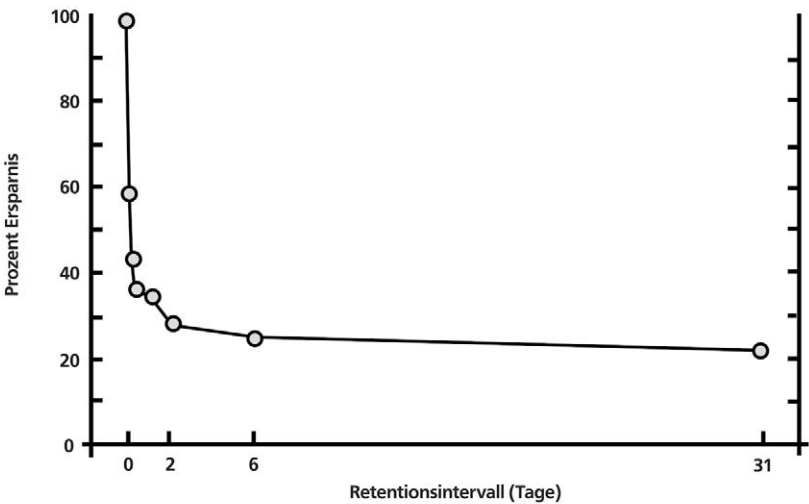


Abb. 3.2.1: Effekt des Retentionsintervalls auf die Behaltensleistung (nach Ebbinghaus 1885)

Eine Definition des Lernens

Lernen ist (nach Anderson 2000, 4) ein Prozess, der langdauernde Veränderungen im Verhaltenspotenzial als Folge von Erfahrungen bewirkt.

- **Prozess:** Lernen beschreibt Veränderung – Gedächtnis ist das Produkt der Veränderung;
- **langdauernd:** kurzfristige Änderungen, etwa durch Ermüdung, werden nicht als Lernen angesehen;
- **Verhalten:** Lernen sollte zu beobachtbaren Verhaltensänderungen führen;
- **Potenzial:** Lernen muss nicht sofort zu spontanen Verhaltensänderungen führen, eventuell muss die Verhaltensänderung in einer experimentellen Situation nachgewiesen werden;
- **Erfahrungen:** Veränderungen im Verhaltenspotenzial können auch durch Alterungsprozesse, Krankheit etc. entstehen, dies ist aber kein Lernen.



3.2.1 Elaboration

Im letzten Kapitel hatten wir bereits gesehen, dass die Verarbeitungstiefe einen entscheidenden Einfluss auf die Behaltensleistung hat. Insbesondere wurde gefunden, dass Wörter besser behalten werden, wenn semantische Bezüge zu anderen Begriffen hergestellt werden. Man hat versucht, diesen Befund damit zu erklären, dass das deklarative Gedächtnis wie ein Netz aufgebaut ist, in dem semantisch ähnliche Begriffe miteinander verknüpft sind. Je stärker nun diese Verknüpfungen sind oder je mehr Verknüpfungen mit einem Begriff existieren, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass auf den entsprechenden Begriff zugegriffen werden kann. Die bessere Vernetztheit führt also dazu, dass ein Gedächtniseintrag besser erinnert werden kann, ohne dass seine Gedächtnisspur (die Stärke des Eintrags im Gedächtnis) selbst stärker wäre.

**semantische
Vernetzung**

Belege für diese Vorstellung wurden in einem Experiment gefunden, bei dem Probanden Fakten lernten, die entweder in einzelnen Sätzen präsentiert wurden, oder, in der Vergleichsbedingung, in den gleichen Sätzen, ergänzt um zusätzliche Informationen (Bradshaw/Anderson 1982). In der Bedingung mit den zusätzlichen, elaborierenden Sätzen war die Behaltensleistung, wie erwartet, höher. Der eigentlich interessante Befund war jedoch, dass die Antworten in der elaborierenden Bedingung etwas langsamer gegeben wurden als in der Vergleichsbedingung. Dies war erwartet worden, wenn die bessere Gedächtnisleistung aufgrund von Elaboration nicht auf eine stärkere Gedächtnisspur des gesuchten Gedächtniseintrags zurückzuführen ist, sondern auf die Gedächtnissuche in einem komplexeren Netz von Verknüpfungen.



In einem Experiment von Slamecka und Graf (1978) wurde eine Wortliste gelernt. Eine Hälfte der Teilnehmer bekam zu jedem Wort der Liste ein weiteres Wort präsentiert, das sich mit dem Listenwort reimte. Die andere Hälfte bekam die gleiche Wortliste, aber jedes Wort war mit einem Synonym (Wort gleicher Bedeutung)

Generierungseffekt

gepaart. Es zeigte sich, dass die Probanden, die die Synonympaare lasen, mehr Wörter aus der Wortliste erinnerten als die Gruppe mit den Reimwörtern. Dies war zunächst eine Replikation der Arbeiten zur Verarbeitungstiefe. Diese hatten bereits gefunden, dass semantische Verarbeitung – die hier durch die Synonyme angeregt wurde – zu einer besseren Behaltensleistung führte als phonologische Verarbeitung – hier durch die Reimwörter angeregt. Der neue Aspekt der Studie war nun, dass die Probanden in einer weiteren Versuchsbedingung keine Wortpaare vorgelegt bekamen, sondern entweder Reimwörter oder Synonyme selbst generieren sollten. Es zeigte sich, dass das aktive Generieren sowohl von Reimwörtern wie Synonymen zu einer signifikanten Verbesserung der Behaltensleistung gegenüber dem Lesen führte. Dabei war der Generierungseffekt gleich groß wie der Effekt der semantischen Verarbeitung. Beide Effekte verhielten sich additiv, so dass die beste Behaltensleistung beim Generieren von Synonymen gefunden wurde. Aus Studien dieser Art folgt die Empfehlung, bei der Prüfungsvorbereitung nicht nur den Lehrbuchtext zu lesen, sondern den Stoff möglichst in eigenen Worten wiederzugeben.

Kontext- abhängigkeit

Für die Güte der Erinnerung ist es auch von Bedeutung, inwieweit der Kontext beim Abruf dem Kontext des Lernens entspricht. Ein einprägsames Beispiel dafür stammt von Godden und Baddeley (1975). Sie ließen Taucher eine Wortliste an Land oder unter Wasser lernen und fanden, dass sie deutlich mehr Wörter erinnerten, wenn der Abruf in der gleichen Umgebung stattfand (11 vs. 8 Wörter unter Wasser, 13 vs. 8 an Land). Während Kontexteffekte in weniger dramatisch verschiedenen Orten oft geringer ausfielen, so haben sie doch interessante Implikationen. So fallen Ihnen vielleicht mehr Antworten in der nächsten Klausur ein, wenn diese im gleichen Hörsaal stattgefunden hat, in dem Sie auch die Vorlesung gehört haben.

transferangemes- sene Verarbeitung

Tiefe, semantische Verarbeitung führt zu besserem Behalten, wie wir gesehen haben. Das stimmt aber nur bedingt, wenn es beim Abruf auf ganz andere Aspekte als den Sinngehalt ankommt. Wenn Sie ein Gedicht auswendig lernen, kommt es beim Abruf eben darauf an, dass Sie das Gedicht exakt aufsagen können, nicht nur seinen Sinngehalt. Das Beispiel erläutert, was mit transferangemessener Verarbeitung gemeint ist, nämlich, dass der Abruf davon profitiert, wenn beim Lernen die gleichen Anforderungen gestellt wurden. So wurde gefunden, dass phonologische im Vergleich zu semantischer Verarbeitung bei der Enkodierung mit der Leistung in phonologischen und semantischen Abruftests interagierten (Morris et al. 1977). Bei Aufgaben wie „Lexikalische Entscheidung“ (Wort/Nichtwort-Unterscheidung), „Suche nach bestimmten Buchstaben in einem Wort“ oder „Belebt/unbelebt Urteilen“ wurde konsistentes Priming von Wörtern gefunden, wenn sich die Aufgabe wiederholte. Beim Wechsel der Aufgabe von der ersten zur zweiten Wortpräsentation kam es dagegen zu asymmetrischen Priming-Mustern zwischen den Aufgaben, die keine einfache Erklärung im Sinne der Verarbeitungsebene oder einer perzeptuellen gegenüber einer konzeptuellen Verarbeitung zuließ (Franks et al. 2000).

Textgedächtnis

Wie behalten wir den Inhalt von Gesprächen? Was erinnern Sie, wenn Sie morgen an dieses Kapitel zurückdenken? Es ist eine Alltagsweisheit, dass wir i. d. R. Texte nicht wortwörtlich erinnern, sondern eher dem Sinn nach. Dies hat zu der Idee

geführt, dass das Textgedächtnis eher die Aussagen eines Textes als seine grammatische Form enthält. Von Walter Kintsch stammt die Hypothese, dass Texte in propositionaler Struktur gespeichert werden. Propositionen sind die kleinsten Wissenseinheiten, von denen man sagen kann, ob sie wahr sind (s. Tab. 2.5.1). Diese Hypothese wurde in einem Experiment von Bransford und Franks (1971) geprüft. Die Probanden lernten zunächst eine Reihe von Sätzen wie:

- Die Ameisen aßen den süßen Honig auf dem Tisch.
- Der Felsbrocken rollte den Berg hinunter und zerschmetterte die kleine Hütte.
- Die Ameisen in der Küche aßen den Honig.
- Der Felsbrocken rollte den Berg hinunter und zerschmetterte die Hütte neben dem Wald.

Die Sätze waren so konstruiert, dass sie aus zwei Sätzen von jeweils vier Propositionen bestanden. Propositionen können als eine Liste von einer Relation und Argumenten beschrieben werden:

- (essen, Ameisen, Honig)
- (süß, Honig)
- (auf, Honig, Tisch)
- (in, Ameisen, Küche)

- (rollen, Felsbrocken, Berg)
- (zerschmettern, Felsbrocken, Hütte)
- (neben, Hütte, Wald)
- (klein, Hütte)

In der Testphase mussten die Probanden angeben, welche Sätze sie zuvor gelesen hatten. Die Sätze hatten die folgende Form:

- Die Ameisen aßen den süßen Honig auf dem Tisch. (alt)
- Die Ameisen aßen den süßen Honig in der Küche. (neu)
- Die Ameisen aßen den süßen Honig neben dem Wald. (neue Proposition)

Die Ergebnisse waren eindeutig. Die Probanden waren so gut wie nicht in der Lage, zuvor gelesene von neuen Sätzen zu unterscheiden, solange die Propositionen den zuvor gelesenen Sätzen entsprachen. Sie hatten aber keine Mühe, Sätze zu identifizieren, die aus neuen Propositionen bestanden.

3.2.2 Gedächtnissuche

Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hängt auch mit der Geschwindigkeit der Suche nach Gedächtnisinhalten zusammen. Ein klassisches Experiment, mit dem die Gedächtnissuche analysiert wurde, ist das Sternberg-Paradigma. Dabei



Sternberg-Paradigma

lernen die Probanden zunächst Listen mit einer Anzahl zu memorierender Items, etwa Ziffern. Danach wird jeweils ein Item präsentiert, und die Probanden müssen durch eine Wahlreaktion zum Ausdruck bringen, ob das Item zu der zuvor gelernten Liste gehört oder nicht. Der Hauptbefund ist, dass die Reaktionszeit mit der Listenlänge in etwa linear ansteigt, und zwar in gleicher Weise für positive (gehört zur Liste) und negative (gehört nicht zur Liste) Antworten. Dieses Reaktionszeitmuster spricht für eine erschöpfende Suche, d.h. die Liste wird jeweils komplett durchsucht. Ein solches Muster ist alles andere als selbstverständlich. So haben wir ja bereits in Kapitel 1.1 gesehen, dass die visuelle Suche nach einem Item in einem Display i. d. R. dem Schema einer selbstabbrechenden Suche folgt, bei der die Suche abgebrochen wird, sobald der Zielreiz gefunden wird.

parallele Suche

Wie in der visuellen Suche, so kann auch für die Gedächtnissuche die Steigung der Suchkurve berechnet werden. Sie bringt zum Ausdruck, wie viel Suchzeit die Versuchsperson pro Element der Suchmenge benötigt. Bei der Gedächtnissuche in Ziffern- oder Buchstabenlisten wurde eine Steigung von etwa 40 ms pro Item gefunden. Diese Zeit ist zu kurz, um eine streng serielle Suche durchzuführen. Die Daten sprechen daher eher dafür, dass die Items einer Suchliste zumindest teilweise überlappend, vielleicht aber auch parallel abgesucht werden. Die Zunahme der Suchzeit bei paralleler Suche wäre dann dadurch bedingt, dass die parallele Suche mit begrenzter Kapazität stattfindet und daher umso langsamer wird, je mehr Items abgesucht werden müssen.

Bezug zum Arbeitsgedächtnis

Steigung der Suchkurve und Arbeitsgedächtnisspanne kovariieren (Cavanagh 1972). Während wir von einfachen Items, wie Ziffern oder Buchstaben, maximal etwa 7 wiedergeben können (*chunking*), so sind es bei komplexeren Items wie geometrischen Figuren oder Wörtern nur etwa 5 und bei Zufallsformen oder sinnarmen Silben noch weniger (Kap. 3.1). Mit diesen abnehmenden Gedächtnisspannen steigt die Steigung der Gedächtnissuchkurve von 40 ms/Item auf etwa 70 ms/Item an. Für Items, von denen wir weniger im Arbeitsgedächtnis halten können, benötigt die Gedächtnissuche also mehr Zeit. Diese Daten sprechen dafür, dass die Gedächtnissuche auf den Arbeitsspeicher angewiesen ist.

3.2.3 Bildgebende Untersuchungen

Enkodierung

„Tiefere“ Enkodierung, die zu besseren späteren Gedächtnisleistungen führt, geht konsistent mit stärkeren Aktivierungen des medialen Temporallappens (MTL) einher. Dies wurde sowohl beim Vergleich „tiefer“ semantischer mit „flacher“ nichtsemantischer Enkodierung als auch beim Vergleich intentionaler mit inzidenteller Enkodierung gefunden. Auch Reize, die besser behalten wurden, wie bedeutsame versus bedeutungslose Handlungen, Wörter und Zeichnungen, rufen größere MTL-Aktivierung hervor. Dabei wird häufig eine Lateralisierung berichtet – stärkere linkshemisphärische Aktivierung bei verbalen und stärkere rechtshemisphärische Aktivierung für nonverbale Reize (Buckner et al. 2000).

Kodierung von Neuheit

Stärkere MTL-Aktivierungen wurden auch bei Präsentation neuer Reize, im Vergleich zu wiederholt präsentierten Reizen, gefunden. Diese Aktivierungen

wurden auch in Experimenten gefunden, bei denen die Probanden keine Gedächtnisanforderung zu bewältigen hatten (Pollmann et al. 2000). Dies deutet auf eine automatische Reaktion (evtl. im Sinne einer Enkodierung) des MTL auf Neuheit hin (Martin 1999).

MTL-Aktivierung korreliert mit der Güte des nachfolgenden Gedächtnisabrufs. Später gut erinnerte Reize lösten während der Enkodierungsphase stärkere MTL-Aktivierung aus als schlecht erinnerte (diese Bedingungen wurden anhand der subjektiven Sicherheit der Erinnerung unterschieden). Unsicher erinnerte Reize lösten immer noch mehr Aktivierung aus als Reize, die gar nicht erinnert werden konnten (Brewer et al. 1998; Wagner et al. 1998).

Dm-Paradigma

Das *difference due to memory*-(Dm-)Paradigma misst zunächst die Hirnaktivierung zum Zeitpunkt der Enkodierung. Diese Daten werden dann zwei Gruppen zugeordnet – den später erinnerten und den nicht erinnerten Items. Man schaut dann, in welchen Hirnarealen Aktivierungsunterschiede zum Zeitpunkt der Enkodierung mit der späteren Erinnerung assoziiert sind.

Auch während des Gedächtnisabrufs wurden MTL-Aktivierungen gefunden. **Abruf** Diese waren stärker für episodischen Abruf als für vergleichbaren semantischen Abruf. Lateralitätseffekte wurden nicht so konsistent wie für die Enkodierung gefunden. Zuvor gelernte (alte) Reize lösen während der Abrufphase mehr MTL-Aktivierung aus als neue. Dieser Effekt wurde für eine ganze Reihe verbaler, figuraler und räumlicher Stimuli gefunden. Die Probanden konnten i. d. R. neue Reize korrekt als solche bestimmen. Die stärkere MTL-Aktivierung stellt also kein Merkmal der Erinnerungsgüte dar, sondern steht in direktem Zusammenhang mit dem Abruf gelernter Reize.

3.2.4 Die Rolle des Frontalcortex

Läsionen des Präfrontalcortex führen, im Gegensatz zu MTL-Läsionen, i. d. R. **PFC und Gedächtnis** nicht zu fundamentalen Gedächtnisstörungen. Diese Patienten haben eher Schwierigkeiten mit spezifischen Gedächtnistests, in Abhängigkeit davon, wie viel strategische Anforderungen für eine erfolgreiche Bearbeitung vonnöten sind. So zeigen sie oft Defizite, wenn die freie Wiedergabe memorierter Reize gefordert ist, zeigen aber eine intakte Wiedererinnerung. Weitere Defizite nach präfrontalen Läsionen betreffen die Erinnerung an die Reihenfolge oder Häufigkeit zuvor memorierter Reize oder die Auswahl der Gedächtnis-Items aus Listen mit Distraktoren. Bei Letzterem sind insbesondere Defizite in der Organisation des Gedächtnismaterials (etwa Gruppierung nach semantischen Kategorien zur besseren Memorierung) zu beobachten. Weiterhin neigen Patienten mit präfrontalen Läsionen zu häufigen falsch-positiven Antworten, d. h. zuvor nicht präsentierte Reize werden fälschlich als bekannt angegeben. Zusammenfassend treten Gedächtnisdefizite nach präfron-

talen Läsionen also besonders in Situationen auf, die hohe Anforderungen an die strategische Kontrolle der Informationsverarbeitung stellen.

Obwohl Läsionen des Frontalcortex i. d. R. nicht mit ausgeprägten Gedächtnisstörungen einhergehen, ist es erstaunlich, wie viele Aktivierungen in bildgebenden Studien im Frontalcortex gefunden wurden, sowohl im Zusammenhang mit Enkodierungs- wie Abrufprozessen. Konsistente Zusammenhänge zwischen der Güte der Enkodierung episodischer verbaler Erinnerungen und der Aktivierungsstärke finden sich im linken Präfrontalcortex. Enkodierung nonverbalen Materials geht teils mit rechts- und teils mit linkshemisphärischer Aktivierung einher. Linkshemisphärische Aktivierung mag auf die verbale Enkodierung nonverbalen Materials zurückgehen.

Im Gegensatz zur Enkodierung führt der Abruf sowohl verbalen wie nonverbalen Materials konsistent zu erhöhter Aktivierung des rechten Präfrontalcortex. Abruf verbalen Materials führt häufig zusätzlich zu linksfrontalen Aktivierungen. Die Häufigkeit linksfrontaler Aktivierungen nimmt mit der Schwierigkeit des Abrufs zu (z. B. freie oder sequenzielle Wiedergabe im Vergleich zu Wiedererkennung), während rechtsfrontale Aktivierungen generell beobachtet werden. Die Abruf-relatierten Aktivierungen im rechten Präfrontalcortex gruppieren sich in zwei Arealen, einem posterioren und einem anterioren (frontopolaren) Areal.

Der frontopolare Cortex, also der anteriore Teil des Frontalcortex, der den Bereich um den Frontalpol einnimmt, unterstützt noch eine spezifische Art des Gedächtnisses – das prospektive Gedächtnis. Prospektives Gedächtnis benötigt man, um sich in der Zukunft an etwas zu erinnern. Wenn Sie morgen Abend zu einer Feier eingeladen sind, dann müssen Sie sich rechtzeitig vor der vereinbarten Zeit daran erinnern, dort hinzugehen. Aufgaben dieser Art führen zu Aktivierungen des frontopolaren Cortex (Burgess et al. 2001).

prospektives Gedächtnis



Fragen zu Kapitel 3.2

Überprüfen Sie Ihr Wissen!

151. Wie ist Ersparnis definiert?
152. Welche Befunde aus Ebbinghaus' Werk gelten noch heute?
153. Was ist eine elaborierte Enkodierung? Geben Sie Beispiele.
154. Was bedeutet Generierung und welchen Effekt hat sie auf das Gedächtnis?
155. Was bedeutet transferangemessene Verarbeitung?
156. Wie werden Texte im Langzeitgedächtnis kodiert? Beschreiben Sie ein Experiment zu dieser Thematik.
157. Was ist das Sternberg-Paradigma? Was sind die Hauptbefunde?
158. Wie unterscheiden sich Aktivierungen, die mit verbaler und nonverbaler Enkodierung einhergehen?
159. Was versteht man unter dem Dm-Effekt? Beschreiben Sie das experimentelle Vorgehen.
160. Was ist prospektives Gedächtnis? Welches neuronale Korrelat hat es?

3.3 Langzeitgedächtnis: Konsolidierung

Der Patient H. M., der bereits in Kapitel 3.1 vorgestellt wurde, konnte neue Informationen nur so lange halten, bis sie von interferierenden Informationen überschrieben wurden. Dieser dramatische Fall lenkt die Aufmerksamkeit auf die Notwendigkeit der Konsolidierung oder Festigung von Gedächtniseinträgen. Nachdem wir uns im letzten Kapitel mit Enkodierungs- und Abrufprozessen beschäftigt haben, soll die Konsolidierung im Mittelpunkt dieses Kapitels stehen. Dabei sollten wir im Auge behalten, dass Enkodierung, Konsolidierung und Abruf eng miteinander verknüpft sind und der Beitrag dieser Prozesse in manchen Situationen nur schwer zu trennen ist.

Die Fallgeschichte von H. M. lenkt die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung des medialen Temporallappens für die Konsolidierung. Man hat versucht, die Interaktion des Hippocampus mit dem Neocortex mit neuronalen Netzwerkmodellen zu simulieren, die die Verschaltung von Hippocampus und Neocortex in vereinfachter Weise nachbilden (McClelland et al. 1995). Nach diesen Modellen übernimmt der Hippocampus die Rolle eines Trainers, der in wiederholten Schleifen dem Neocortex neue Informationen „beibringt“ (Abb. 3.3.1). In einem neuronalen Netzwerk sind Informationen über die Aktivierungsschwellen (analog zu synaptischen Verknüpfungsstärken) der einzelnen Knotenpunkte des Netzes kodiert. Wichtig ist dabei, dass jeder Gedächtniseintrag durch die Gesamtheit der Verknüpfungsstärken im Netz repräsentiert ist. Dementsprechend bewirkt Lernen eine Veränderung dieser Verknüpfungsstärken. Simulationen zeigen, dass Lernen in einem solchen Netz nur langsam vonstatten gehen kann. Eine zu starke Veränderung der Verknüpfungsstärken (um einen neuen Gedächtniseintrag zu repräsentieren) geht nämlich damit einher, dass die zuvor repräsentierte Information überschrieben wird (*catastrophic interference*). Werden die Verknüpfungsstärken nur langsam verändert, so kann ein neuer Gedächtniseintrag repräsentiert werden, ohne dass die zuvor gespeicherten Einträge verlorengehen. Das bedeutet aber, dass es eines „Trainers“ bedarf, der den neuen Gedächtniseintrag dem Netz so

Hippocampus und Neocortex

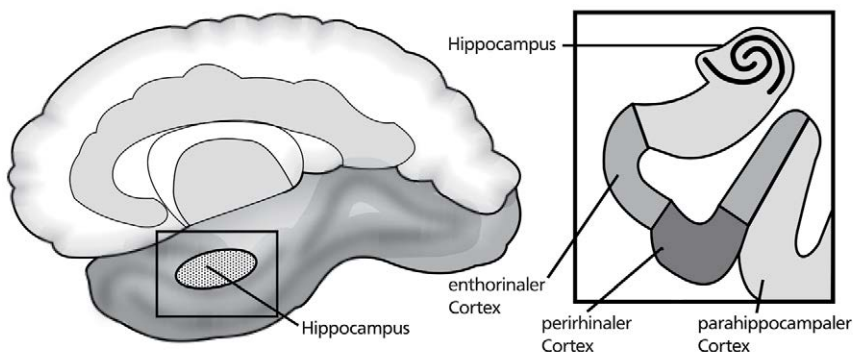


Abb. 3.3.1: Der Hippocampus. Links: Lage im medialen Temporallappen. Rechts: Schnitt durch den Hippocampus und die angrenzenden Cortices

lange wiederholt präsentiert, bis das Muster der Verknüpfungsstärken so weit verändert ist, dass es den neuen Eintrag repräsentiert.

Diese Funktion wird dem Hippocampus zugeschrieben. Um die Funktion eines solchen Trainers zu übernehmen, muss der Hippocampus selbst aber in der Lage sein, den neuen Gedächtniseintrag sofort, bei der ersten Präsentation, zu kodieren. Dafür muss die Kodierung im Hippocampus nicht dauerhaft sein. Sobald der Neocortex die dauerhafte Speicherung gewährleistet, kann die Kodierung im Hippocampus von einem neuen, dem neocorticalen Langzeitgedächtnis einzuprägenden Eintrag überschrieben werden. Der Hippocampus unterscheidet sich nach dem neuronalen Netzwerkmodell auch in der Dichte der Verknüpfungen vom Neocortex. Hippocampale Neurone haben eine geringere Anzahl von Synapsen mit anderen hippocampalen Neuronen. Dies führt im Modell dazu, dass die Unterschiede zwischen Items akzentuiert werden und damit ein schnelleres Lernen ermöglichen.

Amnesien

Amnesien sind selektive Gedächtnisstörungen. Man unterscheidet anterograde und retrograde Amnesien. Anterograde Amnesie bedeutet den Verlust der Merkfähigkeit nach einem schädigenden Ereignis, retrograde Amnesie den Verlust der Erinnerung an vor der Hirnschädigung liegende Ereignisse. Sowohl anterograde wie insbesondere retrograde Amnesie können zeitlich begrenzt sein. Die retrograde Amnesie zeigt oft einen zeitlichen Gradienten, in dem die Patienten sich an lange zurückliegende Ereignisse besser erinnern als an zeitnähere Erlebnisse. Die Amnesie betrifft oft primär das episodische Gedächtnis. Der Begriff „episodisches Gedächtnis“ bezieht sich auf Ereignisse aus dem Leben der Testperson, an die sie sich explizit erinnern kann. Das semantische Gedächtnis, also die Erinnerung an erlerntes Faktenwissen, bleibt dagegen oft intakt. Ob das als Hinweis auf getrennte neuronale Korrelate für episodisches und semantisches Gedächtnis zu werten ist, ist umstritten, schließlich liegt das Erlernen vieler Fakten lange zurück und könnte allein deshalb besser erhalten sein.

Bei der anterograden Amnesie stehen Störungen der Enkodierung und Konsolidierung im Vordergrund, während die retrograde Amnesie eine Beeinträchtigung des Abrufs bereits vor der Hirnschädigung konsolidierter Gedächtnisinhalte darstellt. Weniger eindeutig ist die Zuordnung dieser Prozesse bei Hirnschädigungen mit schleichendem Verlauf (s. u., Korsakoff-Syndrom)

Amnesie-Patienten können auch weiterhin Fertigkeiten erlernen (prozedurales Gedächtnis) und zeigen intaktes implizites Gedächtnis. Implizites Gedächtnis bedeutet, dass Erlebtes Spuren im Verhalten der Patienten hinterlässt, auch wenn das Erlebte nicht bewusst erinnert werden kann. So werden etwa Reize besser erkannt, wenn sie wiederholt präsentiert werden (Priming).

Der wohl berühmteste Amnesie-Patient ist der Patient H. M., bei dem zur Behandlung einer medikamentös nicht mehr therapierbaren Epilepsie eine bilaterale Resektion des anterioren medialen Temporallappens vorgenommen wurde (s. o.). Nach dieser Operation stellte man eine schwere persistierende anterograde Amnesie fest. H. M. hatte, abgesehen von einer leichten retrograden Amnesie für den Zeitraum kurz vor der Operation, ein gutes Altgedächtnis, er konnte sich jedoch

keine neuen Informationen merken. Durch H. M. wurde die Bedeutung des medialen Temporallappens für das Gedächtnis erkannt. Der MTL kann grob in drei Regionen mit gedächtnisrelevanten Strukturen untergliedert werden:

- (1) die parahippocampale Region,
- (2) die hippocampale Region, und
- (3) die Amygdala (s. Kap. 4.3).

Die parahippocampale Region nimmt afferente Signale von vielfältigen unimodalen und multimodalen corticalen Arealen auf. Sie sendet ihrerseits Efferenzen zur hippocampalen Region, über das Subiculum zu den CA(Abk. für Cornu Ammonis/Ammonshorn)-Feldern und dem Gyrus dentatus.

Während bei H. M. etwa zwei Drittel des Hippocampus reseziert wurden, so fand man bei einem späteren Patienten, R. B., dass eine selektive bilaterale Schädigung des CA1-Feldes (der Hippocampus ist in die Felder CA1–4 gegliedert) durch eine Ischämie als Komplikation einer Herzoperation zu einem ähnlichen Gedächtnisdefizit führte (Zola-Morgan et al. 1986). Auch R. B. zeigte eine persistierende anterograde Amnesie, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei H. M. Dieser Fall zeigte, dass von den Strukturen des medialen Temporallappens der Hippocampus von besonderer Bedeutung für das Gedächtnis ist.

Neben Läsionen des medialen Temporallappens führen auch Läsionen des Zwischenhirns (Diencephalon) zu Amnesie. So erlitt Patient N. A. als Folge eines Fechtunfalls eine Läsion des linken Nucleus mediodorsalis des Thalamus. Man fand bei ihm eine schwere anterograde Amnesie sowie eine etwa zwei Jahre zurückreichende retrograde Amnesie. Die anterograde Amnesie besserte sich jedoch, anders als bei H. M. und R. B., im Laufe der Zeit. Die linksseitige Thalamusläsion von N. A. führte insbesondere zu Schwierigkeiten beim Behalten verbalen Materials. Ein weiterer Patient, B. Y., der eine bilaterale Thalamusläsion erlitt (wieder unter Beteiligung des Ncl. mediodorsalis) zeigte ein vergleichbares Defizit für verbales wie non-verbales Material.

Diese Fallstudien sind von Interesse, weil die selektiven Läsionen dieser Patienten Rückschlüsse auf die Beziehung von Gedächtnisfunktionen und Gehirnstrukturen zulassen. In der Praxis treten Amnesien jedoch häufiger als Folge weniger umschriebener Hirnschädigungen auf, so etwa als eine Teilschädigung im Rahmen demenzieller Erkrankungen, besonders der Alzheimer-Krankheit. Die häufigste Ursache für Amnesien ist das Korsakoff-Syndrom. Als Folge chronischen Alkoholabusus tritt das Wernicke-Korsakoff-Syndrom auf. In der Akutphase der Erkrankung treten eine Ataxie sowie okulomotorische Störungen auf, häufig sind die Patienten verwirrt (Wernicke-Syndrom). Während diese Akutsymptome durch Gabe von Thiamin therapiert werden können, tritt als chronische Folge aufgrund struktureller Hirnschädigung eine schwere antero- und retrograde Amnesie auf (Korsakoff-Syndrom). Die retrograde Amnesie beim Korsakoff-Syndrom zeichnet sich durch einen zeitlichen Gradienten aus, lange zurückliegende Ereignisse werden besser erinnert. Eine wichtige Ursache für die Amnesie ist eine beeinträchtigte Enkodierung. Die Amnesie ist irreversibel. Die Neuropathologie ist variabel, aber es wird immer eine Beteiligung der Nuclei dorsomediales thalami und/oder der Corpora mammillaria beobachtet.



3.3.1 Konsolidierung im Schlaf

Die Konsolidierung von gelerntem Material wird durch Schlaf gefördert (Born et al. 2006). Dies wurde sowohl in perzeptuellen (Gais et al. 2000; Karni et al. 1994) wie motorischen (Fischer et al. 2002; Walker et al. 2003) Lernexperimenten gefunden, aber auch in episodischen Gedächtnisaufgaben wie dem Lernen von Wortlisten (Gais et al. 2006). Für diese Experimente blieb eine Hälfte der Probanden in der ersten Nacht nach dem Lernen wach. Die Erinnerung wurde erst nach einer weiteren Nacht getestet, in der beide Gruppen schlafen durften, um Müdigkeit als Grund für die schlechtere Erinnerung auszuschließen. Interessanterweise war die Erinnerung auch besser, wenn die Wörter abends, vor dem Schlafengehen, gelernt wurden als morgens. Offensichtlich spielt die Zeit zwischen Lernen und Schlaf eine Rolle. Vielleicht ist das ein willkommener Grund, nicht allzu früh zur Uni zu gehen.

Die Konsolidierung im Schlaf führt zu beobachtbaren Veränderungen der Hirnaktivierung. So wurde bei einer räumlichen Gedächtnisaufgabe zunächst hippocampale Aktivität gefunden (Orban et al. 2006). Nach dem Nachtschlaf war die hippocampale Aktivität nicht mehr nachweisbar. Entscheidend war, dass die Hippocampusaktivität bei schlafdeprivierten Probanden weiter anhielt. Im Sinne des oben skizzierten hippocampo-neocorticalen Modells des Gedächtnisses könnte dies bedeuten, dass der Hippocampus nach der Konsolidierung im Schlaf nicht mehr als „Trainer“ des Neocortex nötig war.

Tiefschlafphasen (*slow wave sleep*, SWS) scheinen insbesondere die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte zu fördern, während REM(*rapid eye movement*)-Phasen die Konsolidierung des prozeduralen Gedächtnisses unterstützen. Allerdings ist die Zuordnung nicht immer so eindeutig zu treffen. Die Konsolidierung geht mit zeitlich fein abgestimmten Reaktivierungen hippocampaler und neocorticaler Netzwerke einher. Man nimmt von diesen an, dass sie die Basis einer Übertragung initial hippocampal gespeicherter Gedächtniseinträge in ein dauerhaftes neocorticales Gedächtnis sind (Wilson/McNaughton 1994; Born et al. 2006).

Rekonsolidierung

Jedes Mal, wenn wir einen Gedächtnisinhalt aktivieren, wird dieser in einen labilen Zustand versetzt und kann rekonsolidiert, aber auch geschwächt werden. Die Rekonsolidierung hängt von der Proteinsynthese ab. Diese Zusammenhänge wurden mit Hilfe einer Kombination von klassischer Konditionierung und pharmakologischer Intervention untersucht (Dudai 2006). Dazu wird zunächst eine Assoziation zwischen einem konditionierten Reiz (CS) und einem unkonditionierten (meist Furcht-)Reiz (US) aufgebaut (s. Kap. 3.5 und 4.3). Wenn der CS alleine zu einer konditionierten Reaktion (CR) führt, wird bei Präsentation des CS ein Proteinsynthesehemmer verabreicht. Führt diese Intervention zu einer verminderten CR bei späterer CS-Präsentation – und zwar sowohl im Vergleich zur Gabe des Synthesehemmers ohne CS sowie zur Präsentation des CS ohne Hemmer – dann kann man darauf schließen, dass die Präsentation des CS das Gedächtnis für die CS-US-Assoziation in einen labilen Zustand versetzt hat und der Proteinsynthesehemmer die Rekonsolidierung des Gedächtnisses verhindert.

Experimente nach diesem Schema haben gezeigt, dass die Rekonsolidierung von Gedächtnisspuren sehr selektiv beeinflusst werden kann. So ist es etwa gelungen, die Assoziation eines CS mit einem Furcht-US zu verringern, während die Assoziation eines anderen CS mit dem gleichen US erhalten blieb. Konkret wurden zwei unähnliche auditive Reize, ein Sinuston und ein Geräusch, mit einem aversiven US durch klassische Konditionierung assoziiert. Einer der beiden CS wurde dann reaktiviert (CSr), während Anisomycin, ein Proteinsynthesehemmer, in die Amygdala appliziert wurde. Bei nachfolgenden Tests fiel die Freezing-Reaktion der Ratten auf den CSr signifikant geringer aus als auf den nicht reaktivierten CS (Doyère et al. 2007).

Eine solche selektive Abschwächung von Erinnerungen hat potenziell eine therapeutische Bedeutung für die Behandlung von posttraumatischen Belastungsstörungen, bei denen bestimmte Reize (wie ein lauter Knall) Erinnerungen an eine traumatische Situation (Gefechtslärm) auslösen. Allerdings ist zu bedenken, dass die tierexperimentell verabreichten Proteinsynthesehemmer gravierende Nebenwirkungen haben und nicht einfach für die Humantherapie übernommen werden können. Eine andere Substanzklasse, beta-adrenerge Blocker, blockieren die Rekonsolidierung in der Amygdala furchtkonditionierter Ratten (Debiec/LeDoux 2004). Sie werden zurzeit als Behandlungsoption für akut traumatisierte Patienten geprüft, in der Hoffnung, dass die Blockade der Rekonsolidierung die spätere Entwicklung einer posttraumatischen Belastungsstörung verhindert (Pitman/Delahanty 2005).

3.3.2 Interferenz

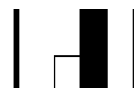
Die Modellvorstellung, dass neue Einträge ins Gedächtnis auch die Repräsentation bestehender Gedächtnisinhalte verändern, und der Befund, dass Gedächtniseinträge in einen labilen Zustand versetzt werden, wenn diese wieder aktiviert werden, mögen erklären, dass es zu Interferenzphänomenen zwischen Gedächtnisinhalten kommen kann. Bei der proaktiven Interferenz beeinträchtigt ein zuvor gelernter Gedächtniseintrag das Behalten eines nachfolgend gelernten Eintrags, bei der retroaktiven Interferenz ist es umgekehrt. Beide Arten der Interferenz treten besonders dann auf, wenn die Gedächtnisinhalte Beziehungen zueinander aufweisen.

Wenn Schüler nacheinander im Englisch- und Französischunterricht neue Vokabeln lernen, dann kann man davon ausgehen, dass die Behaltensleistung für beide Sprachen schlechter ist, als wenn sie nur eine Liste von Vokabeln (Englisch oder Französisch) gelernt hätten. Wenn die Vokabeln dazu auch noch die Übersetzungen der gleichen deutschen Wörter sind, dann ist zusätzlich zu erwarten, dass die Leistung für die zuerst gelernten Vokabeln (im Beispiel Englisch) noch schlechter ausfällt, als wenn nachfolgend keine französischen Vokabeln gelernt werden. (Dabei ist die Sprache natürlich irrelevant, es kommt auf die Reihenfolge an.)

Dieses Interferenzmuster wurde jedenfalls in Experimenten beobachtet, bei denen die Probanden assoziierte Paare lernen mussten, etwa zunächst Hund – Tisch (A – B) oder Stuhl – Tisch (C – B) und später Hund – Eis (A – D). In beiden Fällen fällt die Erinnerung an A – D (gemittelt über eine Liste solcher Assoziationspaare)

pro- und retroaktive Interferenz

B



schlechter aus, als wenn die Probanden nur die Liste A – D gelernt hatten (Wickelgren 1976), wir beobachten proaktive Interferenz. Retroaktive Interferenz zeigt sich umgekehrt darin, dass die Liste A – B schlechter memoriert wird, wenn anschließend eine weitere Liste gelernt wird. Dabei ist die Erinnerung an A – B besonders beeinträchtigt, wenn die Listenwörter mit einem neuen Wort gepaart werden (A – D), im Vergleich zu einer Liste aus anderen Wörtern (C – D).

3.3.3 Vertrautheit und Wiedererkennung

B

Prozesse der Erinnerung

Es gibt Begebenheiten, an die kann man sich noch mit allen Details erinnern. über längere Zeiträume hinweg sind dies meist wichtige persönliche Erlebnisse oder auch Ereignisse, die mit wichtigen öffentlichen Ereignissen verbunden sind – wo man war, als man vom Anschlag auf das World Trade Center gehört hat oder, für Fußballfans, was man während wichtiger Spiele der Weltmeisterschaft gemacht hat. Aber auch weniger einschneidende Erlebnisse werden oft mit dem Kontext, in dem sie gelernt wurden, erinnert. Das kann das Gespräch betreffen, das man am Vortag geführt hat oder die Fernsehsendung vor einem Monat. Sie werden sich vielleicht später einmal an Experimente erinnern, die in diesem Buch beschrieben sind, und werden dabei vielleicht auch erinnern, dass Sie davon in diesem Buch gelesen haben, vielleicht auch noch, wo Sie sich gerade beim Lesen befanden und ob Sie dabei eine Tasse Tee getrunken haben. Man spricht bei dieser Art von Gedächtnis von bewusster Wiedererinnerung (*recollection*). Im Unterschied dazu gibt es auch Dinge, die uns vertraut erscheinen, ohne dass wir aber sagen könnten, wo und wann wir sie gelernt haben. Hier spricht man in der Gedächtnispsychologie von Vertrautheit (*familiarity*). Diese beiden Prozesse der Erinnerung werden seit langem gegenübergestellt (Mandler 1980).

Das Gefühl der Vertrautheit stellt sich oft schneller ein als die Erinnerung an die genauen Umstände, unter denen man etwas oder jemanden (kennen)gelernt hat. Vielleicht haben Sie schon einmal jemanden in der Stadt getroffen, der Sie anlächelt und der Ihnen auch bekannt vorkommt, ohne dass Sie jedoch seinen Namen erinnern. Wenn derjenige Sie dann aber auf ein gemeinsames Seminar anspricht, steht Ihnen die ganze Szene wieder vor Augen und Sie erinnern sich auch wieder an den Namen Ihres Gegenübers, seine Studienrichtung und worüber Sie sich unterhalten haben. Die Stärke der Wiedererinnerung, die Vernetztheit eines Gedächtniseintrags mit seinem Kontext, geht einher mit einem höheren Zeitbedarf, um diesen Kontext zu aktivieren. Dass der Abruf aus einem reichen semantischen Kontext zwar erfolgreicher ist als aus einem weniger differenzierten Kontext, aber auch längert dauert, haben wir bereits in Kapitel 3.1 gesehen (Bradshaw/Anderson 1982).

Vertrautheit und kontextuelle Erinnerung wurden gegeneinander ausgespielt, indem zuvor gelernte Wörter in einer Liste wiedererkannt werden sollten, die mit Distraktoren gefüllt war (Atkinson/Juola 1974). Wurde dieser Abruf mehrere Male wiederholt, dann benötigten die Probanden weniger Zeit, um die Listenwörter zu erkennen. Gleichzeitig stieg aber die Zeit, die benötigt wurde, um die Distraktorwörter als nicht zur Liste gehörig abzulehnen. Die Distraktoren wurden



automatische und kontrollierte Enkodierung

also gelernt, obwohl sie nicht zur Liste gehörten. Die zunehmende Vertrautheit mit den Distraktoren erschwerte dann die Unterscheidung zwischen Listenwörtern und Distraktoren. Der Befund zeigt auch, dass die zunehmende Vertrautheit automatisch steigt, ohne dass die betreffenden Items bewusst memoriert werden.

Dies führt dazu, dass wir in Situationen, in denen unsere Aufmerksamkeit von einer anderen Aufgabe in Anspruch genommen wird, einerseits nur sehr eingeschränkt in der Lage sind, Items so tief zu enkodieren, dass wir sie später mit dem Kontext der Informationsaufnahme erinnern können. Andererseits kann aber die Vertrautheit mit denselben Items durchaus zunehmen.

So eine Situation ist etwa gegeben, wenn wir Auto fahren (insbesondere in aufmerksamkeitsfordernden Verkehrssituationen) und gleichzeitig Radio hören. Wenn wir dann wieder und wieder in den Nachrichten den Standpunkt eines Politikers hören, dann werden wir diese zu einem bestimmten Grad später als bekannt (vertraut) hinnehmen. Da gleichzeitig die Information fehlt, in welchem Kontext wir diese Information aufgenommen haben, ist auch die Möglichkeit beeinträchtigt, den Wahrheitsgehalt kritisch einzuschätzen.

Zurzeit ist umstritten, ob die beiden Prozesse der kontextuellen Wiedererinnerung und der Vertrautheit mit spezifischen Strukturen im medialen Temporallappen assoziiert sind. Dabei ist unumstritten, dass der Hippocampus eine zentrale Bedeutung für die Wiedererinnerung von Gedächtnisinhalten mit ihren kontextuellen Assoziationen hat. Umstritten ist dagegen, ob weitere mediale temporale Strukturen spezifisch die beiden Prozesse der Vertrautheit (perirhinaler und lateraler entorhinaler Cortex) und kontextuellen Erinnerung (parahippocampaler und medialer entorhinaler Cortex) unterstützen (s. Abb. 3.3.1; Eichenbaum et al. 2007). Demgegenüber steht die Hypothese, dass die Unterschiede, die nach Läsionen der genannten medialen temporalen Strukturen gefunden wurden, und die Befunde bildgebender Studien besser mit unterschiedlichen Stärken der Gedächtnisbildung als mit der Dichotomie von unterschiedlichen Prozessen der Vertrautheitsausbildung und der kontextuellen Enkodierung erklärt werden können (Squire et al. 2007). So gehen Vertrautheitsurteile i. d. R. mit einer geringeren Sicherheit der Erinnerung einher als kontextuelle Wiedererinnerung. Bisher erlauben die Befunde noch keine eindeutige Entscheidung, welche dieser Positionen zu bevorzugen ist.

B

**medialer
Temporallappen**

Fragen zu Kapitel 3.3

?

Überprüfen Sie Ihr Wissen!

- 161.** Wie wirken Hippocampus und Neocortex bei der Konsolidierung zusammen?
- 162.** Auf welche Weise kann der Neocortex noch lernen, wenn der Hippocampus geschädigt ist? Versuchen Sie, die Antwort aus dem Lehrstoff dieses Kapitels zu erschließen.
- 163.** Warum geht Lernen oft nur graduell vonstatten?
- 164.** Was ist eine Amnesie? Welche Unterformen gibt es?
- 165.** Welche Hirnschädigungen führen zu Amnesien? Welche Erkrankungen, die zu einer Amnesie führen, sind häufig?

166. Welche Rolle spielt der Schlaf bei der Konsolidierung? Welche Schlafphasen sind involviert? Welche Arten von Gedächtnis sind betroffen?
167. Was ist Rekonsolidierung? Was passiert dabei mit den Gedächtniseinträgen?
168. Welche klinischen Aspekte hat die Rekonsolidierung? Welche Strategien werden verfolgt?
169. Beschreiben Sie die Interferenz zwischen aufeinanderfolgenden Lerninhalten. Entwickeln Sie ein experimentelles Paradigma zur Untersuchung. Welche Effekte erwarten Sie?
170. Wie unterscheiden sich kontextuelle Erinnerung und Vertrautheit? Welchen Zusammenhang haben sie mit der Aufmerksamkeit?

3.4 Sensorisches Gedächtnis

Texte werden propositional kodiert, semantische Beziehungen führen zu besserem Behalten – all das haben wir in den vorangegangenen Kapiteln gesehen. Wie verhält es sich aber nun mit der Vielfalt der sensorischen Eindrücke, denen wir uns aussetzen? Verlassen sie im Gedächtnis zu einer abstrakt-semantischen Information? Wie viel an Detailreichtum unserer Umwelt bleibt im Gedächtnis erhalten? Können wir sogar lernen, Dinge in unserer Umwelt zu sehen, die wir zuvor nicht unterscheiden konnten? Um diese Fragen geht es in diesem Kapitel. Zunächst befassen wir uns mit den unmittelbaren sensorischen Speichern, die Sinneseindrücke für sehr kurze Zeit festhalten können, bevor sie verlorengehen. Im Anschluss lernen wir Prozesse des perzeptuellen Lernens kennen. Schließlich erkunden wir, wie unser Langzeitgedächtnis mit dem Detailreichtum visueller Bilder umgeht.

3.4.1 Sensorische Speicher

Beginnen wir mit den Gedächtnisleistungen mit der kürzesten Behaltensdauer. Wie lange bleibt uns ein Abbild der Umwelt, mit allen Details, die unsere Sinnesorgane aufgenommen haben, erhalten, bevor es verlorengeht?

Diese Frage wurde in einem klassischen Experiment von Sperling (1960; Abb. 3.4.1) untersucht. Er präsentierte seinen Probanden Displays mit drei Reihen von je 4 Buchstaben. Die Displays wurden nur kurz gezeigt (50 ms) und von einer Maske gefolgt, die die Buchstaben überdeckte und so die Darbietungsdauer präzise kontrollierte. Wurden die Probanden anschließend gefragt, wie viele Buchstaben sie gesehen hatten, so konnten sie meist nur 4–5 Buchstaben berichten. Die Erinnerungsleistung wurde jedoch deutlich besser, wenn unmittelbar nach der Darbietung ein Hinweisreiz gegeben wurde (hoher/mittlerer und tiefer Ton als Indikator für die obere, mittlere und untere Zeile), mit der Instruktion, nur die Buchstaben dieser Zeile zu berichten. Wurde der Ton zusammen mit der Maske, unmittelbar nach Ende der Buchstabenpräsentation, gezeigt, so konnten die Probanden im Durchschnitt 3 von 4 Buchstaben erkennen.

Die bessere Leistung in dieser Teilreportaufgabe zeigt, dass die Probanden unmittelbar nach Beendigung der Reizpräsentation noch an beliebiger Stelle Infor-



Teilreportaufgabe

ikonischer Speicher

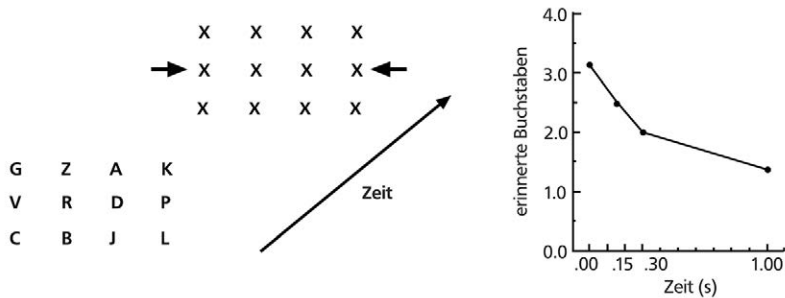


Abb. 3.4.1: Die Teilreportaufgabe. Links: Ablauf eines Versuchsdurchgangs, Pfeile deuten die Auswahl einer Zeile durch einen Ton an. Rechts: Erinnerungslleistung im Experiment von Sperling (1960) in Abhängigkeit von der Verzögerung der Hinweisreize (Töne)

mationen aus einem sensorischen Speicher lesen konnten. Die Dauer dieses Speichers war jedoch sehr begrenzt. Wurden die Töne nur um 300 ms verzögert präsentiert, so sank die Erinnerungslleistung schon auf 2 von 4 Buchstaben. Diese sensorische Persistenz wird auch *ikonischer Speicher* genannt, nach dem griechischen Wort für Bild (εἰκὼν). Der ikonische Speicher wird durch nachfolgende Reize überschrieben, so etwa durch Maskierreize oder auch durch Sakkaden.

Das auditive Äquivalent zum ikonischen Speicher ist der *echoische Speicher* (griech. ἠχώ: Schall). Ähnlich wie in der visuellen Teilreportaufgabe können Probanden aus drei Reizströmen, die räumlich voneinander getrennt präsentiert werden (oben, links, rechts), die letzten drei Reize wiedergeben, wenn einer der Ströme durch einen Hinweisreiz markiert wird, obwohl ihnen die Wiedergabe der letzten drei Reize in allen drei Strömen nicht gelingt. Auch hier gilt, dass die sensorische Persistenz nur von kurzer Dauer ist.

echoischer Speicher

Im Unterschied zum ikonischen Speicher werden die Inhalte des visuellen Kurzzeitgedächtnisses nicht durch Rückwärtsmaskierung gestört. Weiterhin bleiben sie auch über Sakkaden hinweg erhalten.

3.4.2 Perzeptuelles Lernen

Personen, die häufig bestimmte Klassen von Stimuli betrachten, lernen zuweilen, Details zu erkennen, die sie selbst zuvor oder untrainierte Betrachter nicht unterscheiden können. Ein Beispiel dafür ist etwa die Diagnose von Röntgenbildern, die mit zunehmender Erfahrung deutlich besser wird. Dabei ist das Lernen aber häufig auf spezifische Reizmerkmale beschränkt. Um beim Beispiel der Röntgen-diagnose zu bleiben: Untersuchungen haben gezeigt, dass die Diagnostik des Mammakarzinoms in Zentren besser ist, die nichts anderes als Brustkrebsuntersuchungen machen, verglichen mit Einrichtungen, in denen die Radiologen unterschiedliche Organe befunden.

B

Spezifität des Lernens

Die Gründe mögen in diesem Fall vielfältig sein. Die Grundlagenforschung zum perzeptuellen Lernen hat hingegen einige Hinweise dafür gesammelt, dass das Erlernen von Diskriminationsleistungen oft sehr spezifisch auf bestimmte Reizmerkmale, Positionen im Gesichtsfeld (Ahissar/Hochstein 1997) oder sogar das trainierte Auge (Karni/Sagi 1991) beschränkt ist. Diese Spezifität des Lernens ist oft so interpretiert worden, dass die Veränderungen, die die verbesserte Wahrnehmungsleistung ermöglichen, auf frühen Stufen der neuronalen Verarbeitung stattfinden. Wenn eine Verbesserung der Diskrimination zwischen Linienmustern nur in einem eng umschriebenen Ort des Gesichtsfeldes beobachtet wird (dort, wo die zu detektierenden, von den umgebenden Linienmustern verschiedenen Stimuli zuvor gezeigt wurden) und nicht auf andere Bereiche des Gesichtsfeldes generalisiert wird, so liegt folgender Schluss nahe: Die verbesserte Diskriminationsleistung hat ihren Ursprung in Neuronen, deren rezeptive Felder auf eben diesen Bereich begrenzt sind. Wenn Probanden in der Trainingsphase die Reize nur mit einem Auge betrachten und das Lernen in der Testphase nicht auf das andere Auge generalisieren, dann ist wiederum folgende Annahme naheliegend: Die Veränderungen, die zu der verbesserten Diskriminationsleistung geführt haben, haben auf einer Ebene stattgefunden, auf der die Zuflüsse vom linken und rechten Auge noch getrennt sind, also noch vor oder allenfalls in V1 (s. Kap. 1.3).

3.4.3 Visuelles Kategorielernen

Während diese Spezifität für viele Paradigmen des basalen perzeptuellen Lernens typisch ist, so gibt es auch Formen des visuellen Lernens, die nicht an einen bestimmten Ort im Gesichtsfeld oder einen bestimmten Reiz gebunden sind. Beispiele dafür kommen aus dem Bereich des visuellen Kategorielernens. Anders als beim basalen perzeptuellen Lernen, bei dem es darum geht, einen bestimmten Reiz in einem Feld von ähnlichen Ablenkerreizen zu entdecken, geht es beim Kategorielernen darum, Gemeinsamkeiten verschiedener Reize zu entdecken, um sie bestimmten Kategorien zuzuordnen. Dies gelingt dann am leichtesten, wenn die Kategorien sich in einer Weise unterscheiden, die man in einer verbalisierbaren Regel ausdrücken kann.

So präsentierten Ashby und Kollegen (2003) ihren Probanden einzelne Linien, die sich hinsichtlich ihrer Länge und Ausrichtung unterschieden (Abb. 3.4.2). Die Probanden sollten nun herausfinden, zu welcher von zwei Kategorien die Striche gehörten. Nach jeder Zuordnung wurde eine Richtig/Falsch-Rückmeldung gegeben. Im ersten Experiment bestand die Zuordnungsregel darin, dass die längeren Striche zu einer, die kürzeren zur anderen Kategorie gehörten.

Die gleiche Versuchsanordnung wurde nun für ein zweites Experiment verwendet. Nun waren die Kategorien jedoch durch eine Verknüpfung von Länge und Orientierung definiert, die sich einer einfachen Verbalisierung entzieht. Abbildung 3.4.2 zeigt jedoch, dass die Distanzen der Elemente innerhalb der beiden Kategorien und zwischen den Kategorien im zweidimensionalen Parameterraum von Länge und Orientierung vergleichbar mit dem ersten Experiment waren. Um die Zuordnung der Elemente zu einer Kategorie zu erlernen, müssen hier jedoch



Informationsintegrationslernen

Länge und Orientierung in Abwesenheit einer verbalisierbaren Regel verknüpft werden. Die Autoren nennen dies Lernen durch Informationsintegration.

Die Probanden lernten in beiden Experimenten, die Kategorien zu unterscheiden, auch wenn sie im zweiten Experiment mehr Durchgänge benötigten. Nachdem die Probanden die Kategoriezugehörigkeit erlernt hatten, änderten die Experimentatoren die Antwortzuordnung. Die Kategorie, die zuvor Taste A zugeordnet war, musste nun durch Druck auf Taste B angezeigt werden und umgekehrt. Dies beeinflusste die Antwortgenauigkeit im Fall der unidimensionalen Kategorie nicht. Dagegen wurde für die „diagonale“ Kategorie, bei der die Grenze diagonal durch den Parameterraum verlief, eine deutliche Verminderung der Antwortgenauigkeit nach dem Wechsel der Tastenbelegung gefunden. Die Daten deuten darauf hin, dass die Probanden in der „diagonalen“ Kategorie keine abstrakte Kategoriezuordnungsregel lernten, die leicht einer neuen Antwortkategorie zugeordnet werden konnte. Sie lernten eher eine Zuordnung jedes Elements einer Kategorie zu der entsprechenden Antwort. Dabei handelte es sich aber nicht um die Zuordnung einer spezifischen motorischen Antwort, wie eine Kontrollbedingung mit gekreuzten Händen zeigte, bei der keine Leistungsver schlechterung auftrat. Vielmehr handelte es sich um eine Zuordnung zu einer bestimmten Reaktion (Taste A oder B), unabhängig davon, wie diese Reaktion ausgeführt wird (mit der rechten oder linken Hand). Damit hätte Kategorielernten durch Informationsintegration zumindest Anteile prozeduralen Lernens.

prozedurales Lernen

Spiegelt sich das Erlernen einer Kategorie auf die Reaktionen von Neuronen im inferioren Temporalcortex des Affen wider – einem Areal, dessen Neurone spezifisch auf visuelle Objekte reagieren? Um diese Frage zu untersuchen, wurden die Affen daraufhin trainiert, Gesichter einer von zwei Kategorien zu untersuchen. Die Gesichter waren Strichzeichnungen, die sich hinsichtlich der Höhe der Augen, des Mundes, des Augenabstands und der Nasenlänge unterschieden. Zwei dieser

**inferiorer
Temporalcortex**

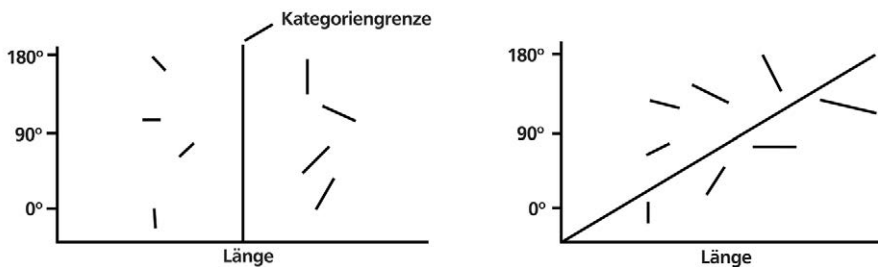


Abb. 3.4.2: Visuelle Kategorielerntenaufgaben im Experiment von Ashby et al. (2003).

Den Probanden wurde jeweils ein Reiz (Balken) präsentiert, der einer von zwei Kategorien zugeordnet werden sollte. Links: Die Kategorien unterscheiden sich hinsichtlich der Länge der Balken. Diese Zuordnungsregel ist leicht zu formulieren. Rechts: Die Kategoriezugehörigkeit ergibt sich aus der Kombination von Länge und Ausrichtung der Balken. Obwohl die Gruppen eindeutig getrennt sind, ist die Zuordnungsregel nur schwer zu formulieren. Dies ist ein Beispiel für eine Informationsintegrations-Lernaufgabe.

vier Merkmale waren diagnostisch für die Kategoriezugehörigkeit, die beiden anderen Kategorien enthielten keine Information über die Kategorie. Nachdem die Affen die Kategoriezugehörigkeit nahezu perfekt erlernt hatten, wurde von den inferotemporalen Neuronen abgeleitet. Es zeigte sich, dass die diagnostischen Merkmale nach dem Lernen besser in den Reaktionen der inferotemporalen Neuronen repräsentiert waren als die für die Kategoriezugehörigkeit irrelevanten Merkmale.

Eine Form impliziten und inzidentellen Lernens visueller Konfigurationen wurde von Chun und Yiang beschrieben (1998). Sie ließen ihre Probanden eine visuelle Suchaufgabe durchführen. Ein T-förmiger Zielreiz musste in einem Display mit L-förmigen Distraktoren gesucht werden. Das T lag auf der Seite und zeigte mit seinem Fuß nach links oder rechts (Abb. 3.4.3). Dementsprechend mussten die Probanden die linke oder rechte Antworttaste drücken. Die entscheidende Manipulation bestand darin, dass in der Hälfte der Durchgänge Displays präsentiert wurden, in denen sich die Konfiguration der Distraktoren wiederholte. Auch der Zielreiz befand sich in diesen wiederholten („alten“) Displays immer am gleichen Ort, so dass die Distraktorkonfiguration einen Hinweis auf den Ort im


kontextuelles
Cueing

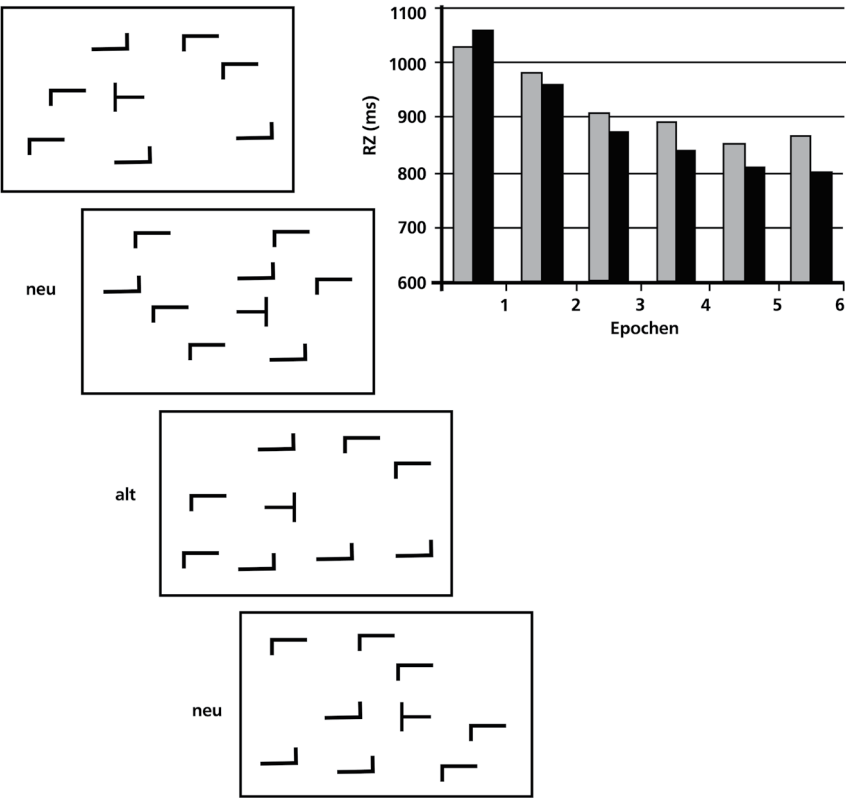


Abb. 3.4.3: Das kontextuelle Cueing-Paradigma (nach Manginelli/Pollmann 2008, bearbeitet)

Display gab, an dem sich der Zielreiz befand. Nach etwa 5–10 Wiederholungen desselben Displays wurden die Suchzeiten schneller als in den Displays, die neue Distraktorkonfigurationen verwendeten, die dementsprechend keinen Hinweis auf den Ort des Zielreizes gaben. Da die Probanden nicht wussten, dass es sich bei der Suchaufgabe um eine Lernaufgabe handelte, war das Lernen inzidentell. Darüber hinaus war das Lernen implizit: Wenn die Probanden am Ende des Experiments explizit gebeten wurden, „alte“ und „neue“ Displays zu benennen, unterschied sich ihre Trefferquote nicht von der Ratewahrscheinlichkeit.

Die Ortsinformation kann in Form von absoluten Lokationen und von relativen Ortsbezügen zwischen den Distraktoren zu kontextuellem Cueing beitragen, wobei der Effekt auch Verschiebungen und Größenänderungen der Distraktorkonfiguration überdauert (Jiang/Wagner 2004). Darüber hinaus wurde kontextuelles Cueing auch für Form und dynamische Bewegung gefunden (Chun/Jiang 1999; Endo/Takeda 2004).

Untersuchungen der Blickbewegungen während der Suche zeigten, dass die Probanden die „alten“ Displays zunächst mit einigen Augenbewegungen explorierten, um dann in eine Suchphase einzutreten, in der sich jede Fixation monoton dem Zielreiz näherte, bis er schließlich entdeckt wurde (Tseng/Li 2004; Manginelli/Pollmann 2008). Kontextuelles Cueing beruht also nicht auf einem plötzlichen Erkennen der Zielreizkonfiguration mit einer anschließenden Sakkade, die direkt zum Zielreiz führt. Es beruht eher auf einer schrittweisen Annäherung an das Ziel, die durch einen impliziten Gedächtnisabgleich gelenkt wird.

Die Suche nach neuronalen Korrelaten des kontextuellen Cueings ergab eine mögliche Rolle des Hippocampus. Chun und Phelps (1999) berichteten abgeschwächtes kontextuelles Cueing in einem Patienten mit Läsion des medialen Temporallappens. Dagegen fanden Manns und Squire (2001) keine Einschränkung des kontextuellen Cueings in einem Patienten mit fokaler Hippocampuschädigung. Eine kürzlich veröffentlichte fMRT-Studie fand wiederum mit dem kontextuellen Cueing korrelierte hippocampale Aktivität (Greene et al. 2007). Eine Abhängigkeit des kontextuellen Cueings vom Hippocampus wäre überraschend, weil die bisherigen neuropsychologischen Befunde an Patienten mit hippocampaler Schädigung darauf hindeuteten, dass implizites Lernen nicht beeinträchtigt ist.



3.4.4 Visuelles Langzeitgedächtnis

Der Effekt der Verarbeitungstiefe (Kap. 3.1) zeigt, dass wir in der Lage sind, semantische Beziehungen in unserem Langzeitgedächtnis zu repräsentieren, und dies auch tatsächlich tun. Die bisher vorgestellten Experimente bezogen sich aber ausnahmslos auf verbales Lernen. Wie verhält es sich nun mit dem Gedächtnis für visuelle Reize? Werden auch Bilder im Langzeitgedächtnis semantisch repräsentiert? Eine solche Repräsentation würde mit dem Verlust von Detailinformationen einhergehen, die zur Bedeutung des Bildes nichts beitragen. Tatsächlich gibt es eine Reihe von Befunden, die für eine semantische Repräsentation bildhaften Materials sprechen.



So sollten sich Probanden visuelle Szenen einprägen. Bei späterer Vorlage derselben oder leicht veränderter Szenen detektierten sie eher Veränderungen, die die Bedeutung der Szene veränderten (etwa ein verändertes Tafelbild in einer Schulszene), als Veränderungen, die den Bedeutungsgehalt der Szene nicht veränderten (das veränderte Kleid einer Lehrerin in einer Schulszene; Mandler / Ritchey 1977).

Wie schnell entstehen diese semantischen Repräsentationen? In einer Studie sollten Bilder wiedererkannt werden (Gernsbacher 1985). Zunächst wurde ein Bild präsentiert. Danach wurde dasselbe Bild zusammen mit einem Ablenkerbild präsentiert, und die Probanden mussten angeben, welches Bild aus dem Bildpaar sie zuvor gesehen hatten. Die kritische Variation dabei war, dass der Ablenker entweder ein völlig anderes Bild war oder eine spiegelbildliche Version des zu erinnernden Bildes. Die Erinnerung wurde nach einem Intervall von 10 s oder 10 min getestet. Für die Bildpaare mit unterschiedlichen Bildern war die Erinnerungsleistung nach beiden Retentionsintervallen gleich. Anders jedoch bei den spiegelbildlichen Paaren: Hier fiel die Erinnerungsleistung von 79 % nach 10 s auf 57 % nach 10 min. Wenn man sich vor Augen führt, dass in diesem Experiment das Rateniveau bei 50 % lag, so war die Erinnerung an das exakte Aussehen des Bildes nach 10 min weitgehend verloren.

Dieser Verlust der exakten räumlichen Koordinaten mag auf die unterschiedlichen Funktionen des dorsalen und ventralen Pfades zurückgehen. Wie in Kapitel 1.3 dargelegt, spricht vieles dafür, dass die Neurone des dorsalen Pfades unsere Umwelt in exakten räumlichen Koordinaten kodieren. Sie ermöglichen es uns, gezielte Bewegungen auszuführen, etwa das Ergreifen eines Glases, wofür wir eine genaue Repräsentation des Ortes und der Form des Glases benötigen. Da eine Speicherung dieser exakten Koordinaten jedoch sehr aufwendig wäre, so die weitere Vorstellung, werden die exakten Ortskoordinaten nur so lange bereitgehalten, wie sie für die Ausführung der Bewegung benötigt werden.

Nun ist es aber nicht so, dass wir nur in der Lage wären, Gedächtnisinhalte abstrakt-semantisch zu repräsentieren. Im Gegenteil, wir scheinen in der Lage zu sein, eine enorme Menge an visuellen Reizen zu memorieren. Standing (1973) präsentierte seinen Probanden bis zu 10.000 Bilder und berichtete, dass diese über 80 % wiedererkannten.

In einer neueren Arbeit wurden 400 Bilder von Türen memoriert (Vogt/Magnussen 2007). Unmittelbar nach dem Lernen erkannten die Probanden 85 % der Bilder korrekt aus einer Liste mit alten und neuen Bildern wieder. Nach einem Retentionsintervall von 9 Tagen wurden immer noch etwa 70 % der Bilder korrekt wiedererkannt. Die Erinnerungsleistung war geringer als in einem vergleichbaren Experiment aus der Standing-Studie. Dies führen Vogt und Magnussen darauf zurück, dass die Türen in ihrem Experiment ein sehr viel homogeneres Stimulusmaterial waren als die Bilder von Standing. War also auch hier die semantische Unterscheidbarkeit ein wichtiger Faktor? Gegen diese Interpretation führen die Autoren ihre zweite Versuchsbedingung an, in der die Türbilder so bearbeitet wurden, dass Objekte, die sich neben den Türen befanden (ein Besen, der an der Wand lehnte, Wandleuchten etc.) entfernt wurden. In dieser Bedingung sank die Erkennungsgenauigkeit auf etwas über 60 %. Dies ist eine recht dramatische Einbuße, wenn man sich vor Augen hält, dass die Ratewahrscheinlichkeit bei 50 % lag. Offenbar



visuelle Kodierung

merken wir uns also auch visuelle Details. Diese Schlussfolgerung muss jedoch ein wenig eingeschränkt werden. Vielleicht merkten sich die Probanden gerade die zusätzlichen Objekte, weil das Hauptmotiv – Türen – immer das gleiche war.

Hollingworth, Henderson und Kollegen haben eine Reihe von Experimenten durchgeführt, die das Langzeitgedächtnis für visuelle Objekte unter natürlicheren Bedingungen untersucht haben (Hollingworth 2006). In diesen Experimenten wurden den Probanden künstlich generierte Szenen gezeigt, etwa ein Werkraum (Abb. 3.4.4). Die Probanden konnten sich diese Szenen anschauen, wobei ihre Augenbewegungen gemessen wurden. Ein Computer, der die Augenbewegungen in Echtzeit auswertete, registrierte, wenn die Probanden ein vorher festgelegtes (den Probanden aber nicht bekanntes; in Abb. 3.4.4a der Hammer) Zielobjekt fixierten. Nachdem die Probanden den Blick von dem Zielobjekt abgewendet hatten, wurde das Zielobjekt während einer Sakkade ausgetauscht. Anstelle des alten Objekts wurde entweder dasselbe Objekt, aber aus einem anderen Blickwinkel (Ausrichtungsdistraktor; Abb. 3.4.4b) oder ein neues Objekt derselben Kategorie (Token-Distraktor; 3.4.4c) präsentiert. In weiteren Experimenten wurden auch Objekte einer anderen Kategorie präsentiert (Type-Distraktoren; 3.4.4d).

Die Messung der Augenbewegung diente dazu sicherzustellen, dass das Zielobjekt während der Exploration des Bildes betrachtet – und damit auch beachtet – wurde und weiterhin der Blick in einen anderen Bereich der Szene weitergewan-

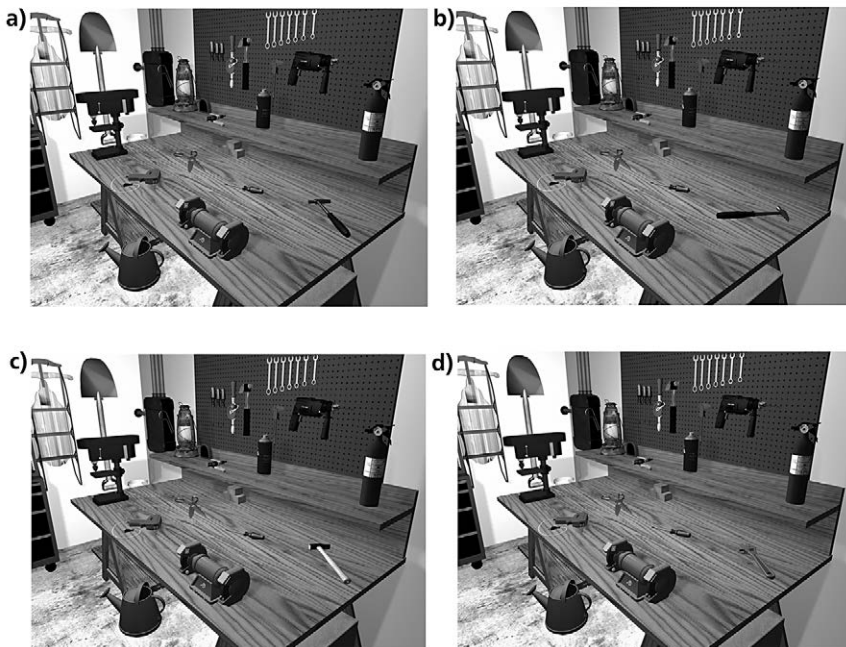


Abb. 3.4.4: Beispielszene aus den Experimenten von Hollingworth und Kollegen.

a) Originalszene, b) rotiertes Zielobjekt (Hammer), c) Token-Distraktor, d) Type-Distraktor (A. Hollingworth, mit Genehmigung des Autors)

dert war (das Zielobjekt also nicht mehr beachtet wurde, bevor der Wechsel stattfand). Der Austausch des Objekts während einer Sakkade sorgte dafür, dass die Probanden den Wechsel des Objekts nicht dadurch bemerkten, dass sie die Veränderung im Bild anhand einfacher Helligkeits- und Formänderungen bemerkten. Die sakkadische Suppression unterbricht während der Ausführung einer Sakkade die visuelle Wahrnehmung.

Sie können sich diesen Effekt leicht vor Augen führen, indem Sie vor einem Spiegel erst Ihr linkes Auge fixieren, dann Ihr rechtes usw. Sie werden dabei nie sehen, dass der Blick über Ihren Nasenrücken streift, obwohl er das natürlich tut.

Die Probanden entdeckten die Objektveränderungen in diesen Experimenten in einer signifikanten Anzahl von Durchgängen.

In einem weiteren Experiment wurde das Zielobjekt maskiert, wiederum nachdem es zuvor betrachtet worden war und der Blick inzwischen weitergewandert war. Den Probanden wurden dann zwei Objekte zur Auswahl angeboten, neben dem Originalobjekt dasselbe Objekt aus anderem Blickwinkel oder ein ähnliches Objekt. Selbst wenn die Probanden nach dem Betrachten des Zielobjekts bereits 9 andere Objekte fixiert hatten, war ihre Wahl in der Token-Aufgabe zu 85 % und in der Ausrichtungsaufgabe zu 92 % korrekt (Hollingworth/Henderson 2002).

Beruht das Wiedererkennen der Objektbilder auf Speicherung im Arbeitsgedächtnis oder im Langzeitgedächtnis? Diese Frage wurde mit einem weiteren Experiment untersucht (Hollingworth 2004). Die Logik dieses Experiments beruht auf der Tatsache, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses äußerst begrenzt ist. Wird nun eine Sequenz von Objekten präsentiert, so können nur die letzten Objekte (maximal 4, s. o.) im Arbeitsspeicher gehalten werden. Tatsächlich beobachtet man in aller Regel einen Behaltensvorteil für die letzten Elemente einer Liste (*recency*-Effekt). Die früheren Elemente der Liste, die noch behalten werden, sollten dementsprechend bereits, wenn auch vielleicht schwach, im Langzeitgedächtnis repräsentiert sein. Manchmal findet sich auch ein *primacy*-Effekt, eine bessere Behaltensleistung für die ersten Listenpositionen. Der *primacy*-Effekt wird allerdings selten bei visuellen Aufgaben beobachtet, vermutlich, weil er auf vermehrtem *rehearsal* der zuerst gelernten Items beruht und sich visuelle Objekte schlecht für *rehearsal* eignen (Shaffer/Shiffrin 1972).

Um die sequenzielle Position des Zielobjekts zu manipulieren, wurden die Probanden nun instruiert, sich wiederum Szenen anzuschauen. Dabei sollten sie allerdings einem Punkt folgen, der in kurzen Abständen von einem Objekt in der Szene zum nächsten sprang. Die Präsentation des Punktes bildete dabei eine natürliche Fixationssequenz nach. Am Ende der Sequenz wurde wieder das Zielobjekt maskiert und danach entweder das Zielobjekt oder ein verändertes Token gezeigt.

Abbildung 3.4.5 zeigt die Behaltensleistung in Abhängigkeit von der Position des Zielobjekts in der Sequenz der fixierten Objekte. Die Genauigkeit, mit der das Zielobjekt detektiert wurde, wurde mit dem A' -Maß angegeben – einer signalentdeckungstheoretischen Größe, die die Anzahl korrekter Alternativantworten modelliert. Ein $A' = 1$ bedeutet perfekte Sensitivität, $A' = 0,5$ entspricht dem Rate-niveau. Die Entdeckungsleistung im Experiment von Hollingworth (2004) war für die letzten beiden fixierten Objekte erhöht, pendelte sich danach aber auf einem

visuelles Arbeits- oder Langzeitgedächtnis?

deutlich über dem Rateniveau angesiedelten Niveau ein. Dabei machte es keinen Unterschied, ob nach dem Zielobjekt 3 oder 9 andere Objekte fixiert wurden. (Zur Erinnerung: die Probanden wussten nicht, welches Objekt am Ende der Sequenz getestet wurde.) Die gute Erinnerungsleistung für insgesamt 10 Objekte übersteigt deutlich die Kapazitätsgrenzen des visuellen Arbeitsgedächtnisses. Sie ist damit neben der Form der Detektionskurve ein weiteres Indiz dafür, dass die Objekte, abgesehen von den beiden zuletzt fixierten, im visuellen Langzeitgedächtnis gespeichert wurden.

In einem weiteren Experiment wurde diese Annahme eindrucksvoll bestätigt. Das Experiment war genauso aufgebaut wie das soeben besprochene sequenzielle Fixationsexperiment. Die Detektion der Zielobjekte, gepaart mit einem Token-Distraktor, wurde aber erst am Ende des Experiments getestet, nachdem bereits über 400 Objekte präsentiert worden waren. Die Detektionsleistung war durch diese Variation im Vergleich zur direkten Abfrage nach jeder Sequenz nur moderat beeinträchtigt ($A' = 0,75$). Selbst wenn die Abfrage um 24 Stunden verzögert wurde, erreichten die Probanden noch eine Detektionsleistung (für Token- und Ausrichtungsdistraktoren) von $A' = 0,7$ (Hollingworth 2005). Diese Studien bestätigen damit eindrucksvoll, dass das visuelle Langzeitgedächtnis eine enorme Kapazität hat. Sie zeigen weiterhin, dass wir in der Lage sind, visuelle Details, bis hin zur Ausrichtung von Gegenständen, dauerhaft zu speichern.

Ein anderer Weg, die Natur des Langzeitgedächtnisses zu untersuchen, ist die Frage nach seinen neuronalen Korrelaten. Wenn das Langzeitgedächtnis einen abstrakt-semantischen, von sensorischen Qualitäten losgelösten Charakter hat, so sollte die Erinnerung an den Geschmack einer Erdbeere oder den Klang einer Gi-

**neuronale
Kodierung**

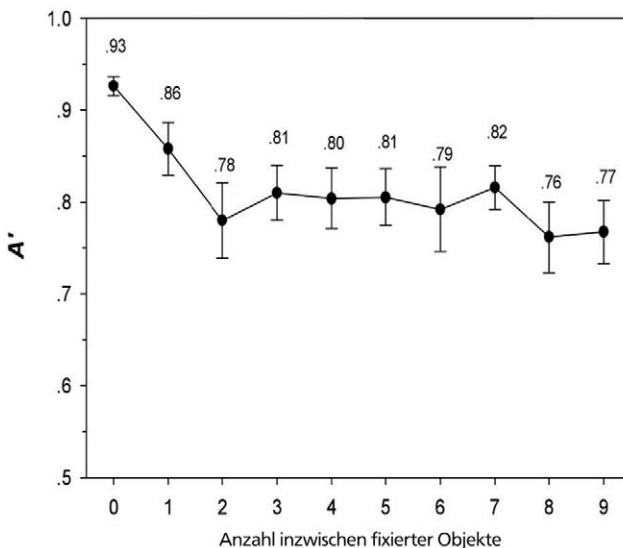


Abb. 3.4.5: Visuelles Objektgedächtnis in Abhängigkeit von der Fixationssequenz (nach Hollingworth 2004, bearbeitet)



sensorische
Repräsentation

tarre das gleiche neuronale System aktivieren. Wenn aber umgekehrt die sensorischen Qualitäten der Dinge in unserem Langzeitgedächtnis repräsentiert sind, dann sollte man vermuten, dass die Erinnerung an den Geruch eines Parfums ganz andere neuronale Ensembles aktiviert als die Erinnerung an die Farbe einer reifen Erdbeere. Wenn man sich nämlich fragt, welche Neurone wohl am besten geeignet sind, die Form und Farbe eines Apfels, seine feste Oberfläche, das Geräusch des Hineinbeißen, seinen Geruch und Geschmack zu repräsentieren, so kommt man schnell auf die Neurone, die diese Merkmale kodieren, wenn wir einen realen Apfel in die Hand nehmen und hineinbeißen, also die Neurone in den verschiedenen sensorischen Cortices.

Dies war die Ausgangshypothese eines fMRT-Experiments (Goldberg et al. 2006). Den Teilnehmern wurde ein geschriebenes Wort präsentiert, zu dem sie jeweils eine Frage beantworten sollten. Gefragt wurde nach der Farbe, dem Klang, dem Geschmack und danach, wie sich das bezeichnete Objekt anfühlt. Erwartet wurde, dass der Abruf der visuellen Qualität von einer Aktivierung des visuellen Cortex begleitet sein würde, der Abruf der auditiven Qualität von einer Aktivierung des auditiven Cortex, der Abruf der gustatorischen Qualität von der Aktivierung des gustatorischen Cortex und schließlich der Abruf der taktilen Qualität von der Aktivierung des somatosensorischen Cortex.

Goldberg und Kollegen fanden ihre Hypothese bestätigt: Der Abruf der Farbe ging mit einer inferioren temporalen Aktivierung einher, der Abruf des Klangs mit einer Aktivierung im Sulcus temporalis superior – einem sekundären auditiven Areal –, der Abruf des Geschmacks mit einer Aktivierung des Orbitofrontalcortex und der Abruf der taktilen Qualität mit Aktivierung von Teilen sowohl des somatosensorischen als auch des motorischen und des prämotorischen Cortex. Es ergab sich also eine gute Übereinstimmung zwischen den sensorischen Hirnarealen, die die Wahrnehmung der jeweiligen sensorischen Qualitäten ermöglichen, und der Aktivierung während des Gedächtnisabrufs. Dabei sei noch einmal daran erinnert, dass der Abruf durch verbale Reize erfolgte, also aufgrund einer abstrakt-semantischen Kodierung des jeweiligen Objekts. Auffällig war, dass die Aktivierungen, die mit den jeweiligen sensorischen Gedächtnisabrufen einhergingen, nicht in den primären sensorischen Arealen auftraten, sondern jeweils in „höheren“ sensorischen Arealen.



Fragen zu Kapitel 3.4

Überprüfen Sie Ihr Wissen!

- 171.** Erklären Sie den Ablauf und die Ergebnisse der Teilreportaufgabe.
- 172.** Welche Dauer hat der ikonische Speicher. Wodurch kann er überschrieben werden?
- 173.** Wie wird die Spezifität mancher Formen des perzeptuellen Lernens gedeutet?
- 174.** Welche Formen des visuellen Kategoriellernens gibt es? Wie unterscheiden sich die beteiligten Prozesse?
- 175.** Wie reagieren inferotemporale Neurone auf kategoriespezifische Merkmale?

176. Beschreiben Sie das Paradigma des kontextuellen Cueings. Welche Art des Lernens findet dort statt?
177. Was weiß man über die neuronalen Korrelate des kontextuellen Cueings? Diskutieren Sie die Befunde im Kontext der Amnesieforschung (Kap. 3.3).
178. Wie unterscheiden sich die Ergebnisse der Studien von Gernsbacher und Hollingworth und Kollegen? Versuchen Sie, einen Grund für die Unterschiede zu finden.
179. Wie kann man den Inhalt des visuellen Arbeitsgedächtnisses mit Hilfe eines geeigneten Blickbewegungsexperiments bestimmen?
180. Wie werden sensorische Gedächtniseinträge neuronal kodiert? Setzen Sie die Befunde in einen Zusammenhang mit der hippocampo-neocorticalen Theorie des Gedächtnisses (Kap. 3.3).

3.5 Lernparadigmen

3.5.1 Klassische Konditionierung

Eigentlich wollte der russische Physiologe Iwan Pawlow die nervöse Steuerung der Verdauung untersuchen. Während seiner Experimente bemerkte er jedoch, dass die Hunde, mit denen er experimentierte, bereits anfangen, eine erhöhte Speichelsekretion zu zeigen, wenn sie in den Untersuchungsraum geführt wurden, in dem sie regelmäßig Futter erhielten. Pawlows Verdienst war, zu erkennen, dass dieses Verhalten, das zunächst einmal eine ärgerliche Störung seines Versuchsaufbaus war, bedeutende Einsichten in die Mechanismen des Lernens erlaubte. Er begann, diesen Effekt systematisch zu untersuchen. Offensichtlich stellten die Hunde eine Verbindung zwischen dem Raum und der Futtergabe her. Um diese Assoziation besser kontrolliert zu untersuchen, präsentierte er kurz vor der Gabe des Futters einen Glockenton. Nach wenigen Wiederholungen konnte er messen, dass die Speichelsekretion, die sonst beim Anblick des Futters zunahm, bereits nach dem Glockenton anstieg.

Pawlow nannte die Speichelsekretion beim Anblick des Futters einen unbedingten Reflex, die bereits nach dem Glockenton erfolgende Sekretion einen bedingten Reflex. Die Wortwahl zeigt bereits, dass er davon ausging, dass die Hunde nicht bewusst lernten, eine Assoziation zwischen dem Ton und der nachfolgenden Futtergabe herzustellen, sondern dass es sich um ein reflexhaftes Verhalten handelte. Dies entsprach der vorherrschenden Anschauung der Zeit, die Tieren nur begrenzt „höhere geistige Tätigkeiten“ zutraute. Wir werden in Kapitel 3.7 zu der Frage zurückkehren, ob die Assoziation zwischen einem bedingtem Reiz (bei Pawlows Experimenten der Glockenklang) und einem unbedingten Reiz (dem Futter) kognitive Ursachenzuschreibung voraussetzt oder nicht. Der Begriff „Reflex“ wurde in späteren Arbeiten zur klassischen Konditionierung durch den neutralen Begriff „Reaktion“ ersetzt. Pawlows Experimente legten den Grundstein für das Paradigma der klassischen Konditionierung. Pawlow erhielt 1904 den Nobelpreis für Physiologie, allerdings für seine Arbeiten zur Physiologie der Verdauung.

B

**unbedingte und
bedingte Reaktion**

Iwan Pawlow (1849–1936): Klassische Konditionierung

Experimente mit Hunden

Anblick von Futter löst Speichelfluss aus.

- Futter: Unkonditionierter Reiz/Stimulus (US),
- Speichelfluss: Unkonditionierte Reaktion (UR).

Wird die Gabe des Futters wiederholt mit einem Ton gepaart, kann der Ton alleine Speichelfluss hervorrufen.

- Ton: Konditionierter Reiz (CS),
- Speichelfluss (auf Ton): Konditionierte Reaktion (CR).

Kontiguität

Einige von Pawlows ursprünglichen Befunden haben bis heute ihre Gültigkeit behalten. So fand er, dass CS und US wiederholt in zeitlicher Nähe präsentiert werden müssen, um eine Konditionierung zu ermöglichen. Diese zeitliche Nähe wird Kontiguität genannt.

Es gibt verschiedene Formen der Abfolge von CS und US beim klassischen Konditionieren. Die Konditionierung erfolgt am besten, wenn der US dem CS direkt folgt. Eine weitere weit verbreitete Methode ist die Spurkonditionierung (*trace conditioning*), bei der nach dem Ende des CS erst nach einer kurzen Pause der US folgt.

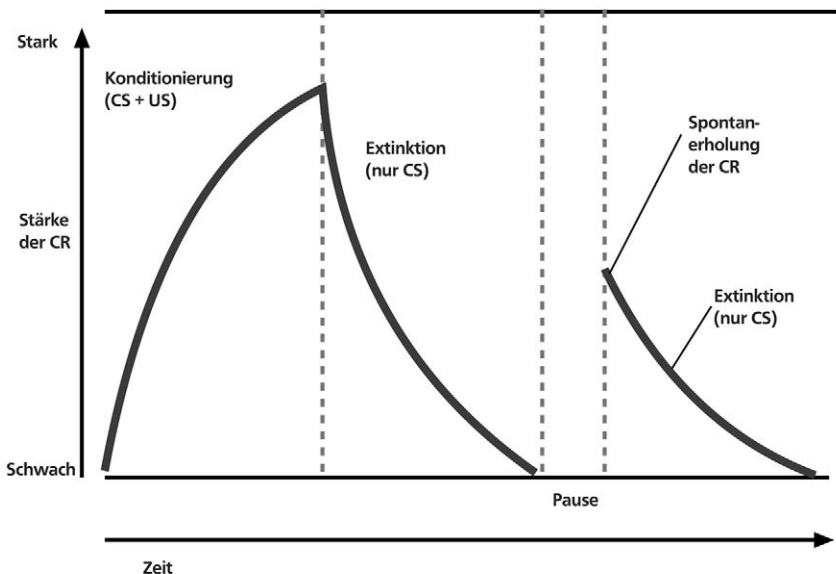


Abb. 3.5.1: Konditionierung, Extinktion und Spontanerholung

Wird der CS nach erfolgter Konditionierung mehrfach ohne den US präsentiert, wird die CR verringert (Abb. 3.5.1). Dies nennt man *Extinktion*. Bei der Extinktion wird die Assoziation zwischen CS und US aber nicht wirklich aus dem Gedächtnis gelöscht. Dies belegen die Phänomene der *Spontanerholung* und der *Disinhibition*:

Extinktion

Wird der CS nach einer längeren Pause nach erfolgter Extinktion wieder präsentiert, wird die CR wieder in ursprünglicher Stärke beobachtet (Spontanerholung). Weiterhin kann ein salienter Ablenkerreiz, etwa ein lautes Geräusch, dazu führen, dass die CR wieder in ursprünglicher Stärke auf den CS folgt, obwohl sie zuvor extinguiert war (Disinhibition).

**Spontanerholung
und Disinhibition**

3.5.2 Instrumentelle Konditionierung

Edward Thorndike experimentierte als Doktorand mit Katzen, die er in selbst gebaute Käfige (*puzzle boxes*) steckte. Die Katzen konnten sie nur verlassen, wenn sie komplizierte Schließmechanismen mit einer Reihenfolge von Bewegungen (Hebeldruck, Ziehen an einer Schnur etc.) überwandten. Er beobachtete, dass die Katzen von Mal zu Mal weniger Zeit benötigten, um die Tür des Käfigs zu öffnen und ein außerhalb des Käfigs befindliches Futter zu erreichen.



Thorndike nannte die Art des Lernens, die er in seinen Experimenten beobachtete, instrumentelles Konditionieren. Wie beim klassischen Konditionieren erlernen die Versuchstiere auch bei Thorndike eine konditionierte Reaktion – die Betätigung des Öffnungsmechanismus – und erhalten daraufhin eine Belohnung – das Futter. Anders als beim klassischen Konditionieren gibt es hier aber keinen konditionierten Reiz, der die konditionierte Reaktion hervorruft, sondern es muss gewartet werden, bis das Versuchstier die gewünschte Reaktion spontan zeigt. Beim instrumentellen Konditionieren tritt der Verstärker an die Stelle des unkonditionierten Reizes. Thorndike formulierte das Gesetz des Effekts (*law of effect*), wonach Verstärkung zur Stärkung von S-R-Assoziationen führt und damit kritisch für Lernen ist.

law of effect

Verstärker

Ein Verstärker ist ein Reiz, der die Auftretenswahrscheinlichkeit eines assoziierten Verhaltens erhöht. Ein Verhalten kann sowohl durch Gabe eines erstrebenswerten (appetitiven) Reizes verstärkt werden als auch durch Vermeidung eines aversiven Reizes. Dies ist grundsätzlich verschieden von Bestrafung, die wiederum durch Gabe eines aversiven Reizes oder Verlust eines appetitiven Reizes erfolgen kann.

Burrhus F. Skinner entwickelte das instrumentelle Konditionieren weiter. Er schuf mit dem operanten Konditionieren eine Spielart, die den Prinzipien des instrumentellen Konditionierens folgt, aber anstelle abgegrenzter Versuchsdurchgänge die Häufigkeit eines bestimmten Verhaltens in einem Beobachtungsintervall zählte.

**operantes
Konditionieren**

Zu diesem Zweck entwickelte er Untersuchungskammern, die einerseits die Darbietung von Licht und Tonreizen in festgelegten Abständen ermöglichten,

Skinner-Box

Tab. 3.5.1: Formen der Verstärkung und Bestrafung

	Appetitiver Reiz	Aversiver Reiz
Gabe	Positive Verstärkung	Positive Bestrafung
Entzug	Negative Bestrafung	Negative Verstärkung

andererseits die Aufzeichnung der Häufigkeit von Verhaltensweisen wie Hebel- oder Tastendrücken erlaubten. Weiterhin ermöglichten diese, nach dem Erfinder „Skinner-Box“ genannten Versuchskäfige die Gabe von Verstärkern oder auch Bestrafungen nach festgelegten Plänen. Das operante Konditionieren erlaubte nicht nur die Erhebung größerer Datenmengen in kürzerer Zeit, sondern auch eine größere Flexibilität in der Gabe der Verstärker.

Im einfachsten Fall, der kontinuierlichen Verstärkung, folgt der Verstärker jedes Mal auf das zu verstärkende Verhalten. Der Verstärker kann jedoch auch erst gegeben werden, nachdem das Verhalten mehrfach gezeigt wurde. In diesem Fall spricht man von Ratenverstärkung. In wieder einer anderen Variante, der Intervallverstärkung, wird der Verstärker in einem bestimmten Zeitintervall nur einmal gegeben. Ein Beispiel für einen Ratenverstärkungsplan wäre eine Verstärkung nach jeweils fünfmaligem Auftreten des gewünschten Verhaltens, etwa eines Hebeldrucks. Bei einem Intervallplan mit einem Intervall von 30 s würde der Verstärker auch als Folge des Hebeldrucks gegeben, die nächste Verstärkung erfolgt erst, wiederum auf einen Hebeldruck des Versuchstiers, nachdem 30 s seit der vorigen Verstärkung vergangen sind. Sowohl Raten- als auch Intervallverstärkung kann fix oder variabel erfolgen. Damit ist gemeint, dass die Verstärkungsrate oder das Intervall stets gleich bleibt oder aber von Mal zu Mal um einen Mittelwert schwankt. So kann ein variabler Ratenverstärkungsplan einen Mittelwert von 5 Verstärkungen nach 3, 6, 7 und 4 Hebeldrücken enthalten. Ebenso kann ein Verstärkungsintervall um einen Mittelwert herum schwanken.

Die Art der Verstärkung hat Auswirkungen auf das Lernen. So erfolgt das Lernen bei Raten- und Intervallverstärkung langsamer als bei kontinuierlicher Verstärkung. Allerdings erfolgt auch die Extinktion langsamer, das konditionierte Verhalten bleibt auch in Abwesenheit des Verstärkers länger erhalten. Bei intermittierender Verstärkung ist das Ausbleiben des Verstärkers nach der konditionierten Reaktion kein so eindeutiges Signal, dass die Verstärkung auch nach zukünftigen Reaktionen ausbleiben wird.

3.5.3 **Gemeinsamkeiten von klassischem und instrumentellem Konditionieren**

Auch wenn der Ablauf der Konditionierung sich beim klassischen und instrumentellen Konditionieren unterscheidet, so haben sie doch gemeinsam, dass im Verlauf des Lernens bestimmte Reaktionen auf Stimuli mit einem appetitiven Reiz oder der Vermeidung eines aversiven Reizes assoziiert werden.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.46.144.6 aus dem Netz der USEB HS Zittau am 14.10.2020 um 18:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

intermittierende
Verstärkung

Klassische und instrumentelle Konditionierung teilen sich das Phänomen der Reizgeneralisierung. Damit ist gemeint, dass die konditionierte (oder instrumentelle) Reaktion nicht nur durch den konditionierten Reiz, sondern auch durch dem CS ähnliche Reize ausgelöst werden kann.

In einem typischen Versuchsaufbau wurden Tauben belohnt, wenn sie bei Aufleuchten eines Lichts einer bestimmten Wellenlänge mit dem Schnabel auf einen Hebel pickten (Guttman/Kalish 1956). Wenn den Tauben nach der initialen Konditionierung Licht unterschiedlicher Wellenlänge (ohne Verstärkung) gezeigt wurde, so sank die Reaktionshäufigkeit mit zunehmender Distanz zur konditionierten Wellenlänge graduell ab (Abb. 3.5.2). Wurden die Tauben mit einem Licht von 530 nm konditioniert, so sank die Reaktionshäufigkeit bei Licht von 520 oder 540 nm zwar deutlich, sie lag aber immer noch deutlich über der Reaktionshäufigkeit bei sehr unähnlichem Licht (z. B. 500 nm).

Reizgeneralisierung ist u. U. ein Problem, wenn man eine Konditionierung auf einen bestimmten Reiz erzielen will. In diesem Fall kann man zur Methode der differenziellen Konditionierung greifen. Hierbei werden zwei CS präsentiert, von denen jedoch nur einer verstärkt wird.

In einem solchen Experiment wurden wiederum Tauben konditioniert, diesmal auf einen Ton von 1.000 Hz. Abbildung 3.5.3 zeigt einen ähnlichen Generalisierungsgradienten wie Abbildung 3.5.2, mit einem Maximum bei 1.000 Hz. Nach der Konditionierung auf den 1.000-Hz-Ton lernten die Tauben, dass der 1.000-Hz-Ton weiter verstärkt wurde (CS+), ein Ton von 950 Hz jedoch nicht (CS-). Die

Reizgeneralisierung



Reizdiskrimination

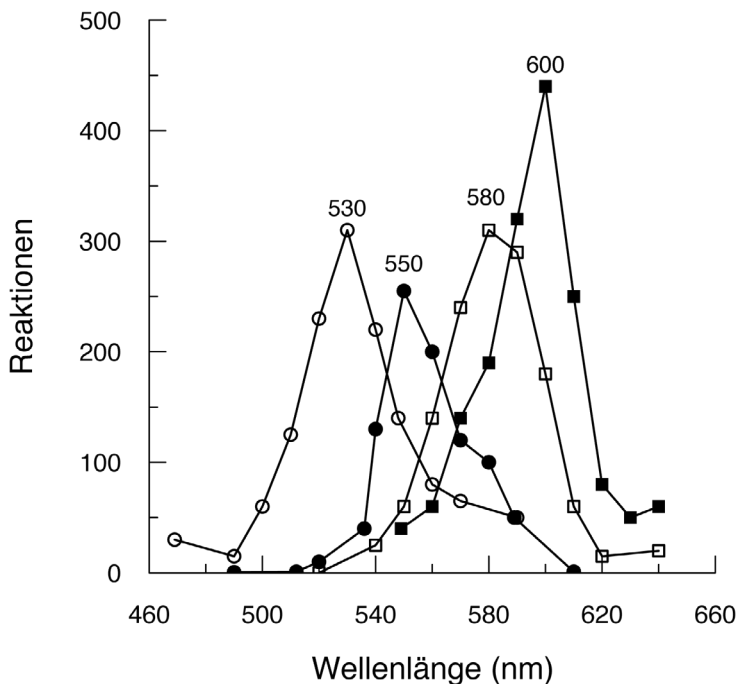


Abb. 3.5.2: Reizgeneralisierung bei Tauben, die auf Lichtreize von 530, 550, 580 und 600 nm konditioniert wurden (nach Guttman/Kalish 1956)

Reaktionskurve nach dieser differenziellen Konditionierung ist deutlich schmäler als die Generalisierungskurve. Weiterhin fällt auf, dass das Maximum nicht mehr bei 1.000 Hz, sondern leicht verschoben bei 1.050 Hz liegt. Der Unterschied der beiden Kurven zeigt, dass die Tauben feinere Unterschiede zwischen benachbarten Reizen treffen können, wenn diese unterschiedliche Verstärkung signalisieren. Er zeigt weiterhin, dass die Generalisierungskurve nicht einfach darauf beruht, dass die Tiere die Reize nicht besser unterscheiden können. Die Generalisierung spiegelt eher so etwas wie eine Einschätzung der Zielreizähnlichkeit wider (wobei damit nicht gesagt ist, dass den Tauben dies bewusst ist).

Differenzielle Konditionierung ist eine geeignete Methode, um die Wahrnehmungsleistung von Tieren zu bestimmen, von denen man ja keine sprachlichen Reaktionen erhalten kann. Dazu werden die Tiere differenziell auf immer ähnlichere Reize konditioniert. Solange eine differenzielle Reaktion beobachtet wird, kann man schließen, dass die Tiere den Reizunterschied noch wahrnehmen können.

Nicht jede Verhaltensweise kann gleich gut gelernt werden. Insbesondere treten Schwierigkeiten auf, wenn das zu lernende Verhalten im Widerspruch zu scheinbar situationsangepasstem Verhalten steht. So fällt es schwer, nicht zu bremsen, wenn das Auto auf vereister Straße ins Rutschen gerät (bei neueren Autos mit ABS muss man das auch nicht mehr behezen). Ein anderes Beispiel ist die Vorlage beim Skifahren, die dem spontanen Impuls des Anfängers, sich angesichts des Abgrunds zurückzulehnen, diametral entgegengesetzt ist.

B

assoziativer Bias

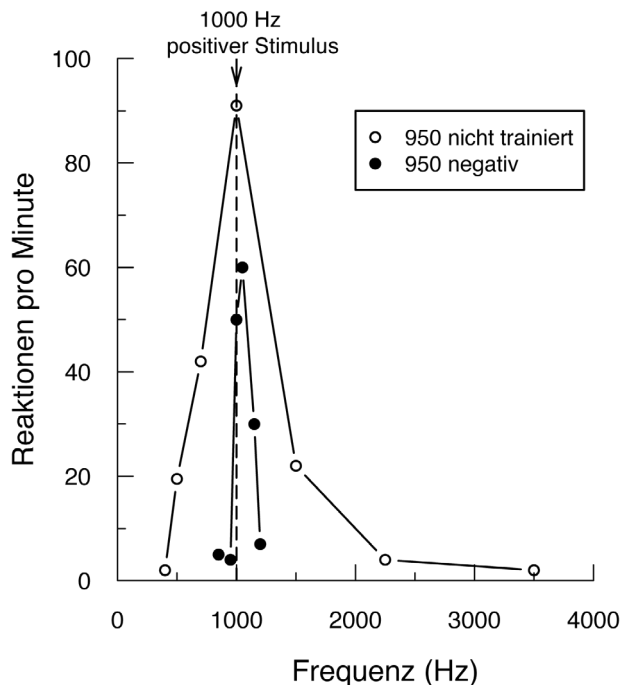


Abb. 3.5.3: Reizdiskrimination bei Tauben, die auf einen CS+ von 1.000 Hz und einen CS- von 950 Hz differenziell konditioniert wurden, im Vergleich zu einfacher Konditionierung auf 1.000 Hz (nach Jenkins/Harrison 1962)

3.5.4 Nichtassoziatives Lernen

Sowohl klassische als auch instrumentelle Konditionierung sind Formen assoziativen Lernens. Es gibt aber auch einfachere, nichtassoziative Formen des Lernens: Habituation und Sensitivierung. **Habituation** bedeutet die Abschwächung einer Reaktion auf einen Reiz, wenn dieser wiederholt dargeboten wird. Im Gegenteil dazu bedeutet **Sensitivierung**, dass die Reaktion auf den wiederholten Reiz zunehmend stärker wird. Anschaulich kennen Sie diese Phänomene vermutlich aus eigener Erfahrung – ein zunächst störendes Geräusch, wie das Motorgeräusch eines Autos, wird nach kurzer Zeit kaum noch wahrgenommen. Andererseits kann es aber auch immer störender werden. Habituation und Sensitivierung können durchaus auf den gleichen Reiz erfolgen, wobei Habituation eher bei Reizen niedriger Intensität, Sensitivierung eher bei hochintensiven Reizen beobachtet wird. Beide Phänomene wurden in vielen Spezies beobachtet, Habituation vom Menschen bis zu Einzellern, Sensitivierung hinunter bis zu Plattwürmern. Habituation wurde im Tierversuch auch nach Decerebrierung, d. h. nach Entfernung des Großhirns, beobachtet. Es handelt sich also um biologisch einfache Lernmechanismen.

Wie die Konditionierung folgt die Habituation einer negativ-exponentiellen Funktion, zeigt Reizgeneralisierung, Spontanerholung und Dishabituation nach starken Störreizen. Es gibt also starke Parallelen zur Extinktion. Die Sensitivierung kann irrtümlich als Konditionierung angesehen werden. Daher werden in vielen Konditionierungsexperimenten in einer Kontrollbedingung US und CS unabhängig voneinander dargeboten, um auszuschließen, dass der beobachtete Lerneffekt auf eine Sensitivierung zurückzuführen ist (also ohne Beteiligung des CS).



**Habituation / -
Sensitivierung**

Fragen zu Kapitel 3.5



Überprüfen Sie Ihr Wissen!

- 181.** Beschreiben Sie die Komponenten des klassischen Konditionierens (US, CS, UR, CR) anhand eines selbst ausgedachten Konditionierungsexperiments.
- 182.** Was bedeutet Kontinguität und Kontingenz. Welche Bedeutung haben sie für die Konditionierung?
- 183.** Was ist und wann entsteht Extinktion? In welchen Situationen wird sie reduziert? Bei welcher Art der Verstärkung verläuft die Extinktion verlangsamt?
- 184.** Wie ist positive und negative Verstärkung definiert? Geben Sie Beispiele für beide Arten der Verstärkung.
- 185.** Wie verläuft instrumentelle Konditionierung? Wie verhält sie sich zur operanten Konditionierung?
- 186.** Beschreiben Sie die Gabe der Verstärkung in einem variablen Ratenverstärkungsplan/einem fixen Intervallverstärkungsplan.
- 187.** Was ist Reizgeneralisierung, was Reizdiskrimination? Beschreiben Sie das experimentelle Vorgehen.
- 188.** Geben Sie Beispiele für einen assoziativen Bias.
- 189.** Nennen Sie zwei nichtassoziative Lernformen.
- 190.** Welche Charakteristika haben Habituation und Extinktion gemeinsam?

3.6 Mechanismen der Konditionierung

Im letzten Kapitel haben wir einige grundlegende Methoden und Befunde der Konditionierungsforschung kennengelernt. In diesem Kapitel soll es nun darum gehen, die Mechanismen zu untersuchen, die das Lernen durch Konditionierung ermöglichen. Dabei geht es zunächst um die Frage, welcher Art die Assoziationsbildung ist, die bei der Konditionierung aufgebaut wird. Des Weiteren werden wir sehen, dass das gemeinsame Auftreten von CS und US oder von Verhalten und Verstärker allein noch nicht für Konditionierungslernen ausreicht. Schließlich werden wir uns der Frage zuwenden, welchen Gesetzen die Konditionierung mit aversiven Reizen folgt.

3.6.1 S-R- oder S-S-Assoziation?

Pawlow ging davon aus, dass bei der klassischen Konditionierung eine Assoziation zwischen CS und UR herausgebildet wurde, die der ähnelte, die zwischen US und UR bestand. Er sprach vom bedingten Reflex, der ähnlich wie der unbedingte Reflex aufgebaut sei. Vielleicht ist es aber so, dass die klassische Konditionierung nicht darauf beruht, dass eine Assoziation zwischen CS und UR entsteht (die damit zur CR wird), sondern auf einer Assoziation zwischen CS und US.

Ein Versuch, zwischen diesen Alternativerklärungen zu unterscheiden, bestand darin, die motorische Antwort während der Konditionierung durch eine vorübergehende pharmakologische Lähmung zu unterdrücken. Die Hypothese war, dass eine erfolgreiche Konditionierung unter diesen Bedingungen nur durch eine Assoziation zwischen CS und US entstehen kann (kurz Stimulus-Stimulus- oder S-S-Verbindung). Tatsächlich wurde gefunden, dass eine Konditionierung erfolgte.

Kritiker wandten ein, dass nur die periphere Motorik ausgeschaltet war, nicht aber motorische Befehle im Zentralnervensystem. Damit waren diese Befunde kein starkes Argument gegen eine S-R-(Stimulus-Reaktions-)Assoziation als Basis des Lernens.

Ein anderes Paradigma basierte auf der Entwertung des US. Ratten lernten, das Aufleuchten einer Lampe mit der Gabe von Futter zu assoziieren. Nach der Konditionierung erhielten die Ratten Futter, bis sie satt waren. Durch die Sättigung wurde der Verstärker, das Futter, entwertet. Dadurch sollte auch die Stärke der UR verringert sein. Wenn nun eine Assoziation zwischen CS und US ausgebildet wurde, so sollte der CS auch eine schwächere CR nach sich ziehen, da der US ja entwertet wurde. Wurde jedoch eine vom US unabhängige Assoziation zwischen CS und CR gelernt, so sollte der CS die CR noch in gleicher Stärke hervorrufen wie ohne Entwertung des US. Die Befunde sprachen wiederum für die S-S-Erklärung der Konditionierung, indem die CR abgeschwächt war oder gänzlich ausblieb.

Ein weiterer Ansatz war das sensorische Vorkonditionieren. Bei diesem Paradigma werden vor der Konditionierung zwei neutrale Reize, etwa ein Licht und ein Ton, wiederholt zusammen präsentiert. Dann wird nur einer der Reize (CS+) mit dem US zusammen präsentiert. Die Frage ist nun, ob nur der CS+ eine kondi-

Reaktionsunterdrückung



US-Entwertung

sensorisches Vorkonditionieren

tionierte Reaktion nach sich zieht oder auch der andere neutrale Reiz (CS-), der nie mit dem US zusammen präsentiert wurde. Führt der CS- zu einer CR, ist dies eine klare Bestätigung der S-S-Hypothese, da der CS- ja nie eine Assoziation mit dem UR aufbauen konnte. Die Ergebnisse sprachen wiederum dafür, dass eine Assoziation zwischen CS und US ausreicht, um eine konditionierte Reaktion hervorzurufen. Das Besondere bei dem Paradigma des sensorischen Vorkonditionierens ist dabei, dass die Assoziation zwischen CS+ und CS- ohne Assoziation mit einem US, alleine durch zeitliche Kopplung aufgebaut wurde.

3.6.2 Kontingenz

Bisher haben wir nur gelernt, dass die zeitliche Nähe des CS und US, ihre Kontinguität, eine Voraussetzung für klassisches Konditionieren ist. Was wir bisher nicht berücksichtigt haben, ist die *Basisrate* des US. Die Basisrate gibt an, wie häufig der US auftritt, ohne dass zeitnah der CS präsentiert wird.

In einem Experiment (Rescorla 1988) wurden Ratten zunächst trainiert, einen Hebel zu drücken. Dann wurde der Hebeldruck mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit mit einem Elektroschock verknüpft [Kontinguität; $P(\text{US}|\text{CS})$]. Weiterhin

Basisrate des US

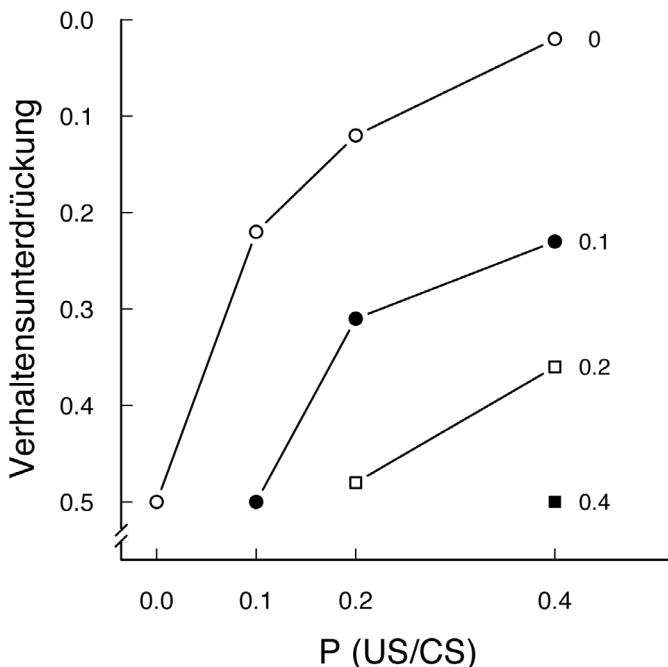


Abb. 3.6.1: Konditionierungsstärke als Funktion der Kontinguität [$P(\text{US}|\text{CS})$] und der Basisrate [$P(\text{US}|\text{CS})$]: weißer Kreis = 0; schwarzer Kreis = 0,1; weißes Quadrat = 0,2; schwarzes Quadrat = 0,4] (nach Rescorla 1988). Der Lernerfolg bestand im Unterdrücken des Tastendrucks, geringe Werte auf der y-Achse repräsentieren also gutes Lernen (nach Rescorla 1988, bearbeitet).

wurden, wiederum mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit, die Elektroschocks unabhängig vom Tastendruck gegeben [Basisrate des US; $P(\text{US}|\text{-CS})$]. Gemessen wurde der Konditionierungserfolg, der darin bestand, wie gut die Ratten lernten, die Taste nicht mehr zu drücken (s. Abb. 3.6.1).

Es zeigte sich, dass der Lernerfolg nicht durch die Höhe der Kontiguität vorhergesagt werden konnte. Entscheidend war die Kontingenz, d. h. das Verhältnis der beiden Wahrscheinlichkeiten $P(\text{US}|\text{CS})$ und $P(\text{US}|\text{-CS})$. Stieg einerseits die Kontiguität von CS und US, andererseits aber auch im gleichen Maße die Basisrate, so blieb der Lernerfolg gleich. Dies wird in Abbildung 3.6.1 veranschaulicht, wenn wir etwa den Datenpunkt, bei dem $P(\text{US}|\text{CS})$ und $P(\text{US}|\text{-CS})$ beide 0,1 betragen, mit dem Punkt vergleichen, bei dem beide Wahrscheinlichkeiten auf 0,4 angestiegen sind. In beiden Fällen betrug die Konditionierungsleistung 0,5, d. h. das zu konditionierende Verhalten war auf die Hälfte der Ausgangsrate gesunken. Betrug die Kontiguität von CS und US jedoch 0,4 und die Basisrate des US nur 0,1 (d. h. der US trat nach dem CS in 40 % der Durchgänge auf, aber nur in 10 % der Durchgänge ohne den CS), so war das zu konditionierende Verhalten auf etwa ein Viertel der Ausgangsrate gesunken. Da die Konditionierung auf eine Verminderung dieses Verhaltens zielte, war der Lernerfolg also höher.

Eine mögliche Erklärung dafür, dass die Kontingenz von CS und US entscheidend für den Konditionierungserfolg ist, ist der Informationsgehalt des CS, der von der Kontingenz, nicht aber der Kontiguität abhängt. Mit anderen Worten: Erscheint der US häufiger nach dem CS als ohne diesen, so kann man das Auftreten des US zu einem gewissen Grad (der genau der Kontingenz entspricht) vorhersagen. Tritt der US jedoch genauso häufig ohne den CS wie kurz nach dem CS auf, so trägt der CS keine Information über die Auftretenswahrscheinlichkeit des US. Demzufolge ist auch kein effizientes Lernen zu erwarten.

Die Kontingenz ist nicht nur für das klassische Konditionieren von entscheidender Bedeutung, sondern auch für das instrumentelle Konditionieren. Hier geht es um die Kontingenz zwischen dem instrumentellen Verhalten und dem Verstärker.

In einem Experiment wurden Ratten so lange konditioniert, bis sie auf eine 5-prozentige Verstärkungsrate mit erhöhten Tastendrücken reagierten, solange die Verstärkung 100 % kontingent war. Das heißt, der Verstärker wurde nie gegeben, wenn das instrumentelle Verhalten nicht zuvor gezeigt wurde. Wenn nun die Basisrate des Verstärkers ebenfalls auf 5 % angehoben wurde (und damit die Kontingenz = 0 war), so fiel die Rate der Tastendrücke schnell auf nahezu null. Wurde die Basisrate wiederum auf null reduziert, so stieg die Rate der Tastendrücke schnell wieder an.

Ein Beispiel: Ein Kind, das für das Aufräumen seines Zimmers regelmäßig gelobt wird, wird (bewusst oder unbewusst) diesen Zusammenhang schnell lernen. Wird das Kind jedoch genauso häufig gelobt, wenn es sein Zimmer nicht aufräumt, kann es keinen Zusammenhang zwischen Aufräumen und Lob herstellen. Die Vorhersagbarkeit des Lobs ist gleich null. Das Beispiel zeigt, dass gut gemeintes Lob, das ohne Ansehen des Kindesverhaltens gezeigt wird, Lernen behindern kann.

Der Informationsgehalt des CS spielt auch bei dem Phänomen des *blocking* eine Rolle. Dabei wird zunächst eine Assoziation zwischen CS1 und US per klassischer Konditionierung hergestellt (etwa zwischen einem Licht und anschließender



B

blocking

Futtergabe). Wenn nun ein zweiter CS (etwa ein Ton) zusammen mit dem CS1 präsentiert wird, so lernen die Versuchstiere den Zusammenhang zwischen dem CS2 und dem US nur sehr begrenzt. Diese Lernblockade scheint darauf zurückzuführen sein, dass der CS2 keine neuen Informationen über das Auftreten des US gibt, über die Information hinaus, die der CS1 gibt. So wird der Zusammenhang zwischen CS2 und US nur schlecht gelernt, obwohl die Kontingenz zwischen CS1 und US und zwischen CS2 und US dieselbe ist.

Ähnlich verhält es sich bei dem Phänomen des *overshadowing*. Wenn zwei CS mit gleicher Kontingenz mit dem US assoziiert sind, so beobachtet man manchmal, dass der Zusammenhang zwischen einem der CS und dem US schneller gelernt wird als der Zusammenhang zwischen dem anderen CS und dem US. Einer der CS gerät also ins Hintertreffen, er wird von dem anderen CS „überschattet“.

Es kann jedoch auch dazu kommen, dass eine Assoziation zwischen dem Komplex aus CS1 und CS2 und dem US gelernt wird, so dass die konditionierte Reaktion nur dann vermehrt auftritt, wenn CS1 und CS2 zusammen präsentiert werden.

overshadowing

compound conditioning

Rescorla-Wagner-Modell

Die vielleicht einflussreichste Theorie des klassischen Konditionierens wurde von Rescorla und Wagner (1972) aufgestellt. Die Theorie beruht auf drei Kernannahmen:

1. Die Konditionierungsstärke beruht auf der Assoziationsstärke V zwischen CS und US.
2. Die Assoziationsstärke hat ein Maximum λ . Die Höhe von λ beruht auf der Stärke des US.
3. Es gibt eine Lernrate α , die die Geschwindigkeit bestimmt, mit der die maximale Assoziationsstärke λ erreicht werden kann.

Wenn CS und US gepaart werden, vollzieht sich die Konditionierung proportional zur Lernrate α . Entscheidend ist die weitere Annahme, dass die Zunahme der Assoziationsstärke ΔV mit jeder Paarung von CS und US abhängig ist von der Differenz zwischen der maximal erreichbaren Assoziationsstärke λ und der aktuell erreichten Assoziationsstärke V . Diese Annahmen ergeben die Formel $\Delta V = \alpha (\lambda - V)$

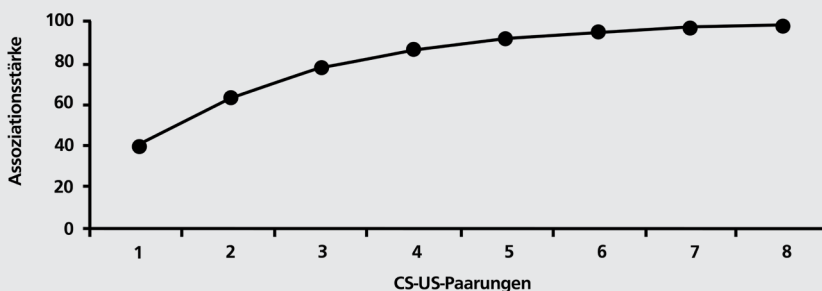


Abb. 3.6.2: Beispielhafte Zunahme der Assoziationsstärke über 8 Konditionierungsdurchgänge

Die Formel besagt, dass die Zunahme der Assoziationsstärke (und damit der Lernfortschritt) zu Beginn der Konditionierung am größten ist, da dann V noch sehr klein und damit die Differenz $\lambda - V$ groß ist. Mit zunehmender Wiederholung der CS-US-Paarung wird der Lernzuwachs immer geringer. Man kann diese Formel auch so interpretieren, dass der Lernzuwachs am größten ist, wenn die Vorhersagbarkeit des US am geringsten ist. Mit zunehmender Wiederholung der CS-US-Paarung wird der Zusammenhang zwischen CS und US immer vorhersagbarer und damit der Lernzuwachs geringer (zum Zusammenhang mit dem Konzept des Vorhersagefehlers s. a. Kap. 4.3).

Nehmen wir an, CS und US werden 8-mal gepaart. Die maximale Assoziationsstärke sei 100, die initiale Assoziationsstärke ist 0. Die Lernrate betrage 0,40. Wenn wir diese Werte in die Formel einsetzen, ergibt sich für den ersten Lerndurchgang:

$$\Delta V = 0,40 (100 - 0) = 40$$

Für den zweiten Lerndurchgang müssen wir die im ersten Durchgang erreichte Assoziationsstärke in die Formel einsetzen und erhalten:

$$\Delta V = 0,40 (100 - 40) = 24$$

Für den dritten Durchgang erhalten wir, indem wir die summierten Assoziationsstärken aus den ersten beiden Durchgängen ($40 + 24$) einsetzen:

$$\Delta V = 0,40 (100 - 64) = 14,4$$

Abbildung 3.6.2 enthält die Werte für alle 8 Lerndurchgänge. Wir sehen die typische, anfangs stark zunehmende und dann immer geringer steigende Konditionierungskurve.

3.6.3 Aversive Verhaltenskontrolle

Bestrafung

In der populären Presse liest man von Zeit zu Zeit, dass Bestrafung kein Lernen auslösen könne. Das ist ganz offensichtlich falsch, wie jeder weiß, der vielleicht als Kind einmal auf eine heiße Herdplatte gefasst hat. Bestrafung als Mittel des Lernens hat aber durchaus Einschränkungen, insbesondere, dass durch sie Vermeidungsverhalten oder Unterdrückung eines Verhaltens erreicht werden kann, aber eher nicht ein bestimmtes appetitives Verhalten hervorgerufen wird. Mit dem Gegensatzpaar „appetitiv“ und „aversiv“ werden Reize bezeichnet, die erstrebenswert sind bzw. die man vermeiden möchte. Kapitel 4.3 geht ausführlich auf die Details der Furchtkonditionierung als dem dominanten aversiven Konditionierungsparadigma ein. Hier soll es zunächst nur um allgemeine Aspekte gehen, die bei Methoden der aversiven Verhaltenskontrolle von Bedeutung sind.

Die Wirksamkeit einer Bestrafung hängt zunächst, wie die der Verstärkung, von der zeitlichen Nähe zu dem zu verändernden Verhalten ab. In Experimenten mit Ratten bewirkte eine Bestrafung, die mit einer Verzögerung von 30 s erfolgte, nur wenig mehr Vermeidungsverhalten als eine Kontrollbedingung, in der die Bestrafung nicht kontingent zu dem Verhalten (Tastendruck auf einen Klickreiz hin) der Ratte erfolgte (Camp et al. 1967). Beim Menschen ist dieser Zusammenhang sicher nicht so eng, da der Zusammenhang zwischen Verhalten und Strafe auch erklärt werden kann. Dennoch ist es sicher eine bedenkenswerte Frage, ob die teilweise sehr langen Zeitdauern, die zwischen Straftaten und ihrer Ahndung durch die Justiz liegen, nicht zu einer Abschwächung der Wirksamkeit der Bestrafung, im Sinne einer Vermeidung zukünftiger Straftaten, führt.

zeitliche Nähe

Auch die Stärke der Bestrafung bestimmt ihre Wirksamkeit. Natürlich sollte eine Strafe nicht übertrieben hart sein, allerdings sollte sie auch nicht zu gering ausfallen. Insbesondere verlieren Strafen einen Großteil ihrer Wirksamkeit, wenn sie langsam gesteigert werden. So wurde in tierexperimentellen Untersuchungen gefunden, dass elektrische Schocks der gleichen Intensität viel weniger Verhaltenssuppression bewirkten, wenn die Intensität langsam gesteigert wurde, im Vergleich zu der sofortigen Applikation der höheren Intensität (Miller 1960).

Stärke

Wie bei der Verstärkung, so ist die Kontingenz auch bei der Bestrafung von entscheidender Wichtigkeit. Dies wurde in einer Studie eindrucksvoll gezeigt, in der zwei Gruppen von Ratten zunächst lernten, einen Hebel zu drücken, um daraufhin Futter zu erhalten (Church 1969). In einer zweiten Phase erhielt eine Gruppe in zufälliger Abfolge, nicht mit den Hebeldrücken kontingente Elektroschocks. Beide Gruppen wurden weiter mit Futter für die Hebeldrücke verstärkt. In der entscheidenden dritten Phase schließlich folgten die Schocks in beiden Gruppen kontingent auf die Hebeldrücke. Die zuvor nur verstärkten Ratten lernten sehr schnell, dass die Hebeldrücke nun bestraft wurden, und stellten diese ein. Die zuvor nicht kontingent bestrafte Gruppe hingegen zeigte über alle 5 Sitzungen der dritten Phase kein Lernen, sie drückten den Hebel gleich häufig wie zuvor. Nichtkontingente Bestrafung führte hier dazu, dass es den Tieren später nicht gelang, eine Assoziation zwischen kontingenter Bestrafung und ihrem Verhalten herzustellen. Auf den Menschen übertragen könnte dies bedeuten, dass die Erfahrung willkürlicher Gewalt in der Kindheit die Heranwachsenden später darin beeinträchtigt, aus Strafen zu lernen, die kontingent auf delinquentes Verhalten folgen.



Kontingenz

Bestrafung führt eher zu einer Verhaltensänderung, wenn eine Handlungsalternative zur Verfügung steht. Einen Beleg hierfür liefert eine Studie mit Tauben, die zunächst lernten, mit ihrem Schnabel auf einen Hebel zu picken (Azrin/Holz 1966). Später wurden sie für dieses Verhalten mit Elektroschocks bestraft. Eine Hälfte der Tauben hatte nur einen Hebel in ihrem Käfig, eine andere Gruppe hingegen hatte noch einen zweiten Hebel, neben dem zuvor mit Futter verstärkten Hebel. Die Tauben, die noch einen zweiten Hebel in ihrem Käfig hatten, hörten ab einer bestimmten Stärke des Elektroschocks (50 V) auf, den zuvor verstärkten Hebel zu picken und wandten sich dem anderen Hebel zu. Die andere Gruppe hingegen fuhr fort, den einzigen Hebel zu picken, und bedurften weit höherer Schockstärken (60–80 V), um ihr Verhalten einzustellen.



**Handlungs-
alternativen**

Es sollte nicht vergessen werden, dass Bestrafung als Erziehungsmittel andere unerwünschte Folgen haben kann, wie etwa Täuschungsversuche der Kinder oder aggressives Verhalten der bestraften Kinder gegenüber anderen Kindern. Wenn Bestrafung aber eingesetzt wird, dann sollten zumindest die oben besprochenen Rahmenbedingungen beachtet werden, damit die Wirkung der Bestrafung nicht wirkungslos verpufft oder sich sogar in ihr Gegenteil verkehrt.

3.6.4 Vermeidungslernen

Ein bestimmtes Verhalten kann nicht nur durch positive, sondern auch durch negative Verstärkung hervorgerufen werden.

In einem klassischen Experiment zum Vermeidungslernen (Solomon/Wynne 1953) befand sich ein Hund in einem Käfig, der aus zwei Kompartimenten bestand. Diese waren durch eine halbhohe Barriere voneinander getrennt. Der Hund wurde zunächst in eines der Kompartimente gesetzt, dessen Boden aus einem Eisenrost bestand. Dann ging zunächst das Licht aus, wenig später erhielt der Hund durch den Rost einen starken Elektroschock. Um dem Schock zu entkommen, lernte der Hund innerhalb weniger Durchgänge, über die Barriere in das andere Kompartiment zu springen, in dem keine Schocks appliziert wurden.

Im Unterschied zur positiven Verstärkung zeigt das Vermeidungsverhalten nach negativer Verstärkung sehr viel weniger Extinktion. Der Hund im obigen Experiment sprang noch bis zu 200-mal über die Barriere, wenn das Licht ausging, nachdem die Gabe von Schocks eingestellt wurde (Solomon et al. 1953). Das Problem ist, dass, anders als bei der positiven Verstärkung das Ausbleiben einer negativen Verstärkung nicht bemerkt wird. Der Sprung über die Barriere nimmt dem Hund die Möglichkeit festzustellen, dass das Löschen des Lichts nicht mehr von einem Schock gefolgt wird.

Die Schwierigkeit, Vermeidungsverhalten zu extingieren, behindert die Lösung vieler klinisch-psychologischer Probleme. Der Sozialphobiker, der sich in Gegenwart anderer Menschen unwohl fühlt, wird es vermeiden, gesellige Veranstaltungen zu besuchen, und dadurch möglicher positiver Erfahrungen in sozialen Situationen beraubt. Um Vermeidungsverhalten zu verhindern, muss man daher dafür sorgen, dass die betroffenen Personen sich den Situationen aussetzen, die sie zu vermeiden trachten. Eine andere Möglichkeit, die aber meist weniger praktische Anwendbarkeit hat, ist, die aversiven Konsequenzen auch dann herzustellen, wenn das Vermeidungsverhalten gezeigt wurde. Im Beispiel des Hundeexperiments stellte der Hund das Überspringen der Barriere ein, als auch im anderen Kompartiment Schocks gegeben wurden.

Aversive Reize, denen man nicht entgehen kann, können jedoch zu einer „fatalistischen“ Passivität führen. Diesbezügliche Befunde wurden unter der Bezeichnung *learned helplessness* bekannt. Hunde wurden bei diesen Experimenten zunächst Elektroschocks ausgesetzt. Eine Gruppe der Tiere konnte die Schocks durch Drücken eines Hebels vermeiden, während die andere Gruppe nichts tun konnte, um die Schocks zu vermeiden. Als die Hunde später die Gelegenheit bekamen, sich durch Überspringen einer Barriere in einen angrenzenden Raum zu flüchten und so den Schocks zu entgehen, so wurde diese Möglichkeit von den

negative
Verstärkung



gelernte
Hilflosigkeit

Hunden schnell gelernt, die zuvor gelernt hatten, die Schocks durch Hebeldruck zu vermeiden. Die anderen Hunde hingegen, die zuvor das Auftreten der Schocks nicht verhindern konnten, lernten auch jetzt nicht, den Schocks durch den Sprung über die Barriere zu entkommen. Es schien also, als ob die Hunde gelernt hatten, dass sie die Schocks nicht beeinflussen konnten und dies nun auch auf die neue Situation übertrugen und dadurch die neue Möglichkeit, die aversiven Schocks zu vermeiden, nicht nutzen konnten.

Diese Befunde sind damit spiegelbildlich zu den oben beschriebenen Schwierigkeiten, ein zuvor verstärktes Verhalten zu unterlassen, wenn das Verhalten plötzlich kontingent mit einem aversiven Reiz bestraft wird, dessen Präsenz man zuvor als unbeeinflussbar erlebt hat.

Fragen zu Kapitel 3.6



Überprüfen Sie Ihr Wissen!

191. Beruht klassische Konditionierung auf einer S-S- oder S-R-Assoziation? Diskutieren Sie die empirischen Befunde.
192. Was ist die Rolle der Kontingenz bei der Konditionierung? Diskutieren Sie die Befunde in Abbildung 3.6.1.
193. Versuchen Sie, mit der Rescorla-Wagner-Theorie das Phänomen des *blocking* zu erklären. Stellen Sie eine Modellrechnung unter Zuhilfenahme der Formel auf.
194. Was ist *overshadowing*? Versuchen Sie auch hier, mit Hilfe einer Modellrechnung die Rescorla-Wagner-Formel anzuwenden.
195. Denken Sie nach, ob Sie schon einmal durch Bestrafung gelernt haben.
196. Welche Aspekte sollten bei der Bestrafung beachtet werden, um eine optimale Verhaltensänderung zu erzielen?
197. Beschreiben Sie das Paradigma des Vermeidungslernens.
198. Welche Probleme sind mit Lernprozessen durch negative Verstärkung verbunden? Konsultieren sie, wenn nötig, Tabelle 3.5.1.
199. Ein Jugendlerner, der häufig in der Schule Misserfolge erlebt hat, schwänzt die Schule. Was können Sie unter lernpsychologischen Aspekten unternehmen, um sein Verhalten zu ändern?
200. Beschreiben Sie das Experiment zur „gelernten Hilflosigkeit“. Suchen Sie eine Situation im Alltag, in der dieselben Mechanismen wirksam sein könnten.

3.7 Lernen – Assoziation oder Kognition

3.7.1 Zielgerichtetes Lernen

Für die Begründer der Konditionierungsforschung war das Lernen, das sie im Tierversuch beobachteten, eine reine Assoziationsbildung zwischen Reizen oder zwischen Reiz und Reaktion, die keiner weiteren Erklärung durch mentale Prozesse bedurfte. Diese Sicht sollte alsbald eine besondere Pointierung erfahren.

Behaviorismus

John Broadus Watson veröffentlichte 1913 seine Schrift „Psychology as Behaviorists view it“ und prägte damit den Begriff für die psychologische Schule des Behaviorismus. Die Behavioristen gingen (und gehen) davon aus, dass psychologische Forschung allein auf beobachtbarem Verhalten gründen soll. Subjektive Berichte erscheinen ihnen unzuverlässig. Mehr noch, mentalistische (auf geistige Prozesse bezogene) Begriffe sollen nicht zur Erklärung von Verhalten herangezogen werden. Die Behavioristen versuchten, auch komplexe menschliche Verhaltensweisen als Kette von S-R-Verbindungen zu erklären, ohne dabei auf intervenierende mentale Prozesse zurückzugreifen, die nicht beobachtbar sind.

Heute besteht in der Allgemeinen Psychologie ein breiter Konsens darüber, dass Forschungsdaten objektiv messbar und möglichst quantifizierbar sein sollen. Dagegen regte sich schon früh Kritik an dem behavioristischen Postulat, keine mentalen Prozesse zur Erklärung menschlichen Verhaltens zuzulassen. Während diese Auseinandersetzung zeitweise recht ideologisch geführt wurde, so gab es schon früh experimentelle Befunde zu diesem Thema.

Einer der Ersten, der versuchte nachzuweisen, dass Verhalten nicht allein durch S-R-Verbindungen erklärt werden kann, war Edward C. Tolman. Er untersuchte, wie Laborratten lernten, sich in einem Labyrinth zurechtzufinden (Tolman/Honzik 1930; Abb. 3.7.1). Dabei teilte er die Ratten in drei Gruppen auf. Die Ratten der ersten Gruppe erhielten 17 Tage lang jeden Tag Futter, wenn sie das Ziel erreich-

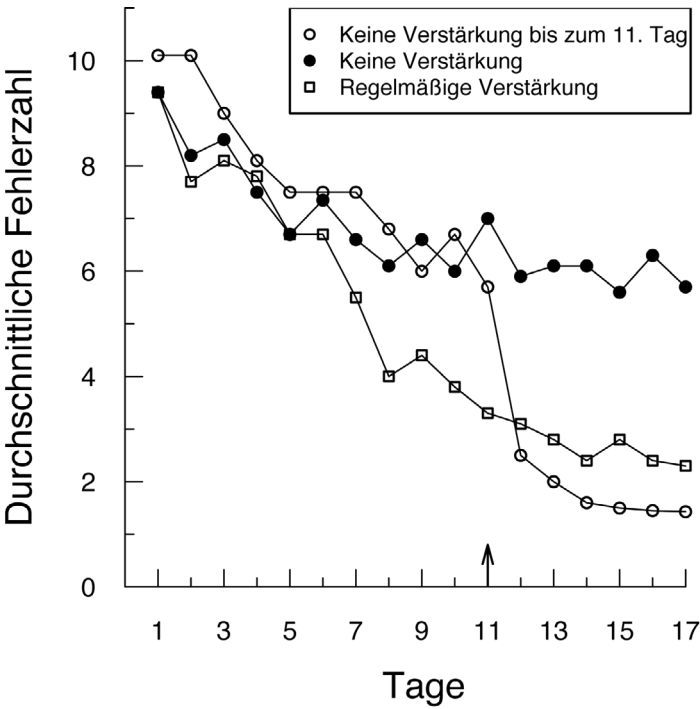


Abb. 3.7.1: Tolmans Experiment zum latenten Lernen. (nach Tolman/Honzik 1930, bearbeitet)

ten. Die Ratten einer zweiten Gruppe erhielten kein Futter. Im Vergleich zu dieser Kontrollgruppe lernten die mit Futter verstärkten Ratten, auf direkterem Wege den Zielarm des Labyrinths zu erreichen. Das Lernen der kontinuierlich verstärkten Ratten stand im Einklang mit einer reinen S-R-Erklärung des Verhaltens, wie sie schon Thorndike oder die Behavioristen formuliert hatten.

Entscheidend war das Verhalten der dritten Gruppe. Diese erhielt von Tag 1–10 kein Futter, wurde aber wie die anderen Ratten in das Labyrinth gesetzt und konnte es so erkunden. Bis zum 10. Tag entsprach das Verhalten dieser Gruppe dem der Kontrollgruppe, beide näherten sich nicht zielstrebig der Zielbox – es gab ja auch keinen Anreiz dazu. Von Tag 11 an erhielt die dritte Gruppe aber den Verstärker, genau wie die kontinuierlich verstärkte Gruppe. Tolman beobachtete, dass die Ratten der dritten Gruppe bereits ab Tag 12, also nach der ersten Verstärkung, genauso direkt die Verstärkerbox ansteuerten wie die ab Tag 1 verstärkte Gruppe. Diese Leistung ließ sich nur dadurch erklären, dass die ab Tag 11 verstärkten Ratten auch ohne Verstärker in den ersten 10 Tagen die Struktur des Labyrinths gelernt hatten und dieses Wissen, sobald sie damit einen Verstärker erreichen konnten, zielgerichtet einsetzten.

Tolman sprach von latentem Lernen, welches ohne Verstärker erfolgt war und durch den Verstärker erst sichtbar gemacht wurde. Nach den behavioristischen Vorstellungen dagegen wäre zu erwarten gewesen, dass das Lernen erst mit der Verstärkung beginnt und die ab Tag 11 verstärkten Ratten erst langsam das Niveau der ab Tag 1 verstärkten Ratten erreichten.

latentes Lernen

Tolman untersuchte in weiteren Experimenten, wie die Ratten lernten, sich in Labyrinth zu orientieren. Dazu setzte er sie in einem einfachen Labyrinth aus, das aus nur zwei sich kreuzenden Gängen bestand. Die Ratten wurden am Ende eines Ganges in das Labyrinth gesetzt und konnten dann an der Kreuzung nach links oder rechts abbiegen. In einem typischen Experiment wurde das Futter so ans Ende des zweiten Ganges platziert, dass die Ratte es, wenn sie nach rechts abbog, am Ende des Ganges fand. Hatte die Ratte gelernt, nach rechts abzubiegen, so wurde sie am anderen Ende des Startganges in das Labyrinth gesetzt, so dass sie nun nach links abbiegen musste, um das Futter zu erreichen. Ein solches erfolgreiches Vorgehen setzt aber voraus, dass die Ratte eine mentale Vorstellung von der räumlichen Beschaffenheit des Labyrinths hat (die Ratte konnte das Futter von der Kreuzung aus nicht sehen).



Tolman nannte diese Vorstellung eine kognitive Landkarte. Aus behavioristischer Sicht hingegen wird in diesem Experiment eine Assoziation zwischen dem Verhalten (nach rechts abbiegen) und dem Verstärker aufgebaut. Nach dieser Erklärung sollte die Ratte also, wenn sie am gegenüberliegenden Startplatz in das Labyrinth gesetzt wird, wiederum nach rechts abbiegen und müsste dann zunächst wieder neu lernen, dass nun das Linksabbiegen verstärkt wird. Tolmans Experimente bestätigten die Hypothese, dass Ratten über eine kognitive Landkarte verfügen. Die Ratten orientierten sich auch nach dem Wechsel des Startpunktes in Richtung auf das verstärkerbesetzte Ende des Labyrinths. Tolman folgerte aus seinen Experimenten, dass die Ratten nicht ein spezifisches Verhalten lernten. Sie erwarben Wissen, das ihnen, auch unter veränderten Bedingungen, zielgerichtetes Verhalten ermöglichte. Er nannte dies Mittel-Ziel-Bereitschaft (*means-ends-readiness*).

kognitive Landkarten

3.7.2 Kontingenzen und Kausalzuschreibung

Wahl zwischen Verstärkungsalternativen

Bisher sind wir stets davon ausgegangen, dass nur eine Reaktion verstärkt wurde. In der Realität sehen wir uns aber häufig Situationen ausgesetzt, in denen wir uns zwischen Handlungsalternativen entscheiden müssen, die beide angenehme Konsequenzen versprechen. Während die Handlungsauswahl natürlich durch die unterschiedlichsten kognitiven Bewertungen beeinflusst werden kann, so können uns Lernexperimente mit einfacheren Organismen Einblicke in grundlegende verstärkungsabhängige Auswahlprozesse geben.

Viele Konditionierungsexperimente, meist mit Ratten oder Tauben durchgeführt, haben gezeigt, dass sich das Verhalten gemäß der Verstärkerkontingenzen auf die Handlungsalternativen verteilt.

Matching law

Besteht in einem VI-Experiment die Wahl zwischen zwei (oder mehreren) Reaktionen, so entspricht deren Häufigkeit dem Verhältnis der beiden Verstärkungsraten:

$$\frac{B1}{B1 + B2} = \frac{R1}{R1 + R2}$$

(B: Verhalten; R: Verstärkungsrate)

Ein Beispiel: Eine Ratte sitzt in einem Käfig mit zwei Tasten. Das Drücken der linken Taste wird 4 mal in der Minute durch Gabe von Saft verstärkt, Drücken der rechten Taste nur 2-mal/min. Das Verhalten, das sich daraufhin einstellen wird, ist doppelt so häufiges Drücken der linken Taste.

optimale Verteilung

Meist sind diese Experimente mit Intervallverstärkungsplänen durchgeführt worden. Wenn ein Verhalten nur in bestimmten Abständen verstärkt wird, die Dauer des Intervalls aber variiert, so ist es rational, die Alternative häufiger zu wählen, die eine Verstärkung in kürzeren Abständen verspricht. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch, wenn eine Handlungsalternative eine Kontingenz mit einem attraktiveren Verstärker aufweist, bei gleichen Verstärkungsintervallen. Auch in diesem Fall findet man eine höhere Reaktionshäufigkeit für die attraktivere Alternative. Es fällt auf, dass das Verhalten der Ratten und Tauben in diesen Experimenten nach einiger Zeit des Lernens recht nah an das optimale Verhalten heranreicht, welches nach Berechnung der Verstärkungswahrscheinlichkeit die meiste Verstärkung verspricht.

probability matching

Bedeutet dies, dass Ratten und Tauben Wahrscheinlichkeitsrechnung betreiben, um ihr Verhalten zu optimieren? Wahrscheinlicher ist wohl, dass die Tiere ihr Verhalten von Moment zu Moment optimieren, indem sie jeweils die Reaktion häufiger wählen, die eine höhere Verstärkungsrate aufweist. Nach dieser Strategie des „momentanen Maximierens“, nähert man sich der optimalen Verteilung an, ohne

explizit Verstärkungskontingenzen berechnen zu müssen. Nicht nur Tiere verhalten sich in Wahlsituationen so, dass sie ihr Verhalten gemäß der Verstärkerkontingenzen auf Handlungsalternativen aufteilen.

Stellen Sie sich vor, Sie sitzen an einem Tisch und haben zwei Lämpchen vor sich, mit jeweils einer Taste bei jedem Lämpchen. Die Lämpchen leuchten in unregelmäßiger Reihenfolge auf. Ihre Aufgabe ist es, das Aufleuchten der Lämpchen vorherzusagen, indem Sie vorher die jeweilige Taste drücken. Überlegen Sie einmal, wie oft Sie im Durchschnitt einer größeren Zahl von Durchgängen die beiden Tasten drücken würden, wenn eine Taste in 70 % der Durchgänge, die andere Taste dementsprechend in 30 % der Durchgänge aufleuchtet.

In einem Experiment wurde genau diese Fragestellung untersucht (Friedman et al. 1964), allerdings mit Häufigkeitsverteilungen von 10–90 %. Es fand sich eine gute Übereinstimmung der Reaktionsverteilung auf die beiden Tasten mit der relativen Häufigkeit, mit der die Lampe aufleuchtete. Leuchtete die linke Lampe in 60 % der Durchgänge, so wurde die linke Taste in etwa 60 % der Durchgänge gedrückt, die rechte Taste in etwa 40 %.

Wenn Sie dies auch vermutet haben, dann denken Sie noch einmal darüber nach, ob dieses Verhalten optimal ist. Dazu können Sie die Erfolgswahrscheinlichkeit berechnen, mit der Sie das Aufleuchten der linken und der rechten Taste vorhersagen (eine genügend große Anzahl von Durchgängen vorausgesetzt). Diese beträgt $0,6$ (Anzahl der linken Tastendrucke) $\times 0,6$ (Wahrscheinlichkeit des Aufleuchtens der linken Taste) und entsprechend für die rechte Taste $0,4 \times 0,4$. Das ergibt $(0,6 \times 0,6) + (0,4 \times 0,4) = 0,36 + 0,16 = 0,52$. Vergleichen Sie dies einmal mit der Erfolgswahrscheinlichkeit, die Sie erhalten, wenn Sie immer die häufiger aufleuchtende Lampe (also die linke Taste) wählen: $1 \times 0,6 = 0,6$.

Die Verteilung der Reaktionen auf die beiden Tasten gemäß der relativen Häufigkeit des Aufleuchtens ist also irrational, man erzielt eine bessere Trefferrate, wenn man immer die häufiger aufleuchtende Lampe wählt. Menschliche Probanden verhalten sich damit nicht rational, sondern scheinen eher eine Strategie des momentanen Maximierens zu verfolgen.

Wenn wir die Wahl zwischen Handlungsalternativen haben, so neigen wir dazu, unsere Wahl damit zu begründen, dass wir von der getroffenen Wahl ein positiveres Ergebnis erwarten, als wenn wir uns anders entschieden hätten. Mit anderen Worten, wir haben eine Erwartung hinsichtlich der Kontingenzen unseres Verhaltens. Intuitiv würden die meisten von uns sich wohl gegen die Vorstellung wehren, dass das Erlernen dieser Kontingenzen nach den mechanischen Regeln der Assoziationsbildung abläuft, wie wir sie bei einer Ratte besprochen haben, die lernt, die linke Taste in ihrer Skinner-Box der rechten Taste vorzuziehen, weil erstere eine günstigere Verstärkungskontingenz aufweist. Umgekehrt hätten wir wohl Zweifel, ob die Laborratte in ihrem Käfig ähnliche Überlegungen über Ursache und Wirkung anstellt, wie wir es uns selbst zusprechen. Bei näherer Betrachtung weisen Konditionierungslernen und Kontingenzzlernen jedoch große Ähnlichkeiten auf. Bei der bewussten Auswahl genau wie beim instrumentellen Konditionieren hängt das Verhalten des Probanden oder Versuchstiers eng von den kontingenten Folgen des Verhaltens ab. Ist unser rationales Wahlverhalten damit, zumindest manchmal,



Kontingenzzlernen

Kausallernen

eine Illusion? Tun wir der Laborratte vielleicht unrecht, wenn wir ihr unterstellen, dass ihr Verhalten nicht von rationalen Ursache-Wirkungs-Analysen, sondern von simplen Kontingenzen zwischen Verhalten und Verstärkung abhängt?

Menschen können durch entsprechende Zusatzinformationen dazu gebracht werden, Kovariationen zwischen Variablen als Folge verschiedener kausaler Zusammenhänge zu sehen. Waldmann und Hagmayer (2005) präsentierten ihren Probanden Werte dreier hypothetischer Hormone – Pixin, Sonin und Xanthan –, die probabilistisch miteinander kovariierten. Je nach dem durch die Rahmengeschichte suggerierten Modell beeinflusste die Menge von Pixin die von Sonin und Xanthan (gemeinsame Ursache), oder es gab eine Kausalkette von Sonin über Pixin nach Xanthan (Abb. 3.7.2). In Abhängigkeit von dem Kausalmodell bewerteten die Probanden die Auswirkungen einer Injektion von Sonin anders. Die Probanden, die davon ausgingen, dass die Konzentration von Sonin normalerweise von der Pixin-Konzentration abhing, erwarteten nicht, dass eine Sonin-Injektion die Xanthan-Konzentration erhöht. Die Injektion hatte damit die Pixin-Konzentration als Ursache für die Sonin-Erhöhung ersetzt. Diejenigen Probanden jedoch, die davon ausgingen, dass die Xanthan-Konzentration von der Pixin-Konzentration und diese wiederum von der Sonin-Konzentration abhängt, erwarteten folgerichtig, dass eine Sonin-Injektion zur Erhöhung der Xanthan-Konzentration führt.

Kommen wir zurück zu der Frage, ob auch Tiere Kausalbeziehungen herstellen. Hierbei lernten Ratten zunächst, dass auf einen Lichtreiz kontingent entweder ein Ton oder Futtergabe folgte (Blaisdell et al. 2006). Wenn in der anschließenden

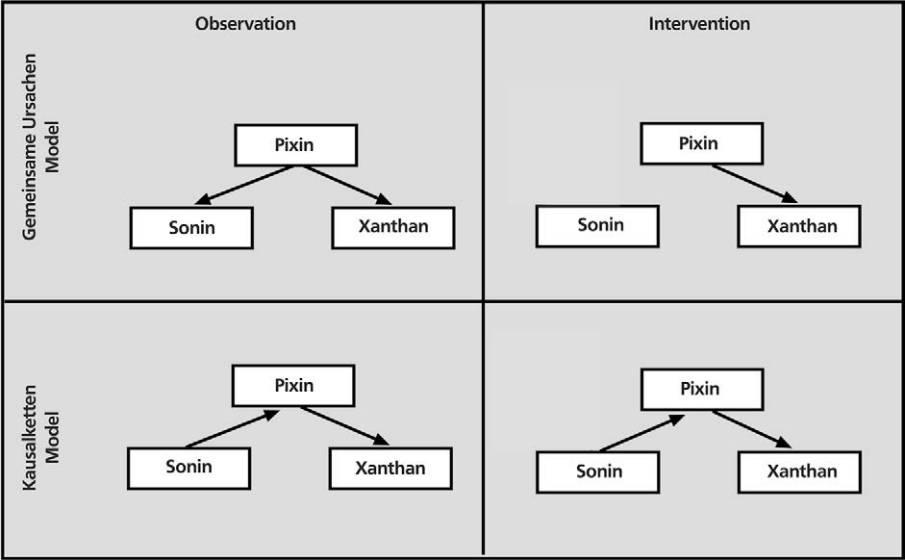


Abb. 3.7.2: Kausalmodelle zur Erklärung der Kovariation hypothetischer Hormone. In der Beobachtungsphase entwickelten die Probanden eines von zwei Kausalmodellen. In der Interventionsphase sollten sie die Auswirkung einer Sonin-Injektion auf die Konzentration von Pixin und Xanthan bewerten (nach Waldmann et al. 2006, bearbeitet).

Testphase der Ton erklang, verhielten sich die Ratten, als ob sie Futtergabe erwarteten. In einer weiteren Testphase erhielten die Ratten einen Hebel, der sich zuvor nicht in der Kammer befand. Wenn sie diesen Hebel drückten, erklang derselbe Ton wie zuvor. Die Ratten zeigten aber nicht das Futteraufsuchende Verhalten, das sie zuvor gezeigt hatten, als der Ton ohne ihr Zutun erklang. Sie verhielten sich damit so, als ob sie wüssten, dass sie selbst Verursacher des Tones waren und nicht das Licht, das die Futtergabe signalisierte.

Wir haben also einerseits gesehen, dass wir Menschen uns nicht immer rational verhalten – suboptimales Verhalten beim *probability matching* – und dass sich andererseits Tiere rationaler verhalten können, als wir es ihnen vielleicht zugetraut hätten. Diese beiden Aspekte sollte man immer im Auge behalten, wenn wir scheinbar einfache Lernprozesse betrachten.

Fragen zu Kapitel 3.7



Überprüfen Sie Ihr Wissen!

- 201.** Was spricht dafür, dass Tiere sich in Konditionierungssituationen zielgerichtet verhalten? Beschreiben Sie empirische Evidenz.
- 202.** Haben Ratten kognitive Landkarten?
- 203.** Beschreiben Sie das *matching law*.
- 204.** Gilt das *matching law* auch für Ratenverstärkungspläne? Rechnen Sie ein Beispiel durch, bei dem Drücken der linken Taste jedes 5. Mal, Drücken der rechten Taste jedes 10. Mal verstärkt wird. Wie sieht die optimale Reaktionsverteilung aus?
- 205.** Was ist *probability matching*? Beschreiben Sie den experimentellen Aufbau.
- 206.** Was sagt *probability matching* über Mechanismen des Lernens?
- 207.** Beschreiben Sie empirische Evidenz für Kausallernen bei der Ratte.
- 208.** Welche Berührungspunkte gibt es zwischen Kontingenzlernen und rationaler Wahl?
- 209.** Versuchen Sie ein Beispiel zu entwickeln, in dem scheinbar rationale Handlungsauswahl auf Kontingenzlernen zurückgeführt werden kann.
- 210.** Versuchen Sie ein Beispiel zu entwickeln, in dem scheinbar kontingenzgesteuertes Lernen auf rationales Verhalten zurückgeführt werden kann.

4 Emotion und Motivation