

# Unbewußtes Lernen — eine besondere Lernform?

Joachim Hoffmann<sup>1</sup>

*Implizites oder unbewußtes Lernen soll sich nach vorliegenden Berichten dadurch auszeichnen, daß es beiläufig geschieht, daß es aufmerksamkeitsunabhängig ist und daß seine Resultate nicht bewußt werden. Nach Meinung einiger Autoren handelt es sich um eine Urform des Lernens, die vielfachen unbewußten Abhängigkeiten menschlichen Verhaltens von verborgenen Reizstrukturen zugrunde liegt. Eine kritische Durchsicht der Befunde zeigt, daß keines der besonderen Merkmale unbewußten Lernens überzeugend belegt ist. Es liegen auch keine differenzierten Überlegungen zu den Mechanismen unbewußten Lernens vor. Es wird die Vermutung begründet, daß den untersuchten Lernvorgängen möglicherweise ein elementares Bedürfnis nach zuverlässiger Antizipation von Verhaltenskonsequenzen zugrunde liegt. Simulationen, die eine solche Spekulation unterstützen, werden diskutiert und noch zu lösende Probleme aufgezeigt.*

## Einleitung

In der kognitionspsychologischen Literatur werden gegenwärtig zwei Konzepte diskutiert, die auf unbewußte Erkenntnisprozesse verweisen: Das Konzept des impliziten Gedächtnis und das des impliziten Lernens. Unter „implizitem Gedächtnis“ werden im wesentlichen Beobachtungen zusammengefaßt, die zeigen, daß erlebte Ereignisse nachfolgendes Verhalten unter gleichen oder ähnlichen Bedingungen beeinflussen, ohne daß sich die Pbn an diese Ereignisse erinnern können (vgl. für Überblicke Schacter, 1987; Perrig, 1990). Implizites Lernen stellt in gewisser Weise eine Erweiterung dieser Phänomene dar: Pbn passen ihr Verhalten an strukturelle Eigenschaften der Reizumgebung an, ohne daß sie dazu aufgefordert sind und ohne sich dessen bewußt zu werden. In Analogie zum impliziten Gedächtnis kann man sagen, daß das wiederholte Erleben von

Ereignissen einer bestimmten Struktur eben diese Struktur zur Wirkung bringt, ohne daß die Pbn sie erinnern können (vgl. Logan, 1990; Hoffmann, 1991). Einige Autoren messen den Phänomenen des impliziten oder unbewußten Lernens eine grundsätzliche Bedeutung für das Verständnis menschlicher Kognition zu. So schreibt etwa Reber (1989a, S. 233) in einem Überblicksartikel: „... implicit learning represents a general, modality-free Urprocess, a fundamental operation whereby critical covariations in the stimulus environment are picked up.“ Und Lewicki (1986b, S. 135) formuliert: „The possibility that consistencies or covariations in a stream of stimuli may be processed without complete awareness or control deserves research attention because that process might be one of the major mechanisms of acquisition of tacit knowledge and semantic information in general“. Während in der Tradition der behavioristischen Lerntheorien das bewußt-einsichtige Lernen den „besonderen“ Fall darstellte, erheben diese Äußerungen nun umgekehrt die nichtbewußten Lernvorgänge zum Besonderen.

Im folgenden soll untersucht werden, inwieweit es angesichts der experimentellen Befunde berechtigt erscheint, eine besondere Form unbewußten Lernens zu vermuten. Es werden zunächst einige einschlägige Beobachtungen geschildert, um anschließend zu fragen, wie unbewußt und beiläufig die untersuchten Lernvorgänge tatsächlich sind und was eigentlich gelernt wird. Die grundsätzlichere Frage, welche Bekräftigungsmechanismen das Lernen in Gang halten, wird abschließend behandelt.

---

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Joachim Hoffmann, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Pädagogik, Institut für Sportwissenschaft und Sport, Werner-Heisenberg-Weg 39, D-8014 Neubiberg.

<sup>1</sup> Die Arbeit wurde während eines Gastaufenthaltes des Autors am Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung verfaßt. Ich danke der Max-Planck-Gesellschaft für die Unterstützung der Arbeit, sowie W. Prinz, F. E. Weinert und zwei Gutachtern für Hinweise zur Überarbeitung einer früheren Fassung des Manuskripts.

## Einige ausgewählte experimentelle Phänomene

Reber und seine Mitarbeiter verwendeten in verschiedenen Experimenten Sequenzen von Buchstaben, deren Abfolge durch eine "finite state" Grammatik bestimmt wurde (vgl. Reber, 1989a für einen Überblick). Die Pbn wurden zunächst mit den Sequenzen vertraut gemacht: Sie sollten sie bspw. memorieren, sich Assoziationen zu ihnen einprägen oder sie einfach nur aufmerksam betrachten (Reber, 1967, 1976; Reber & Allen 1978; Miller, 1958). Erst in einer zweiten Phase des Experimentes wurde ihnen mitgeteilt, daß die Sequenzen nach grammatischen Regeln gebildet waren und sie wurden aufgefordert, für zuvor nicht dargebotene Sequenzen zu entscheiden, ob sie der Grammatik genügen. Dies gelang mit erstaunlicher Sicherheit, obwohl der vorherige Umgang mit den Sequenzen ein Erfassen ihrer Grammatikalität nicht erfordert hatte. Die Kriterien, nach denen grammatische von agrammatischen Sequenzen unterschieden werden, können jedoch, wenn überhaupt, nur sehr vage angegeben werden. Die Pbn entscheiden sich, wie sie sagen, intuitiv.

Ähnliche Phänomene werden von Lewicki und Mitarbeitern berichtet (Lewicki, 1986a; Lewicki, Czyżewska & Hoffmann, 1987; Lewicki & Hill, 1989; Lewicki, Hill & Bizot, 1988): Den Pbn wurden zu entdeckende Targetbuchstaben in jeweils einem von vier Quadranten dargeboten. Es war ihre Aufgabe, eine dem Darbietungsquadranten entsprechende Reaktionstaste zu drücken. In Folgen von fünf oder sieben Darbietungen wurden an einigen Stellen die Targetlokationen in Abhängigkeit von den vorausgegangenen Lokationen nach komplexen Regeln bestimmt. Nach mehreren hundert Darbietungen zeigen die Pbn eine selektive Leistungsverbesserung bei denjenigen Targets, die regelhaft lokalisiert waren, und nur für diese Targets wird eine Leistungsver schlechterung beobachtet, wenn die Regeln plötzlich geändert werden. Trotzdem können die Pbn keine Angaben zu den Regeln machen. Sie berichten zwar, daß ihnen die Aufgabe zunehmend leichter fiel, und sie kommentieren einen Wechsel der Regeln etwa mit dem Hinweis, das Gefühl gehabt zu haben, plötzlich den „Rhythmus“ zu verlieren; daß aber einige Targets regelhaft lokalisiert waren, wollen sie nicht glauben. Vergleichbare Beobachtungen wurden von der Suche nach Buchstaben in strukturierten Listen berichtet (Prinz, 1990; Prinz & Nattkemper, 1987).

In anderen Versuchen hatten die Pbn komplexe Reize zu kategorisieren. So waren bspw. Gesichter nach der Freundlichkeit, simulierte Computerdar-

stellungen von Gehirnaktivitäten (brain scans) nach der Intelligenz der jeweiligen Person, oder Worte einer vermeintlichen Fremdsprache nach ihrer Bedeutung zu unterscheiden (Lewicki, 1986a, b; Lewicki, Hill & Sasaki, 1989). Zunächst wurden korrekte Klassifikationen anhand einiger Beispiele demonstriert. In der Menge der Beispiele kovariierten die Klassifikationen mit einem jeweils unauffälligen Merkmal: Die Freundlichkeit der Personen mit der Haarlänge, die Intelligenz mit der Häufigkeit eines Musters im "brain scan" und die Bedeutung des „Fremdwortes“ mit seiner Lage auf dem Bildschirm. Die Ergebnisse zeigen, daß die kovariierenden Merkmale nachfolgende Klassifikationen beeinflussen, ohne daß sich die Pbn dessen bewußt sind. Sie berichten, daß sie ein intuitives Gefühl etwa für die Intelligenz eines "brain scan" haben, ohne jedoch angeben zu können, worauf ihre Intuition beruht.

Lüer, Ruhlender, Klettke und Lass (1989) berichten über unbewußte Lernprozesse bei der Lösung von Anagrammen. In einer Lernphase waren die meisten Anagramme nach folgender Regel konstruiert: Anagramme mit einem A am Anfang waren nach Schema X, solche mit einem O am Anfang, nach Schema Y gebildet. Die Lösung der meisten Anagramme war also durch ihren ersten Buchstaben eindeutig bestimmt. In einer anschließenden Testphase wurden jeweils 6 Anagramme mit den Anfangsbuchstaben O und A dargeboten, von denen jeweils 3 nach Schema X bzw. Schema Y gebildet waren. Es wurden jeweils die Anagramme relativ schneller gelöst, die den in der Lernphase realisierten Zusammenhängen entsprachen. Weiterhin zeigten Analysen der Augenbewegungen, daß für A- und O-Anagramme unterschiedliche Lösungsstrategien adaptiert wurden. Der an einigen Beispielen erlebte Zusammenhang zwischen dem Anfangsbuchstaben und der Lösung führte also zu einer Adaptation des Lösungsverhaltens und dies, obwohl die Pbn versicherten, keinerlei Unterschiede zwischen A- und O-Anagrammen bemerkt zu haben.

Nissen und Bullemer (1987) boten ihren Pbn eine feste Sequenz von 10 Reizen fortlaufend dar, auf die sie in vereinbarter Weise jeweils so schnell wie möglich reagieren sollten (sequentielle Wahlreaktion). Nach 40 Wiederholungen wurde die Darbietungsfolge plötzlich zufällig bestimmt. Eine Gruppe gesunder Pbn und eine Gruppe amnestischer Patienten (Korsakoff-Syndrom) wurden untersucht. Beide Gruppen zeigen eine Verkürzung der Reaktionszeiten, sowie eine gleiche Art der „Rhythmisierung“ ihrer Reaktionen mit zunehmendem Training. Beide Effekte gehen in beiden Gruppen verloren, wenn die Reize plötzlich in zufälliger Folge geboten werden.

Nach Befragung berichten die Mehrzahl der gesunden Pbn, aber keiner der Patienten, die Wiederholung der Sequenz bemerkt zu haben. Die Patienten haben also ihre Reaktionen an eine von ihnen nicht bemerkte Sequenz angepaßt (vgl. auch Nissen, Willingham & Hartman, 1989; Knopman & Nissen, 1987). In weiteren Untersuchungen wurde gezeigt, daß auch gesunde Pbn ihre Reaktionen an sich wiederholende Reizfolgen anpassen, ohne sie zu bemerken (Willingham, Nissen & Bullemer, 1989; Cohen, Ivry & Keele, 1990).

Dissoziationen zwischen der Anpassung des Verhaltens an Strukturen der Lernumgebung und der Fähigkeit, diese Strukturen zu beschreiben, werden auch unter den Anforderungen komplexen Problemlösens berichtet. Die Pbn haben hier ein in der Regel komplexes System, das auf einem Computer simuliert ist, so zu steuern, daß ein gewünschter Systemzustand erreicht und eingehalten wird. Auch wenn die unterschiedlichsten Szenarien realisiert wurden (vgl. etwa Berry & Broadbent, 1984, 1988; Hayes & Broadbent, 1988; Dörner, Stäudel & Strohschneider, 1986; Putz-Osterloh, 1987; Strohschneider, 1990; Dörner, Kreuzig, Reither & Stäudel, 1983), es galt doch stets, daß die Auswirkungen der Aktionen auf den Zustand des zu steuernden Systems durch komplexe, nicht leicht erkennbare Zusammenhänge bestimmt waren. Trotzdem gelingt es in der Regel einigen Pbn so zu agieren, daß der gewünschte Systemzustand angenähert wird. Befragt man die Erfolgreichen jedoch nach Gründen für einzelne Aktionen, nach erwarteten Wirkungen oder nach Zusammenhängen zwischen Systemvariablen, dann werden oft unzutreffende Antworten gegeben. Sie berücksichtigen in ihrem Verhalten also Zusammenhänge, die sie nicht erkannt haben, bzw. nicht beschreiben können (z. B. Broadbent, Fitzgerald & Broadbent, 1986; Kluwe, Misiak, Ringelband & Haider, 1986; Reichert & Dörner, 1988; Kempton, 1986; Sanderson, 1989; Strohschneider, 1990; Haider-Hasebrink, 1991).

Die Anforderungen, unter denen unbewußtes Lernen beobachtet wird, sind, wie die Beispiele zeigen, außerordentlich vielfältig. Gemeinsames kann man vielleicht darin sehen, daß die Konsequenzen des von den Pbn geforderten Verhaltens in jeweils systematischer Weise von bestimmten Bedingungen abhängen: Die Klassifizierungsakte etwa, führen nur dann zum Erfolg, wenn sie an bestimmte Merkmale gebunden sind; bei sequentiellen Wahlreaktionen sind die den Reaktionen nachfolgenden, von den jeweils vorausgegangenen Reizen abhängig; und im komplexen Problemlösen hängen die Effekte der Aktionen von den Zuständen ab, auf die sie angewendet werden. Die Abhängigkeit der Verhaltenskonsequenzen von gegebenen Bedingungen ist ein

allgemeingültiger Tatbestand. In aller Regel haben wir mit unserem Verhalten nur dann Erfolg, wenn wir die Bedingungen, auf die wir es anwenden, berücksichtigen. Die berichteten Phänomene unbewußten Lernens lassen aus dieser Sicht einen Mechanismus vermuten, der dafür sorgt, daß in der Verhaltenssteuerung die Bedingungsabhängigkeit der Verhaltenseffekte möglicherweise zwangsläufig berücksichtigt wird.

## Inzidentelles und intentionales Lernen

Unbewußtes Lernen geschieht in dem Sinne beiläufig, daß die Pbn Zusammenhänge zu berücksichtigen lernen, ohne dazu aufgefordert zu sein. Es ist damit naheliegend, bei der Suche nach charakteristischen Merkmalen unbewußter Lernprozesse, sie mit explizit instruiertem Lernen zu vergleichen:

Reber (1976) informierte bspw. einige Pbn darüber, daß die zu memorierenden Buchstabensequenzen durch eine Grammatik erzeugt sind und daß es auch gilt, ihre Grammatikalität zu identifizieren. Die so instruierten Pbn unterschieden anschließend zwischen grammatischen und agrammatischen Sequenzen weniger erfolgreich, als Pbn, die lediglich instruiert waren, die Sequenzen zu memorieren. Die Aufforderung, nach Merkmalen der Grammatikalität zu suchen, führte also zu schlechteren Ergebnissen, als das alleinige Memorieren (vgl. auch Brooks, 1978; Howard & Ballas, 1980; Weinert, 1990). Mathews, Buss, Stanley, Blanchard-Fields, Cho und Druhan (1989) fanden dagegen keine Unterschiede zwischen explizit und implizit instruierten Pbn und Reber, Kassin, Lewis und Cantor (1980) zeigten, daß eine Suche nach grammatischen Merkmalen sogar zu besseren Leistungen führt, wenn diese Merkmale auffällig sind. Vor diesem Hintergrund kommt Reber (1989a) zu der Schlußfolgerung, daß der Effekt einer expliziten Instruktion vor allem in einer Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf mögliche grammatikrelevante Merkmale besteht. Sind die zu entdeckenden Merkmale auffällig, dann werden sie bei expliziter Instruktion auch schneller entdeckt, sind sie dagegen unauffällig, so daß sie kaum spontane Beachtung erfahren, führen inzidentelle Lernprozesse zu besseren Leistungen.

In Übereinstimmung mit dieser Überlegung zeigten in den Studien von Lewicki et al. (1989) explizit nach einem visuellen Unterscheidungsmerkmal suchende Pbn bei der Klassifikation der "brain scans" schlechtere Leistungen, als die nach der „Intelligenz“ klassifizierenden Pbn, während sie bei den „Fremdwörtern“ relativ schnell darauf kamen, sie nach

ihrer Lage zu klassifizieren, was keiner der nach der „Bedeutung“ klassifizierenden Pbn erkannte. Dort, wo das relevante Merkmal relativ auffällig ist (die Lage des Wortes), ist eine explizite Suche von Vorteil, während beim versteckten Merkmal (die Häufigkeit eines Musters im brain scan) inzidentelle Lernprozesse überlegen sind.

Der wesentliche Unterschied zwischen inzidentellen und zielgerichteten Lernprozessen besteht nach diesen Überlegungen in der Gerichtetheit der Aufmerksamkeit. Hayes und Broadbent (1988) haben dementsprechend auch vorgeschlagen, zwischen einem (bewußt) selektiven und einem (unbewußt) unselektiven Modus des Lernens zu unterscheiden: "A system which learns selectively observes a manageable number of variables from its environment and keeps count only of the contingencies between those variables. A system which learns unselectively, on the other hand, stores all the contingencies between all the variables at play" (S. 250).

## Unbewußtes Lernen und Aufmerksamkeit

Inzidentelles, beiläufiges und dann möglicherweise unbewußt bleibendes Lernen ist nach diesen Überlegungen durch Aufmerksamkeitsunabhängigkeit gekennzeichnet. Die Allgemeingültigkeit dieser Aussage muß bezweifelt werden:

Nissen und Bullemer (1987) haben von einigen ihrer Pbn verlangt, neben einer möglichst schnellen Beantwortung sequentieller Reize auch noch gelegentlich dargebotene Töne zu zählen. Mit dieser Zweitaufgabe sollte die Aufmerksamkeit der Pbn von den Reizen abgelenkt werden (Kahneman, 1973; Norman & Bobrow, 1975). Ohne Zweitaufgabe passen sich die Reaktionszeiten an die Struktur einer sich wiederholenden Reizfolge, wie bereits geschildert, nicht-bewußt an, mit ihr läßt sich unbewußtes Lernen nicht mehr beobachten (vgl. auch Hartman, Knopman & Nissen, 1989). Cohen et al. (1990) haben dieses Ergebnis qualifiziert. Sie variierten die Eindeutigkeit der unmittelbaren Reizübergänge in sich wiederholenden Reizfolgen. Bezeichnen wir die Reize mit Ziffern, dann beschreibt eine Ziffernfolge wie 142312-142312-1423 . . . eine Sequenz, die sowohl eindeutige (42 und 31) als auch mehrdeutige Reizübergänge (14/12 und 23/21) besitzt. Die Autoren können zeigen, daß sich bei Sequenzen mit eindeutigen Reizübergängen Phänomene des unbewußten Lernens auch bei geteilter Aufmerksamkeit zeigen. Sequenzen mit nur mehrdeutigen Übergängen gewinnen dagegen keinerlei spezifischen Einfluß auf die Reaktionszeiten, wenn die Aufmerksamkeit der

Pbn von ihnen abgelenkt ist. Die Ablenkung der Aufmerksamkeit hat also Einfluß auf die Lernvorgänge und der Grad dieses Einflusses hängt von der Art der strukturellen Zusammenhänge ab, deren nicht-bewußte Wirkung man untersucht.

In diesem Zusammenhang sind auch Beobachtungen von Mathews et al. (1989) von Interesse: Den Pbn wurden Sequenzen dargeboten, bei denen Reize an einer Stelle, Reizen einer anderen Stelle der Sequenz fest zugeordnet waren, ansonsten aber jeder Reiz an jeder Stelle auftreten konnte (biokonditionale Grammatik). Es bestanden also systematische Kovariationen nur zwischen Reizen nicht benachbarter Positionen. Die Resultate zeigen, daß solche Kovariationen keinerlei Einfluß auf das Verhalten gewinnen, auch wenn sie in ständiger Wiederholung erlebt werden. Vermutlich muß erst die Aufmerksamkeit auf die relevanten Positionen gelenkt werden, damit die Kovariation der dort dargebotenen Reize wirksam werden kann. Eine solche Vermutung wird durch Beobachtungen von Weinert (1990) unterstützt. In einem ihrer Experimente memorierten die Pbn Beispielsätze einer künstlichen Miniatursprache, deren Struktur durch eine Phrasengrammatik bestimmt war. Die Beispielsätze wurden den Pbn vorgesprochen. Variiert wurden die rhythmisch-prosodischen Strukturen der vorgesprochenen Sätze. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, verbesserte sich das nicht-bewußte Erfassen der Grammatikalität allein bei den Pbn deutlich, bei denen die rhythmisch-prosodische Struktur des Vortrags der Phrasenstruktur entsprach, also dann, wenn durch die Betonung die Aufmerksamkeit auf diejenigen Teile der Sequenz gerichtet wurde, zwischen denen die systematischen Beziehungen auch bestehen (vgl. Servan-Schreiber & Anderson, 1990; Jones, Boltz & Kidd, 1982).

Die Beobachtungen, daß bikonditionale Grammatiken, Phrasengrammatiken oder mehrdeutige Reizübergänge trotz wiederholten Erlebens nicht oder nur dann verhaltenswirksam werden, wenn die Aufmerksamkeit auf die gelenkt wird, führen zu dem Eindruck, daß strukturelle Zusammenhänge in der Lernumgebung beachtet werden müssen, damit sie Einfluß auf das Verhalten gewinnen, daß sie also keineswegs aufmerksamkeitsunabhängig wirksam werden. Daß eindeutige Reizübergänge auch bei geteilter Aufmerksamkeit verhaltenswirksam werden, muß dieser Überlegung nicht widersprechen. Es kann hier argumentiert werden, daß eine konsistente Wiederholung zweier Reize in immer gleicher Folge möglicherweise von sich aus auffällig ist und damit Aufmerksamkeit auf sich zieht. Obwohl die Aufklärung dieser Zusammenhänge weiterer Untersuchungen bedarf, der Auffassung, daß sich

das Verhalten zwangsläufig und aufmerksamkeits-unabhängig strukturellen Eigenschaften der Lernumgebung anpaßt, kann schon jetzt nicht zugestimmt werden, solange nicht die Struktureigenschaften spezifiziert sind, für die dies gelten soll.

## Wie unbewußt wird was erlernt?

Die unterschiedliche Verhaltenseffektivität verschiedener struktureller Zusammenhänge erlaubt den Verdacht, daß von den experimentell eingesetzten Strukturen bspw. einer "finite state" Grammatik möglicherweise nur ein kleiner Teil (etwa nur eindeutige Reizübergänge) tatsächlich wirksam werden. Wenn dies so sein sollte, dann ist zu fragen, ob denn auch für diese Teilstrukturen die Aussage zutrifft, daß sie den Pbn nicht bewußt werden. Das Vorliegen unbewußten Lernens wird gewöhnlich aus der Beobachtung abgeleitet, daß die Pbn die Strukturen, deren Wirksamkeit gezeigt ist, nicht benennen oder beschreiben können. Nun ist, wie wir wissen, das Verhältnis zwischen Verbalisierbarkeit und Bewußtheit keineswegs so eindeutig, wie es diese Argumentation voraussetzt (vgl. Ericsson & Simon, 1980; Brody, 1989; Mandler, 1985; Holender, 1986; Merikle & Cheesman, 1986). Je nachdem also, wie „Bewußtheit“ operationalisiert, und für welche (Teil)Strukturen die Frage nach ihrer nicht-bewußten Wirksamkeit gestellt wird, sind unterschiedliche Antworten zu erwarten. Wir wollen die Diskussion zu diesen Fragen nach den experimentellen Paradigmen gliedern, in denen sie aufgeworfen wurden.

### *Grammatisch strukturierte Reizsequenzen*

In den Experimenten zum nicht-bewußten Erfassen grammatischer Eigenschaften zu memorierender Reizsequenzen wurden die Pbn nicht einfach nur pauschal gefragt, ob sie eine „Grammatik“ erkannt hätten; sie wurden vielmehr sehr spezifisch nach allen möglichen Eigenschaften befragt, die ihnen an den Sequenzen aufgefallen sind (z. B. Reber, 1967). In anderen Experimenten wurden die Pbn aufgefordert, ihre Entscheidungen über die Grammatikalität von Sequenzen zu begründen (Reber & Allen, 1978). Dulany, Carlson und Dewey (1984) baten ihre Pbn, jeweils diejenigen Teile einer Sequenz zu unterstreichen, die sie ihnen grammatisch erscheinen ließ und diejenigen Teile durchzustreichen, die als Verletzung der Grammatikalität empfunden wurden. Perruchet und Pacteau (1990) verwendeten Wiedererkennungslösungen, um den Grad der bewußten Erinnerung an grammatikspezifische Buchstaben-

paare abzuschätzen. In anderen Untersuchungen wurden Pbn gebeten, andere Pbn nach den eigenen Erfahrungen zu belehren, grammatische von agrammatischen Sequenzen zu unterscheiden (Mathews et al., 1989). Ohne hier auf die Befunde im einzelnen eingehen zu können, läßt sich zusammenfassend feststellen, daß die Pbn zwar nicht in der Lage sind, die jeweilige Grammatik im Ganzen zu beschreiben (wer könnte dies schon?), daß sie aber durchaus einzelne Merkmale angeben, nach denen sie grammatische von ungrammatischen Sequenzen unterscheiden. Sie orientieren sich dabei vor allem an den Anfangs- und Endbuchstaben der Sequenzen, an Buchstabenwiederholungen oder an häufig vorkommenden Buchstabenpaaren bzw. Dreiersequenzen. Die verwendeten Kriterien charakterisieren die Grammatik immer nur unvollständig, und sie erlauben jeweils nur für eine begrenzte Anzahl von Beispielen richtige Entscheidungen. Dulany et al. (1984) sprechen von individuell korrelierten Grammatiken (correlated grammars) und Servan-Schreiber und Anderson (1990) betonen die Bedeutung von Teilsequenzen (chunks) für die Identifikation von Grammatikalität. Wenn also auch die Grammatik im Ganzen nicht bewußt reflektiert wird, so sind doch einzelne Entscheidungskriterien nachweisbar, die von den Pbn durchaus bewußt verwendet werden, um grammatische von agrammatischen Sequenzen zu unterscheiden (vgl. auch Haider-Hasebrink, 1991).

In diesem Zusammenhang wird gelegentlich argumentiert, daß neben konkreten Merkmalen auch abstrakte Kriterien für „Grammatikalität“ gelernt werden und daß wenigstens für deren Erwerb unbewußte Lernprozesse angenommen werden müssen (Reber & Allen, 1978; Reber, 1989a, b, 1990; Mathews, 1990). Eine Grammatik beschreibt in der Tat eine Struktur, die von konkreten Elementen abstrahiert. Entsprechende Transferexperimente zeigen auch, daß Pbn Buchstabensequenzen besser memorieren, wenn sie zuvor Erfahrungen mit Sequenzen anderer Buchstaben aber gleicher Grammatik machen konnten, als wenn sich ihre Erfahrungen auf Sequenzen mit gleichen Buchstaben aber anderer Grammatik beziehen (Reber, 1969; Mathews et al., 1989). Man muß bei der Bewertung dieser Resultate allerdings bedenken, daß der positive „Grammatiktransfer“ durchaus auch auf einer Verallgemeinerung konkreter Kriterien beruhen kann: Eine konkrete Erfahrung bspw. wie: „In grammatischen Sequenzen kommen die Teilsequenzen VXV, VXXV oder VXXXV vor“, enthält die Verallgemeinerung, daß sich zwischen zwei identischen Buchstaben ein anderer Buchstabe wiederholen kann. Die Suche nach „vergleichbaren“ Zusammenhängen in neuen Buch-

stabensequenzen würde die Aufmerksamkeit auf grammatikrelevante Eigenschaften lenken und damit deren Identifikation beschleunigen können. Der positive „Grammatiktransfer“ verweist also nicht zwingend auf unbewusstes abstraktes Grammatikwissen (vgl. auch Brooks, 1978, 1987; vor allem Brooks & Vokey, 1991).

### *Sequentielle Wahlreaktionen*

Auch in den sequentiellen Wahlreaktionsexperimenten wurden die Pbn ausgiebig nach ihnen auffällig gewordenen Eigenschaften der Reizsequenzen befragt. Die Ergebnisse dieser Befragungen hängen von der Komplexität der verwendeten Strukturen ab:

Bei kompliziert strukturierten Sequenzen werden nur von wenigen Pbn Antworten berichtet, die auf ein bewußtes Erfassen von Struktureigenschaften hinweisen. Bei Lewicki et al. (1988) bemerkten 3 von 9 Pbn, daß das Target niemals hintereinander im selben Quadranten angeboten wird. Bei Stadler (1989) gaben 2 von 4 Pbn an, anfänglich versucht zu haben, Regeln zu finden und bei Cleeremans und McClelland (1991, Experiment 1) bemerkten alle 6 Pbn alternierende Reizsequenzen (die Grammatik erzeugte die Teilsequenzen TVTV . . . und SQSQ . . .). Fordert man die Pbn auf, den jeweils nächsten Reiz der Folge vorherzusagen, ergeben sich bei Stadler (1989) keine Hinweise auf Strukturwissen, das für die Vorhersage genutzt wird. Dagegen können Perruchet et al. (1990) zeigen, daß auffällige Lokationswechsel zwischen aufeinanderfolgenden Targets (horizontale Wechsel zwischen den Quadranten oder Rücksprünge zu vorherigen Quadranten) überzufällig korrekt vorhergesagt werden und Cleeremans und McClelland (1991, Experiment 2) berichten, daß grammatisch determinierte Reize signifikant besser vorhergesagt werden, als zufällige Reize. Insgesamt erlauben diese Beobachtungen die Schlussfolgerungen, daß wenigstens einige Pbn den Versuch unternehmen, strukturelle Regelmäßigkeiten zu entdecken, daß dabei Hypothesen gezielt geprüft werden (bspw. ob Targets hintereinander im selben Quadranten angeboten werden), und daß schließlich die Suche nach Regelmäßigkeiten zur bewußten Erfassung von auffälligen Teilsequenzen führt (alternierende Reize, Hin- und Zurückbewegungen in der Lokation von Targets), wenn es solche gibt.

Deutlichere Hinweise auf bewußtes Strukturwissen ergeben sich unter den weniger komplexen Bedingungen, in denen eine feste Folge von Reizen wiederholt dargeboten wurde. Hier bestätigen oftmals die Mehrheit der Pbn, die Folge erkannt zu haben. Bei Nissen & Bullemer (1987, Experiment 1)

sind es 11 von 12 Pbn, bei Willingham et al. (1989, Experiment 1) sind es 48 von 60 und bei Hartman et al. (1989, Experiment 2) 12 von 41. Es lassen sich auch unterschiedliche Grade des Erkennens unterscheiden. Von den 48 Pbn, die bei Willingham et al. (1989) angaben, die Folge erkannt zu haben, konnten bspw. nur 12 Pbn die vollständige 10er-Folge reproduzieren, 29 Pbn reproduzierten zwischen 4 und 9 aufeinanderfolgende Reize und 7 Pbn konnten nicht mehr als drei aufeinanderfolgende Reize nennen. Interessanterweise korreliert die lernabhängige Reduktion der Reaktionszeiten mit dem Umfang des explizierbaren Wissens: Je mehr die Pbn über die Struktur der Folge wissen, desto schneller reagieren sie. Wenn die Befunde dennoch als Beleg für unbewußtes Lernen interpretiert werden, dann deshalb, weil auch für Pbn, die angeben, die Folge nicht erkannt zu haben, eine sequenzspezifische Reduktion der Reaktionszeiten beobachtet wird.

Weiteren Aufschluß liefert auch hier die schon erwähnte Vorhersagemethode. Pbn, die die Folge erkannt haben, sollten sie auch vorhersagen können. Bei vollständiger Unkenntnis der Folge dagegen, können die Pbn nur raten. Über die Ratewahrscheinlichkeit hinausgehende richtige Vorhersagen können somit als Indiz für bewußtes Strukturwissen gewertet werden (Cohen, A. et al., 1990). Wir betrachten im folgenden die Leistungen derjenigen Pbn, die, nach dem Kriterium verbaler Berichtbarkeit, die Folge nicht erkannt haben. Im Vergleich zu Kontrollgruppen realisieren diese Pbn stets bessere Vorhersageleistungen: Bei Nissen & Bullemer (1987, Experiment 2) ergeben sich im Vergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe 47 % versus 32 % korrekte Vorhersagen, Willingham et al. (1989, Experiment 1) berichten 42,6 % versus 38,7 %, und Hartman et al. (1989) 49 % versus 43 % im Experiment 2 und 63 % versus 57 % im Experiment 3. Die einheitliche Tendenz der Ergebnisse verstärkt die Vermutung, daß selbst die Pbn, die Erkenntnisse über die Reizsequenz nicht verbalisieren, über bewußtes, wenn auch fragmentarisches Strukturwissen verfügen.

In einer sequentiellen Wahlreaktionsanforderung sind die Reize und die Reaktionen in der gleichen Weise strukturiert. Was also wird gelernt? Lernen die Pbn Struktureigenschaften einer Sequenz von Reizen (z. B. Restle, 1970; Restle & Brown, 1970 a, b), oder optimieren sie lediglich die Ausführung einer Sequenz motorischer Reaktionen (z. B. Rosenbaum, Kenny & Derr, 1983), oder lernen sie beides? Ergebnisse von Cohen, A. et al. (1990) und Stadler (1989) lassen vermuten, daß die Lerneffekte vor allem auf der Struktur der Reizsequenz beruhen. In beiden Untersuchungen werden die Pbn plötzlich aufgefordert, ihre Reaktionen mit anderen Fingern

zu realisieren. Durch diese Veränderung der geforderten Motorik wird der bis dahin erreichte Leistungsstand kaum beeinflusst. Er beruht danach nicht auf Adaptationen der motorischen Reaktionen. Er könnte allerdings auf motorischen Programmen beruhen, die, unabhängig von den konkreten Reaktionen, das raum-zeitliche Muster der Bewegungsausführung bewahren (Rosenbaum, Inhoff & Gordon, 1984; Rosenbaum, Hindorff & Munro, 1987; Viviani & Terzuola, 1980; Zießler, Hänel & Hoffmann, 1988). Gegen motorische Lerneffekte spricht allerdings, daß es zu einem vergleichsweise deutlichen Leistungseinbruch führt, wenn bei gleichbleibenden Reaktionen die Erscheinungsweise der reaktionsauslösenden Reize plötzlich geändert wird (Stadler, 1989). Die naheliegende Schlußfolgerung, daß die Leistungsverbesserung auf der Struktur der Reizsequenz beruht, wird durch Beobachtungen von Willingham et al. (1989, Experiment 3) jedoch wieder in Frage gestellt. Den Pbn wird eine 10er-Sequenz von Reizen unterschiedlicher Farbe und Lokation wiederholt dargeboten. Die Reaktionen sind an die Farbe gebunden. Werden die Reize so dargeboten, daß ihre Lokationen eine feste Sequenz bilden, ihre Farben jedoch zufällig aufeinander folgen, dann entsteht eine Situation, in der eine feste Sequenz von Reizen (Lokationen) gelernt werden kann, ohne daß zugleich die Reaktionen einer festen Sequenz folgen. Unter diesen Bedingungen gibt es nicht die geringsten Hinweise auf sequenzspezifische Lerneffekte. Es werden dagegen die üblichen Lerneffekte beobachtet, wenn mit den Reizen auch die Reaktionen in fester Sequenz gefordert werden. Für den Lerneffekt scheint also doch die Struktur der Reaktionsfolge entscheidend zu sein. Die Befundlage ist widersprüchlich.

Man kann die geschilderten Ergebnisse wohl dahingehend deuten, daß weder allein Struktureigenschaften von Reizfolgen, noch allein solche von Folgen motorischer Reaktionen, den Lernprozeß vollständig bestimmen. Regelhafte Folgen von Reizeigenschaften werden vor allem dann erlernt, wenn sie verhaltensrelevant sind, und regelhafte Folgen von motorischen Reaktionen werden in ihrem Bezug zu den sie auslösenden Reizen gelernt: "What is learned may be thought of as a series of condition-action statements mapping stimuli onto responses" (Willingham et al., 1989, S. 1058).

### *Unbewußtes Klassifizieren*

Hier interessieren vor allem die Untersuchungen, in denen das klassifizierungsrelevante Merkmale zwar versteckt, aber dennoch einfach benennbar war,

wo also nicht argumentiert werden kann, daß die Komplexität des Merkmals seine Benennung verhindert. Wenn Lürer et al. (1989) zeigen, daß A- und O-Anagramme unterschiedliche Lösungen initiieren, oder wenn Lewicki, Hill & Sasaki (1989) zeigen, daß die Bedeutung eines „Fremdwortes“ durch seine Lage auf dem Bildschirm (mit)bestimmt wird, ohne daß die Pbn jeweils erkennen lassen, daß sie sich einer Beeinflussung ihrer Klassifikationen durch diese Merkmale bewußt sind, dann handelt es sich um Hinweise auf ein vermutlich tatsächlich nicht-bewußtes Lernresultat. Hätten die Pbn die Anfangsvokale oder den Darbietungsort als klassifizierungsrelevant „in's Auge gefaßt“, sie hätten es wohl auch verbalisiert. Allerdings sind in vergleichbaren Untersuchungen deutliche interindividuelle Unterschiede gefunden worden (Meschke, Damian, Potuznik & Reiß, 1991; Hoffmann, 1991): Es ließen sich dort nur bei den Pbn Lerneffekte nachweisen, die die kritische Kovariation wenigstens erahnt hatten. Die anderen Pbn zeigten keinerlei Lerneffekte. Lernabhängige Veränderungen der Mittelwerte einer Pbn-Gruppe sind eben noch kein Beleg für Lernprozesse bei allen Pbn.

### *Was wird nun wie unbewußt erlernt?*

Die geschilderten Versuche, dem Bewußtseinsgrad der Lernresultate nachzuspüren, haben in vielen Fällen zeigen können, daß „Bruchstücke“ von den zur Wirkung gebrachten Strukturen durchaus bewußt erfaßt werden. Dies betraf stets Relationen, die auch spontan beachtet werden, entweder, weil sie perceptiv auffällig sind (etwa als Anfangsbuchstabe, als Reizwiederholung oder als Reizalternation), oder weil sich an ihnen das Verhalten orientieren mußte (etwa an den Farben und nicht an den Lokationen aufeinanderfolgender Reize). Es kann nun argumentiert werden, daß die strukturspezifischen Leistungsverbesserungen möglicherweise vollständig auf diese bewußt erkannten „Bruchstücke“ zurückzuführen sind (z. B. Dulany et al., 1984, 1985; Peruchet & Pacteau, 1990; Haider-Hasebrink, 1991). Aus der unbestreitbaren Tatsache, daß die Pbn nicht die vom VI konstruierten Strukturen bewußt reflektieren, kann also nicht geschlossen werden, daß die Leistungsverbesserungen auf nicht-bewußten Lernresultaten beruhen. Ein solcher Schluß kann nur dann gezogen werden, wenn auszuschließen ist, daß die Lernleistung auf der bewußten Erfassung anderer, als der vom VI konstruierten Strukturen beruht. Bei der nicht-bewußten Bindung klassifikatorischer Reaktionen an klar benennbare aber eben versteckte Merkmale scheint ein solcher Fall vorzuliegen. Es

lassen sich unbewußte Lernprozesse also auch nicht völlig ausschließen.

## Warum wird unbewußt gelernt?

Ob das Resultat eines Lernprozesses bewußt wird oder nicht, sagt wenig über die Lernmechanismen aus, die zu diesem Resultat geführt haben. Für ein Verständnis der Phänomene nicht-bewußter Verhaltensanpassungen sind Überlegungen zu den ihnen zugrunde liegenden Lernvorgängen und zu den Motiven, die sie treiben, aber unverzichtbar. Wir wollen deshalb unsere Diskussion mit Spekulationen zu diesem Thema abschließen und dabei zwei Überlegungen zu verbinden suchen, die beide in der Geschichte unseres Fachgebietes vielfache Wurzeln haben.

Die erste Überlegung betrifft die motivationalen Antriebe organismischer Lernvorgänge. Eine Reihe von Autoren haben argumentiert, daß die „klassischen“ (behavioristischen) Vorstellungen, nach denen lernabhängige Veränderungen ausschließlich einer Bewertung von Verhaltenseffekten folgen (Thorndike, 1905), oder durch die Reduktion von Bedürfniszuständen hervorgerufen werden (Hull, 1943), nicht ausreichend sind, um die Vielfalt und Flexibilität des Verhaltens höherer Säugetiere und des Menschen entstehen zu lassen. Tolman (1932) etwa hat im Gegensatz zum bedürfnisgetriebenen Lernen von „latentem Lernen“ gesprochen und Bühler (1924) hat der „Befriedigungslust“ eine „Funktionslust“ gegenübergestellt. Berlyne (1950, 1958) hat die Notwendigkeit betont, ein Explorationsbedürfnis anzunehmen. Harlow (1953) argumentiert für die Existenz eines Manipulationstriebes. Hendrick (1943) spricht von einem Bedürfnis nach Meisterschaft (instinct to master) und White (1959) kommt beim Versuch einer Integration solcher Vorstellungen zu dem Schluß, daß es ein elementares Bedürfnis nach effektiver Verhaltenssteuerung (motivation of effectance) geben muß, dessen Befriedigung mit einem Gefühl der Effizienz (feeling of efficacy) einhergeht und das in seinem Wirken Kompetenz erzeugt, d. h., „an organisms capacity to interact effectively with its environment“ (White, 1959, S. 297).

Die zweite Überlegung, die wir aufgreifen wollen, betrifft die Kontrolle intentionalen Verhaltens. Für William James war es evident, daß man, um etwas zu wollen, voraussehen können muß, zu welchen Konsequenzen das eigene Verhalten führen wird. Verhalten, dessen Konsequenzen nicht antizipiert werden können, kann auch nicht gezielt eingesetzt werden: „An anticipatory image . . . is the only

psychic state which introspection lets us discern as the forerunner of our voluntary acts“ (James, 1890/1981, S. 1112). Wundt (1893, S. 571) argumentiert ebenfalls, daß sich die einer Willenshandlung vorausgehende Vorstellung „. . . auf den Effekt der auszuführenden Bewegung zu beschränken pflegt . . .“. Münsterberg spricht im gleichen Sinne von einem Innervationsgefühl, das „. . . nichts anderes ist als die Erinnerungsvorstellung der früher vollzogenen Wahrnehmung . . .“ (Münsterberg, 1889, S. 23/24). Bei Ach findet sich dieser Gedanke in der Konzeption der determinierenden Tendenz aufgehoben, „. . . welche insbesondere von der ‚Zielvorstellung‘ ausgeht, und die eine Realisierung des Geschehens im Sinne . . . dieser Zielvorstellung nach sich zieht“ (Ach, 1935; S. 143). Später wurde die Überlegung einer Antizipation von Verhaltenskonsequenzen im Refferenzprinzip aufgegriffen, wo die Efferenzkopie den Organismus die zu erwartenden Refferenzen „sehen läßt“, noch bevor die Efferenz ausgeführt wird (von Holst & Mittelstaedt, 1950). Und auch für Neisser „. . . sind die für das Sehen entscheidenden kognitiven Strukturen die antizipierenden Schemata, die den Wahrnehmenden darauf vorbereiten, bestimmte Arten von Informationen eher aufzunehmen als andere . . .“ (Neisser, 1976; zitiert nach der deutschen Übersetzung 1979, S. 26).

Beide Überlegungen beziehen sich auf die Interaktionen eines Organismus mit seiner Umwelt: Einmal ist es die Annahme von der Existenz eines Bedürfnisses nach Effizienz dieser Interaktionen und das andere Mal ist es die Annahme von der Existenz eines Mechanismus zu ihrer Kontrolle. Es liegt nun nahe anzunehmen, daß sich das Motiv des Mechanismus bedient: Das Bedürfnis nach effizienter Interaktion wird, so die Annahme, in einer Struktur verwirklicht, die sichert, daß die Konsequenzen eigenen Verhaltens immer verlässlicher antizipiert werden. Eine zweckmäßige Struktur dieser Art wäre realisiert, wenn erstens intentionales Verhalten stets von Antizipationen der nach bisherigen Erfahrungen zu erwartenden Konsequenzen begleitet werden würde und wenn zweitens, im Vergleich der antizipierten mit den eintretenden Konsequenzen dafür gesorgt wäre, daß sich die Antizipationen den tatsächlichen Gegebenheiten kontinuierlich anpassen. Übereinstimmungen sollten die Bindung der bestätigten Antizipationen an die gegebenen Situationsbedingungen verstärken, während Nichtübereinstimmungen zu einer Korrektur der unter den gegebenen Bedingungen zu antizipierenden Verhaltenskonsequenzen führen sollten. Ein Lernmechanismus mit solchen Eigenschaften würde zwangsläufig bewirken, daß die Konsequenzen des Verhaltens in Abhängigkeit von den Bedingungen, unter denen es realisiert wird,



immer sicherer antizipiert werden, und er würde damit gewährleisten, daß das Verhalten immer gezielter eingesetzt werden kann, um unter wechselnden Bedingungen die unterschiedlichsten Ziele zu erreichen.

Diese hier nur angedeuteten Überlegungen (vgl. Hoffmann, 1990, im Druck, in Vorbereitung, für ausführlichere Diskussionen) bilden den Hintergrund für die Spekulation, daß den Phänomenen nicht-bewußter Verhaltensanpassung möglicherweise Lernvorgänge zur Verbesserung verhaltenssteuernder Antizipationen zugrunde liegen könnten. Nach dieser Spekulation versuchen Pbn etwa beim Betrachten von grammatischen Reizsequenzen die Reizwirkungen zu antizipieren, die mit verschiedenen Blickfixationen erzeugt werden; sie versuchen, bei der Reaktion auf einen Reiz, den folgenden Reiz zu antizipieren; oder sie registrieren, daß ein und dieselbe Vorgehensweise nur bei einer Teilmenge von Anagrammen zur antizipierbaren Lösung führt. Bestätigungen und Nichtbestätigungen solcher Antizipationen würden dazu führen, daß sie immer zuverlässiger, in Abhängigkeit von den gegebenen, die tatsächlich eintretenden Bedingungen vorwegnehmen, daß sie also den strukturellen Gegebenheiten der jeweiligen Lernumgebung immer besser entsprechen würden. Daß erwartete Reize und Reaktionsanforderungen schneller und sicherer realisiert werden, als nicht erwartete, ist aus der Aufmerksamkeitsforschung (z. B. Posner, 1980; Posner, Snyder & Davidson, 1980) und aus Untersuchungen zur Reaktionsvorbereitung (z. B. Rosenbaum 1983) bekannt. Eine Verbesserung der Antizipationen würde also zwangsläufig zu Adaptationen der Verhaltensparameter an die strukturellen Eigenschaften der Lernumgebung führen, so, wie sie in den geschilderten Untersuchungen berichtet wurden.

Der Gedanke, daß elementare Lernformen auf Vergleichen zwischen antizipierten und realen Reizwirkungen beruhen könnten, wurde bereits bei der Interpretation bedingter Reflexe entwickelt. Rescorla und Wagner (1972) haben ein Modell vorgeschlagen, nach dem die Stärke der Assoziation zwischen unbedingtem und bedingtem Reiz nur dann verändert wird, wenn die an die gegebene Situation gebundenen Erwartungen des unbedingten Reizes nicht erfüllt werden. Ihr Credo lautet: "Organisms only learn when events violate their expectations" (Rescorla & Wagner, 1972, S. 75), und ihr darauf aufbauendes Modell liefert die gegenwärtig wohl vollständigste Erklärung für die Vielzahl der Phänomene bedingter Reflexe (vgl. Anochin, 1961; besonders aber Rescorla, 1988).

Interessanterweise findet das Prinzip des Lernens aus der Spannung zwischen Erwartung und Realität

auch in neueren konnektionistischen Modellen Anwendung. Das Prinzip kommt hier in der sogenannten Delta-Regel zum Ausdruck, die in ihrer formalen Struktur dem Rescorla-Wagner Modell identisch ist (Gluck & Bower, 1988a, b; Sutton & Barto, 1981). Auch nach der Delta-Regel wird die Stärke der Verbindung zwischen Eingangs- und Ausgangselementen eines Netzwerkes proportional zur Differenz zwischen der antizipierten und der gewünschten Aktivierungsstärke des jeweiligen Ausgangselementes verändert. Lernen findet also auch hier nur dann statt, wenn Antizipationen nicht bestätigt werden. Es liegen bereits erste Versuche vor, Phänomene des nicht-bewußten Erfassens von sequentiellen Strukturen in (rekurrenten) Netzwerken und unter Anwendung der Delta-Regel zu simulieren:

Den Netzwerken wurden Sequenzen von Eingangsvektoren (Reizen) mit der „Aufgabe“ angeboten, auf jeden Eingangsvektor einen Ausgangsvektor zu erzeugen, der dem jeweils nächsten Eingangsvektor entspricht (z. B. Allen, 1988; Elman, 1990; Smith & Zipser, 1989). Der Lernprozeß wird durch die Differenzen zwischen den antizipierten und den tatsächlich eintretenden Eingangsvektoren gesteuert. Das Netzwerk wird also belehrt, den jeweils nächsten Reiz der Folge möglichst korrekt zu antizipieren. Es wird gezeigt, daß ein solcher Lernmechanismus (in rekurrenten Netzwerken) dazu führt, daß sich Strukturen der dargebotenen Sequenzen in den Antizipationen widerspiegeln. Direkte Vergleiche von Simulationen mit Lernvorgängen bei Pbn haben Cleermans und McClelland (1991) berichtet. Es wurden Sequenzen dargeboten, die durch eine "finite state" Grammatik erzeugt waren. Die Pbn hatten auf die Reize so schnell wie möglich zu reagieren, während das Netzwerk den jeweils nächsten Reiz der Folge vorherzusagen hatte. Um Reaktionszeiten und Vorhersagen vergleichbar zu machen, wird angenommen, daß sich die Reaktionszeiten umgekehrt proportional zur Stärke der Antizipation des reaktionsauslösenden Reizes verhalten. Das Netzwerk zeigt qualitativ gleiche Lernresultate wie die Pbn. Die Autoren vermuten, daß das simulierte Antizipationslernen der Strukturanpassung der Reaktionszeiten der Pbn zugrunde liegt: "Encoding of the temporal structure seems to be primarily driven by anticipation of the next element of the sequence" (Cleermans & McClelland, 1991, S. 252).

Die geschilderten Simulationen, aber auch die Parallelität in den Überlegungen zu antizipativen Lernprozessen bei Tieren und Menschen (Gluck & Bower, 1988b, 1990; Schank, 1982; Dickinson & Shanks, 1985), unterstützen unsere Spekulation, nach der den „unbewußten“ Lernprozessen ein Streben nach Antizipierbarkeit von Verhaltens-

konsequenzen zugrunde liegen könnte. Allerdings machen die Simulationen bei einem genaueren Vergleich mit den menschlichen Lernleistungen auch auf einige noch ungelöste Probleme aufmerksam, die wenigstens genannt sein sollen:

Ein erstes Problem bezieht sich auf das Verhältnis von Antizipationen, Reaktionszeiten und Bewußtheit. Bei den Pbn wird das nicht-bewußte Erfassen der sequentiellen Struktur an strukturspezifischen Adaptationen der Reaktionszeiten operationalisiert. Die Fähigkeit, nächstfolgende Reize einer Sequenz vorherzusagen, wird dagegen als Beleg für bewußte Strukturkenntnisse gewertet. Es ist nun widersprüchlich, auf der einen Seite Antizipationen als Grundlage „unbewußten“ Lernens zu vermuten, aber gleichzeitig die Antizipationsfähigkeiten der Pbn als Ausdruck bewußter Strukturkenntnisse zu interpretieren. Darüber hinaus korrelieren die Antizipationsleistungen der Pbn mit ihren Reaktionszeiten zumeist nur mäßig. Dies wird als Hinweis auf die Unabhängigkeit von bewußt und unbewußt erworbenem Wissen verstanden (z. B. Cohen et al., 1990). Möglicherweise müssen wir zwischen (unwillkürlichen) verhaltenssteuernden Antizipationen und (willkürlichen) expliziten Vorhersagen unterscheiden. Dann ist allerdings zu klären, inwieweit beide auf gleichen oder unterschiedlichen Strukturen beruhen und inwieweit sich der Erwerb dieser Strukturen voneinander unterscheidet.

Es bleibt zweitens zu durchdenken, zwischen welchen Einheiten antizipative Verbindungen eigentlich aufgebaut werden. In der geschilderten Simulation ging es um die Antizipation eines nächstfolgenden Reizes in Abhängigkeit vom gegebenen Reiz. Bei Klassifikationsaufgaben ist dagegen die Antizipation der Klassifikationsreaktion auf einen gegebenen Reiz Gegenstand des Lernprozesses (z. B. Gluck & Bower, 1988a, b, 1990). Es gibt auch Überlegungen zur Antizipation von Reizeffekten in Abhängigkeit von den Aktionen, die sie erzeugen (Allan & Jenkins, 1980; Dickinson, Shanks & Evenden, 1984; Shanks, 1985). Von den stets im Zusammenhang gegebenen Relationen zwischen Reiz, Aktion und Konsequenz werden bislang also jeweils nur die zwischen Reiz und Konsequenz, Reiz und Aktion, oder Aktion und Konsequenz berücksichtigt. Nach unseren Überlegungen muß es jedoch darum gehen, Interaktionen zwischen allen drei Relationen in den Lernvorgang einzubeziehen (vgl. Hoffmann, eingereicht; Holyoak, Koh & Nisbett, 1989; Schmidhuber & Huber, 1990; Schmidhuber, 1990).

Ein drittes Problem ist die Aufmerksamkeitsabhängigkeit der Lernprozesse. Konnektionistische Lernmodelle kennen in der Regel keine selektive Beachtung einzelner Input- oder Outputelemente im

Lernprozeß. Alle Verbindungen werden nach gleichen Regeln verändert. Wenn dennoch die Eingangselemente unterschiedlichen Einfluß auf den Ausgang gewinnen, dann stets als Folge eines vorangegangenen Lernprozesses. Die Selektivität der Aufmerksamkeit ist in diesen Modellen kein eigenständiger Faktor, der die Lernprozesse zu modifizieren in der Lage wäre, sie ist ihr zwangsläufiges Resultat. Dies steht im Widerspruch zu der geschilderten Beeinflussbarkeit der Lernprozesse durch Aufmerksamkeitsfaktoren. Cleeremans und McClelland (1991) haben in ihrer Simulation versucht, Aufmerksamkeitsfaktoren durch eine Überlagerung der Netzaktivitäten mit einem Zufallsprozeß zu berücksichtigen. Es bleibt jedoch fraglich, ob selektive Aufmerksamkeitseffekte, wie sie bspw. von Weinert (1990) gezeigt wurden, durch eine so unspezifische Manipulation erfaßt werden können. Strukturen, in denen der Einfluß von Aufmerksamkeitsfaktoren auf „unbewußte“ Lernprozesse erfaßt werden kann, sind also noch zu modellieren (vgl. Cohen, Dunbar & McClelland, 1990; Phaf, van der Heijden & Hudson, 1990).

Ein letztes Problem hängt schließlich mit der Belehrung zusammen. In der Simulation wurde das Netz durch den jeweils nächsten Reiz der vorgegebenen Sequenz belehrt. Eine solche Belehrung ist nicht immer gegeben. Eine Klassifikation von Anagrammen, wie sie bspw. Luer et al. (1989) beschrieben haben, kann mit diesen Mitteln nicht simuliert werden, da hier weder ein nächstfolgender Reiz zu antizipieren, noch eine Klassifikation der Anagramme vorgegeben war. Die Pbn haben sich selbst darüber belehrt, daß nur bei bestimmten Anagrammen bestimmte Lösungswege erfolgreich sind (vgl. auch Lewicki, Hill & Sasaki, 1989). Eine Lernstruktur, in der Reize, Aktionen und Konsequenzen aufeinander bezogen werden, könnte eine solche „Selbstbelehrung“ bewirken: Die Belehrung würde allein durch den Vergleich der antizipierten mit den zwangsläufig eintretenden Verhaltenskonsequenzen erfolgen. Die Organisationsstruktur eines solchen Lernvorgangs ist aber noch zu entwerfen (vgl. Schmidhuber, 1990).

Wir wollen die Diskussion zur Frage, warum „unbewußt“ gelernt wird, beenden. Unsere Vermutung ist, daß es Mechanismen zur unwillkürlichen Verbesserung von Antizipationen von Verhaltenskonsequenzen sein könnten, die „unbewußte“ Lernprozesse veranlassen. Wir haben gezeigt, daß dieser Gedanke für die Interpretation von Phänomenen des bedingten Reflexes bereits eine zentrale Rolle spielt und daß er auch aktuellen Ansätzen zur Simulation menschlicher Lernprozesse in konnektionistischen Netzwerken zugrunde gelegt wird. Wir haben aber

auch auf Probleme aufmerksam gemacht. Das wichtigste scheint mir der Entwurf einer funktionellen Architektur zu sein, die sichert, daß Bestätigungen und Nichtbestätigungen von antizipierten Verhaltenskonsequenzen nicht nur zu Verbesserungen der jeweiligen Antizipationen führen, sondern gleichzeitig zu einer, die Verlässlichkeit der Antizipationen fördernden, Klassifikation von Verhaltensbedingungen und Verhaltensakten (Hoffmann, 1988, eingereicht).

## Schlußbemerkungen

Es war das Anliegen dieser Arbeit, die aktuellen Berichte über implizites oder „unbewußtes“ Lernen kritisch zu sichten. Das Besondere dieser Lernform wird darin gesehen, daß sie erstens zu einer Berücksichtigung von Strukturen im Verhalten führt, die zu berücksichtigen nicht explizit aufgefördert wurde. Zweitens können die Pbn nichts über diese Strukturen berichten und schließlich wird drittens argumentiert, daß sie aufmerksamkeitsunabhängig wirksam werden. Unsere Diskussion führt zu dem Eindruck, das keine dieser Besonderheiten einer kritischen Überprüfung standhält:

Die erste Besonderheit ist eher eine der Methodik als eine der Lernprozesse. Ob Pbn direkt aufgefördert sind, Zusammenhänge zu erfassen, oder ob sie ohne eine solche Aufforderung agieren, sagt nichts über die in Gang kommenden Lernprozesse aus. Bei den Untersuchungen zum komplexen Problemlösen werden die Pbn bspw. explizit instruiert, ihr Verhalten in Abhängigkeit von den Systemzuständen zu wählen und dennoch wird von nicht-bewußten Lernresultaten berichtet. Auf der anderen Seite unternehmen Pbn auch ohne eine entsprechende Instruktion oftmals den bewußten Versuch, strukturelle Eigenschaften der Lernumgebung zu erfassen.

Auch die Behauptung, daß die zur Wirkung kommenden Strukturen nicht-bewußt sind, läßt sich anzweifeln. Für die meisten Untersuchungsparadigmen ist gezeigt worden, daß die Pbn durchaus bewußte Vorstellungen von einzelnen Struktureigenschaften ihrer Lernumgebung entwickeln. Auch wenn es sich dabei zumeist um fragmentarisches Wissen handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, daß die Verhaltensadaptationen ausschließlich auf diesem Wissen beruhen. Allerdings gibt es auch Beobachtungen, in denen einfachste Zusammenhänge verhaltenswirksam werden, ohne daß sie von den Pbn benannt werden. Hier scheinen tatsächlich nicht-bewußt erworbene Verhaltensabhängigkeiten vorzuliegen.

Die Aufmerksamkeitsunabhängigkeit ist auch kein geeignetes Kriterium, um „unbewußtes“ Lernen auszuzeichnen. Mehrere Beobachtungen zeigen, daß auch „unbewußte“ Lernprozesse durch Aufmerksamkeitsfaktoren beeinflußt werden. Sie sind danach genauso von Aufmerksamkeitsfaktoren abhängig, wie bewußte Lernprozesse. Für beide gilt, daß das Lernen beschleunigt wird, wenn die Aufmerksamkeit auf die relevanten Struktureigenschaften gelenkt wird und es wird verlangsamt, oder unterbunden, wenn die Pbn von ihnen abgelenkt werden.

Wenn die besonderen Eigenschaften „unbewußter“ im Unterschied zu bewußten Lernprozessen einer empirischen Überprüfung nicht standhalten, ist zu fragen, ob die Unterscheidung sinnvoll ist. Dies sollte m. E. noch nicht entschieden werden. Allerdings sollten andere als die bisher betonten Kriterien diskutiert werden. Es kommt bei der Begründung einer besonderen Lernform vor allem auf Unterschiede in den zugrunde liegenden Strukturen und der Art ihrer lernabhängigen Veränderung an, auf Unterschiede in den Bekräftigungsmechanismen, die sie veranlassen, und auf Unterschiede in ihrer zeitlichen Dynamik. Unsere Vorstellungen über Mechanismen der Verbesserung von Antizipationen bedingungsabhängiger Verhaltenseffekte sind im vorigen Abschnitt angedeutet worden. Eine Überprüfung dieser Spekulationen erfordert Untersuchungen, in denen nicht nur gefragt wird, ob die eine oder andere Struktureigenschaft Einfluß auf das Verhalten gewinnt, sondern in denen die Antizipierbarkeit von Verhaltensresultaten als ein die Verhaltenssteuerung strukturierender Faktor gezielt geprüft wird. Solche Untersuchungen werden gegenwärtig in der Hoffnung vorbereitet, daß sie unser Verständnis der Mechanismen, die der Strukturierung unseres Verhaltens zugrunde liegen, vertiefen können. Möglicherweise werden wir dann auch genauer verstehen, inwieweit solche Mechanismen zwangsläufig und unwillkürlich wirken und inwieweit wir sie willkürlich beeinflussen können.

## Summary

In various recent papers implicit or unconscious learning has been characterized by the following properties: implicit learning happens incidentally, it is independent of attention, and its results do not reach conscious awareness. For some authors implicit learning represents an "Ur-process whereby critical covariations in the stimulus environment are picked up" (Reber, 1989). A critical review of the relevant literature reveals that none of the stated specific properties of implicit learning has been convincingly

demonstrated. Furthermore there are no detailed specifications of the mechanisms of implicit learning. Reasons are given for the assumption that the learning processes that have been observed are based on an elementary need to reliably anticipate the outcome of individual acts. Simulations which support such an approach are discussed, and unresolved issues are pointed out.

## Literatur

- Ach, N. (1935). *Analyse des Willens*. Berlin, Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Allan, L. G. & Jenkins, H. M. (1980). The judgement of contingency and the nature of the response alternatives. *Canadian Journal of Psychology*, 34, 1—11.
- Allen, R. B. (1988). Connectionist state machines. *Report ARA 88—300*. Morristown, NJ: Bellcore.
- Anochin, P. K. (1961). A new conception of the physiological architecture of conditioned reflex. In A. Fessard, R. W. Gerard & J. Konorski (Eds.), *Brain mechanisms and learning*. Oxford: University Press.
- Berlyne, D. E. (1950). Novelty and curiosity as determinants of exploratory behavior. *British Journal of Psychology*, 41, 68—80.
- Berlyne, D. E. (1958). The present status of research on exploratory and related behavior. *Journal of Individual Psychology*, 14, 121—126.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 209—231.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology*, 79, 251—272.
- Broadbent, D. E., Fitzgerald, P. & Broadbent, M. H. P. (1986). Implicit and explicit knowledge in the control of complex systems. *British Journal of Psychology*, 77, 33—50.
- Brody, N. (1989). Unconscious learning of rules: Comment on Reber's analysis of implicit learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 236—238.
- Brooks, L. R. (1978). Nonanalytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 169—211). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brooks, L. R. (1987). Decentralized control of categorization: The role of prior processing episodes. In U. Neisser (Ed.), *Concepts in conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorization* (pp. 141—174).
- Brooks, L. R. & Vokey, J. R. (1991). Abstract analogies and abstracted grammars: Comments on Reber (1989) and Mathews et al. (1989). *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 316—323.
- Bühler, K. (1924). *Die geistige Entwicklung des Kindes* (4. Auflage). Jena: Gustav Fischer.
- Cleeremans, A. & McClelland, J. L. (1991). Learning the structure of event sequences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 235—253.
- Cohen, A., Ivry, R. I. & Keele, S. W. (1990). Attention and structure in sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 17—30.
- Cohen, J. D., Dunbar, K. & McClelland, J. L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the stroop effect. *Psychological Review*, 97, 332—361.
- Dickinson, A. & Shanks, D. R. (1985). Animal conditioning and human causality judgment. In L. Nilsson & T. Archer (Eds.), *Perspectives on learning and memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dickinson, A., Shanks, D. R. & Evenden, J. (1984). Judgement of act-outcome contingency: The role of selective attribution. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 29—50.
- Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F. & Stäudel, Th. (1983). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.
- Dörner, D., Stäudel, Th. & Strohschneider, S. (1986). Moro: Programmdokumentation. *Memorandum Nr. 23*. Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II, Universität Bamberg.
- Dulany, D. E., Carlson, R. A. & Dewey, G. I. (1984). A case of syntactical learning and judgement: How conscious and how abstract? *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 541—555.
- Dulany, D. E., Carlson, R. A. & Dewey, G. I. (1985). On consciousness in syntactic learning and judgement: A reply to Reber, Allen, and Regan. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 25—32.
- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14, 179—211.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215—251.
- Gluck, M. A. & Bower, G. H. (1988a). Evaluating an adaptive network model of human learning. *Journal of Memory and Language*, 27, 166—195.
- Gluck, M. A. & Bower, G. H. (1988b). From conditioning to category learning: An adaptive network model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 227—247.
- Gluck, M. A. & Bower, G. H. (1990). Component and pattern information in adaptive networks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 105—109.
- Haider-Hasebrink, F. (1991). *Explizites versus implizites Wissen und Lernen*. *Dissertationsschrift*. Hamburg: Universität der Bundeswehr.
- Harlow, H. F. (1953). Mice, monkeys, men, and motives. *Psychological Review*, 60, 23—32.

- Hartman, M., Knopman, D. S. & Nissen, M. J. (1989). Implicit learning of new verbal associations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1070—1082.
- Hayes, N. A. & Broadbent, D. E. (1988). Two modes of learning for interactive tasks. *Cognition*, 28, 249—276.
- Hendrick, L. (1943). The discussion of the 'instinct to master'. *Psychoanalytic Quarterly*, 12, 561—565.
- Hoffmann, J. (1988). Wird Wissen in Begriffen repräsentiert? *Sprache & Kognition*, 7, 193—204.
- Hoffmann, J. (1990). Über die Integration von Wissen in die Verhaltenssteuerung. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 49, 250—265.
- Hoffmann, J. (1991). *Ist implizites Lernen aufmerksamkeitsabhängig?* Paper 10/1991. München: Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung.
- Hoffmann, J. (im Druck). Die visuelle Identifikation von Objekten. In W. Prinz & B. Bridgeman (Eds.), *Handbook of Perception and Action, Vol. I: Perception*.
- Hoffmann, J. (eingereicht). *Probleme der Begriffsbildungsforschung: Von S-R Verbindungen zu S-R-K Einheiten*.
- Hoffmann, J. (in Vorbereitung). *Erkenntnis und Vorhersage*.
- Holender, D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal. *Behavioral and Brain Sciences*, 9, 1—23.
- Holst, E. v. & Mittelstaedt, H. (1950). Das Reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften*, 37, 464—476.
- Holyoak, K. J., Koh, K. & Nisbett, R. E. (1989). A theory of conditioning: Inductive learning within rule-based default hierarchies. *Psychological Review*, 96, 315—340.
- Howard, J. H. & Ballas, J. A. (1980). Syntactic and semantic factors in the classification of nonspeech transient patterns. *Perception and Psychophysics*, 28, 431—439.
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior*. New York: Appleton Century Crofts.
- James, W. (1981). *The principles of psychology* (Vol. II). Cambridge, MA.: Harvard University Press (orig. 1890).
- Jones, M. R., Boltz, M. & Kidd, G. (1982). Controlled attending as a function of melodic and temporal context. *Perception & Psychophysics*, 32, 211—218.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Kempton, W. (1986). Two theories of home head control. *Cognitive Science*, 10, 75—90.
- Kluwe, R. H., Misiak, C., Ringelband, O. & Haider, H. (1986). Learning by doing in the control of complex systems: The benefits from experience and the effects of system characteristics on the learning process. In M. Amelang (Ed.), *Bericht über den 35. Kongress der DGfP in Heidelberg*. Göttingen: Hogrefe.
- Knopman, D. S. & Nissen, M. J. (1987). Implicit learning in patients with probable Alzheimer's disease. *Neurology*, 37, 784—788.
- Lewicki, P. (1986a). *Nonconscious social information processing*. New York: Academic Press.
- Lewicki, P. (1986b). Processing information about covariations that cannot be articulated. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12, 135—146.
- Lewicki, P., Czyzewska, M. & Hoffman, H. (1987). Unconscious acquisition of complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 523—530.
- Lewicki, P. & Hill, T. (1989). On the status of nonconscious processes in human cognition: Comment on Reber. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 239—241.
- Lewicki, P., Hill, T. & Bizot, E. (1988). Acquisition of procedural knowledge about a pattern of stimuli that cannot be articulated. *Cognitive Psychology*, 20, 24—37.
- Lewicki, P., Hill, T. & Sasaki, I. (1989). Self-perpetuating development of encoding biases. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 323—337.
- Logan, G. D. (1990). Repetition priming and automaticity: Common underlying mechanisms? *Cognitive Psychology*, 22, 1—35.
- Lüer, G., Ruhlender, P., Klettke, W. & Lass, U. (1989). The construction of procedural knowledge independent of declarative factual knowledge: An experimental study. In R. Groner & G. d'Ydewalle (Eds.), *Eye Movement and Psychological Processes. Proceedings of the XXIV International Congress of Psychology*. Amsterdam: North-Holland.
- Mandler, G. (1985). *Cognitive Psychology. An essay in cognitive science*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mathews, R. C. (1990). Abstractness of implicit grammar knowledge: Comments on Perruchet and Pacteau's analysis of synthetic grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 412—416.
- Mathews, R. C., Buss, R. R., Stanley, W. B., Blanchard-Fields, F., Cho, J. R. & Druhan, B. (1989). Role of implicit and explicit processes in learning from examples: A synergistic effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1083—1100.
- Merikle, P. M. & Cheesman, J. (1986). Consciousness is a "subjective" state. *Behavioral and Brain Sciences*, 9, 42.
- Meschke, H., Damian, M., Potuznik, U. & Reiß, S. (1991). *Zum impliziten Lernen: Eine mißlungene Replikation*. Poster. Gießen: TeaP.
- Miller, G. A. (1958). Free recall of redundant strings of letters. *Journal of Experimental Psychology*, 56, 485—491.

- Münsterberg, H. (1889). *Beiträge zur Experimentalpsychologie. Heft 1*. Freiburg i. Br.: J. C. B. Mohr.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Nissen, M. J. & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1—32.
- Nissen, M. J., Willingham, D. & Hartmann, M. (1989). Explicit and implicit remembering: When is learning preserved in amnesia? *Neuropsychologica*, 27, 341—352.
- Norman, D. A. & Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44—64.
- Perrig, J. W. (1990). Implizites Wissen: Eine Herausforderung für die Kognitionspsychologie. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 49, 234—249.
- Perruchet, P., Gallego, J. & Savy, I. (1990). A critical reappraisal of the evidence for unconscious abstraction of deterministic rules in complex experimental situations. *Cognitive Psychology*, 22, 493—516.
- Perruchet, P. & Pacteau, C. (1990). Synthetic grammar learning: Implicit rule abstraction or explicit fragmentary knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 264—275.
- Phaf, R. H., van der Heijden, A. H. C. & Hudson, P. T. W. (1990). SLAM: A connectionist model for attention in visual selection tasks. *Cognitive Psychology*, 22, 273—341.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3—25.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R. & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160—174.
- Prinz, W. (1990). On dynamic pertinence models. In H. G. Geißler (Ed.), *Psychophysical explorations of mental structures* (pp. 411—421). Toronto, Göttingen: Hogrefe & Huber.
- Prinz, W. & Nattkemper, D. (1987). *Integrating non-target information in continuous search. Report No. 145 of the research group on perception and action*. Bielefeld: Center for Interdisciplinary Research, University of Bielefeld.
- Putz-Osterloh, W. (1987). Experten und komplexe Probleme: Gibt es Experten für komplexe Probleme? *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 63—84.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 855—863.
- Reber, A. S. (1969). Transfer of syntactic structure in synthetic languages. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 115—119.
- Reber, A. S. (1976). Implicit learning of synthetic languages: The role of instructional set. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2, 88—94.
- Reber, A. S. (1989a). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 219—235.
- Reber, A. S. (1989b). More thoughts on the unconscious: Reply to Brody and to Lewicki and Hill. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 242—244.
- Reber, A. S. (1990). On the primacy of the implicit: Comment on Perruchet and Pacteau. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 340—342.
- Reber, A. S. & Allen, R. (1978). Analogic and abstraction strategies in synthetic grammar learning: A functionalist interpretation. *Cognition*, 6, 189—221.
- Reber, A. S., Kassir, S. M., Lewis, S. & Cantor, G. (1980). On the relations between implicit and explicit modes in the learning of a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 492—502.
- Reichert, U. & Dörner, D. (1988). Heuristiken beim Umgang mit einem „einfachen“ dynamischen System. *Sprache & Kognition*, 7, 12—24.
- Rescorla, R. A. (1988). Pavlovian conditioning, it's not what you think it is. *American Psychologist*, 43, 151—160.
- Rescorla, R. A. & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and non-reinforcement. In A. H. Black & W. F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II: Current research and theory*. New York: Appleton Century Crofts.
- Restle, F. (1970). Theory of serial pattern learning: Structural trees. *Psychological Review*, 77, 481—495.
- Restle, F. & Brown, E. R. (1970a). Organization of serial pattern learning. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 4). New York: Academic Press.
- Restle, F. & Brown, E. R. (1970b). Serial pattern learning. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 120—125.
- Rosenbaum, D. A. (1983). The movement precuing technique: Assumptions, applications, and extensions. In R. A. Magill (Ed.), *Memory and control of action*. Amsterdam: North-Holland.
- Rosenbaum, D. A., Hindorff, V. & Munro, E. M. (1987). Scheduling and programming of rapid finger sequences: Test and elaboration of the hierarchical editor model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 193—203.
- Rosenbaum, D. A., Inhoff, A. W. & Gordon, A. M. (1984). Choosing between movement sequences: A hierarchical editor model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 372—393.
- Rosenbaum, D. A., Kenny, S. B. & Derr, M. A. (1983). Hierarchical control of rapid movement sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 86—102.

- Sanderson, P. M. (1989). Verbalizable knowledge and skilled task performance: Association, dissociation, and mental models. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 729—747.
- Schacter, D. L. (1987). Implicit memory: History and current status. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 501—518.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic memory. A theory of reminding and learning in computers and people*. Cambridge University Press.
- Schmidhuber, J. H. (1990). *Making the world differentiable: On using self-supervised fully recurrent neural networks for dynamic reinforcement learning and planning in non-stationary environments*. Report FKI-126-90. München: Institut für Informatik der TU.
- Schmidhuber, J. H. & Huber, R. (1990). *Learning to generate focus trajectories for attentive vision*. Technical Report FKI-128-90. München: Institut für Informatik der TU.
- Servan-Schreiber, E. & Anderson, J. R. (1990). Learning artificial grammars with competitive chunking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 592—608.
- Shanks, D. R. (1985). Continuous monitoring of human contingency judgement across trials. *Memory & Cognition*, 13, 158—167.
- Smith, A. W. & Zipser, D. (1989). *Encoding sequential structure: Experience with the real-time recurrent learning algorithm*. Report. La Jolla: Institute für Cognitive Science.
- Stadler, M. A. (1989). On learning complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1061—1069.
- Strohschneider, S. (1990). *Wissenserwerb und Handlungsregulation*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Sutton, R. S. & Barto, A. G. (1981). Toward a modern theory of adaptive networks: Expectation and Prediction. *Psychological Review*, 88, 135—170.
- Thorndike, E. L. (1905). *The elements of psychology*. New York: Seiler.
- Tolman, E. C. (1932). *Purposive behavior in animals and men*. New York: Appleton-Century.
- Viviani, P. & Terzuola, C. (1980). Space-time invariance in learned motor skills. In G. E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- Weinert, S. (1990). *Zum Erwerb sprachanaloger Regeln: Lernmechanismen und Einflußfaktoren*. Dissertation. Bielefeld: Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66, 297—333.
- Willingham, D. B., Nissen, M. J. & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1047—1060.
- Wundt, W. (1893). *Grundzüge der Physiologischen Psychologie* (Band II, 4te Auflage). Leipzig: W. Engelmann.
- Zießler, M., Hänel, K. & Hoffmann, J. (1988). Die Programmierung struktureller Eigenschaften von Bewegungsfolgen. *Zeitschrift für Psychologie*, 196, 371—388.