

Grammatiklernen und serielles Reagieren: Zwei Paradigmen — ein Lernmechanismus?*)

BURKHARD MÜLLER, INA GOLLER UND JOACHIM FUNKE

Psychologisches Institut der Universität Bonn

In drei Experimenten wurde der Frage nachgegangen, ob die impliziten Lerneffekte im Paradigma des Grammatiklernens und dem des seriellen Reagierens entsprechend den Vorstellungen von Frensch und Miner (1994) durch *einen* strikt assoziativen Lernmechanismus erklärt werden können. Ausgehend von der Theorie finiter Automaten konnten Bedingungen geschaffen werden, durch die die wesentlichen Aspekte beider Paradigmen hinsichtlich der Lern- und Testphase unabhängig voneinander kombinierbar wurden. In Experiment 1 zeigte sich auf der Basis von Zulässigkeitsurteilen, daß Vpn gegenüber der probabilistischen Struktur von Ereignissequenzen sensitiv waren, wenn sie in einer vorausgehenden inzidentellen Lernphase grammatisch strukturierte Sequenzen memoriert hatten (Grammatiklernen), nicht jedoch, wenn sie auf einzeln angezeigte Sequenzelemente unmittelbar zu reagieren hatten (Seriell Reagieren). Um als Alternativerklärung die Transferangemessenheit der Verarbeitung zu prüfen, wurde in Experiment 2 unter sonst gleichen Bedingungen in der Testphase lediglich verlangt, auf einzeln angezeigte Sequenzelemente möglichst schnell zu reagieren. Der Vergleich der Latenzzeiten zwischen den kritischen Übergängen für neue grammatische und agrammatische Sequenzen ergab für beide Lernbedingungen klare Grammatikalitätseffekte. In Experiment 3 konnte bestätigt werden, daß die Effekte des zweiten Experimentes Einflüsse der Lernbedingungen reflektieren und keine Artefakte darstellen. Die Implikationen der Befunde für Annahmen zu Lernmechanismen werden diskutiert.

Schlagerworte: Grammatiklernen — implizites Lernen — seriell Reagieren

*) Die empirischen Daten wurden im Rahmen des Projekts „Analyse von Lernprozessen beim Umgang mit finiten Automaten (ALFA)“ erhoben, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Az. Fu 173/3).

Für die Unterstützung bei der Durchführung der Experimente danken wir Melanie Stefens und René Jerusalem.

Für hilfreiche Kommentare und Anregungen zu einer früheren Fassung des Manuskriptes danken wir zwei anonymen Gutachtern.

Das implizite Erfassen der regelhaften Struktur sequentieller Ereignisse wird im wesentlichen im Rahmen zweier Paradigmen untersucht: Grammatiklernen und serielles Reagieren (vgl. Buchner, 1992; Cleeremans, 1993; Haider, 1992). Das Paradigma des Grammatiklernens wurde von Reber (1967) eingeführt und sollte der experimentellen Untersuchung des intuitiven Erfassens komplexer Regularitäten dienen. In einer inzidentellen Lernphase werden Abfolgen von Symbolen (z. B. Buchstaben) mit der Instruktion vorgegeben, sie zu reproduzieren. Die einzelnen Abfolgen sind entsprechend einer finiten Grammatik strukturiert. Nachdem die Versuchspersonen eine Vielzahl von derartigen Abfolgen memoriert haben, werden ihnen anschließend in einer unerwarteten Testphase neue Folgen vorgegeben. Die Versuchspersonen werden aufgefordert, ihrer Intuition entsprechend zu entscheiden, ob diese Folgen den vorhergehend bearbeiteten ähnlich sind oder nicht. Typischerweise entscheiden Versuchspersonen diese Frage überzufällig häufig korrekt. Dennoch sind sie nicht in der Lage, die Grundlage ihres Urteilens zu benennen.

Das Paradigma „Seriell Reagieren“ wurde von Nissen und Bullemer (1987) eingeführt, um implizite Lerneffekte bei Amnestikern zu prüfen: Versuchspersonen haben die Aufgabe, entsprechend angezeigter Signale (z. B. Positionen auf einem Bildschirm) eine zugehörige Aktion auszuführen (z. B. eine der Position zugeordnete Taste drücken). Die Abfolge der Signale kann dabei zufällig oder systematisch strukturiert sein. Die Sensitivität gegenüber der Systematik wird auf der Basis der mittleren Latenzzeiten bestimmt, die sich für systematische gegenüber zufälligen Abfolgen ergeben. Experimentell konnte demonstriert werden, daß Amnestiker, die über keine explizierbare Erinnerung an vorausgehende Lernerfahrung verfügen, gegenüber dem Wechsel von systematisch zu zufällig strukturierten Sequenzen sensitiv sind, d. h. sie reagieren bei zufällig strukturierten Sequenzen langsamer auf die einzelnen Ereignisse. Für nicht-klinische Stichproben konnte im Sinne impliziten Lernens als einer besonderen Lernart gezeigt werden, daß die Sensitivität gegenüber der Strukturiertheit der Sequenzen nicht notwendig mit der Explizierbarkeit der sequentiellen Abhängigkeiten einhergeht und auch unter Bedingungen geteilter Aufmerksamkeit beobachtet werden kann (z. B. Frensch & Miner, 1994; Frensch, Buchner & Lin, 1994; Lewicki, Czyzewska & Hoffman, 1987; Willingham, Nissen & Bullemer, 1989).

Zur Erklärung dieser Effekte gibt es eine Vielzahl von Annahmen, die sich zum einen auf zugrundeliegende Mechanismen des Lernens und zum anderen auf die Qualität des erworbenen Wissens beziehen. Unglücklicherweise lassen sich diese beiden Aspekte nicht unabhängig voneinander betrachten. Reber (1980, 1989) nimmt z. B. an, daß das Resultat impliziten Lernens in einer abstrakten Repräsentation komplexer Zusammenhänge

besteht. Als Unterstützung dieser Auffassung werden Befunde bewertet, die Transfereffekte des Wissens zeigen, ohne daß die Regeln der Grammatik explizierbar sind. Mittlerweile liegen empirische Untersuchungen vor, in denen die Irrelevanz der Explizierbarkeit von Strukturregeln hinsichtlich der Expliztheit, bewußten Verfügbarkeit oder strategischen Nutzbarkeit des erworbenen Wissens demonstriert werden konnte (Buchner, Funke & Berry, 1995; Dienes et al., 1995; Haider, 1992). Anderen Vorstellungen zufolge basieren die Effekte zumindest bei Zulässigkeitsurteilen darauf, daß einzelne Beispiele erinnert werden können und neue Vorgaben entsprechend der Ähnlichkeit zu diesen Referenzbeispielen beurteilt werden (Brooks & Vokey, 1991; Vokey & Brooks, 1992). Es wird auch angenommen, daß die Kenntnis auffälliger Teilmuster die Grundlage bildet, um die Übereinstimmung von Lern- und Testbeispielen zu beurteilen (z. B. Dienes, Broadbent & Berry, 1991; Dulany, Carlson & Dewey, 1984). Perruchet und Pacteau (1990, 1991) bezweifeln grundsätzlich, daß die gefundenen Effekte ohne die Beteiligung *expliziter* assoziativer Verbindungen zustande kommen. Gomez und Schvaneveldt (1994) konnten zeigen, daß Grammatikalitätseffekte nicht durch einfache paarweise Assoziationen erklärbar sind.

Neben diesen Erklärungsversuchen wurden auch Modellvorstellungen zu spezifischen Mechanismen entwickelt, durch die die Effekte reproduzierbar werden sollen. Von Servan-Schreiber und Anderson (1990) wurde ein Modell vorgestellt, das in Anlehnung an Miller (1956) die impliziten Effekte bei Zulässigkeitsurteilen durch die Zusammenfassung von aufeinanderfolgenden Sequenzereignissen zu eigenständigen Wissensseinheiten erklärt. Cleeremans und McClelland (1991) haben gezeigt, daß die im Paradigma seriellen Reagierens festgestellten Effekte mit Hilfe sogenannter einfacher rekurrenter Netzwerke modellierbar sind. Theoretisch entspricht dies einem einfachen assoziativen Lernmechanismus, wie er auch von Frensch und Miner (1994) angenommen wird.

An den Vorstellungen von Frensch und Miner (1994) ist bemerkenswert, daß der strikt assoziative Mechanismus zur Erklärung der impliziten Effekte sowohl im Paradigma des Grammatiklernens als auch im Paradigma serieller Reaktionen herangezogen wird. Ausgangspunkt dieser Annahmen sind Vorstellungen von Cowan (1988, 1993) zur kognitiven Architektur: Funktional werden zwei Gedächtnissysteme unterschieden (Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis), die durch eine zentrale Instanz kontrolliert werden. Das Kurzzeitgedächtnis ist ähnlich den Vorstellungen von Anderson (1983) in der Form von aktivierten Teilen des Langzeitgedächtnisses konzipiert. Nur ein Teil der aktivierten Sektion entspricht dem Fokus der Aufmerksamkeit. Die zentrale Exekutive kontrolliert dabei sowohl die Inhalte des Kurzzeitgedächtnisses als auch den Fokus der

Aufmerksamkeit, indem die Aktivierung von Inhalten des Langzeitgedächtnisses manipuliert wird.

Die für implizites Lernen verantwortliche Assoziation von kognitiven Elementen kann sowohl innerhalb als auch außerhalb des Aufmerksamkeitsfokusses stattfinden. Die zentrale Instanz hat darauf keinen Einfluß. Für das Paradigma seriellen Reagierens konnten Frensch und Miner (1994) Befunde präsentieren, die im Sinne dieser Annahmen eine Abhängigkeit der Lerneffekte von dem zeitlichen Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Ereignissen als auch von der individuell ermittelten Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses belegten.

Fragestellung und Überblick über Experimente

Im Rahmen eigener Untersuchungen (Müller, 1996; Müller & Funke, 1995) zur Komposition von Wissen über Bediensequenzen hat sich gezeigt, daß die Annahmen von Servan-Schreiber und Anderson (1990) zur Erklärung der Grammatikalitätseffekte bei der Verwendung von Buchstabenfolgen auf den Bereich von Wissen im Umgang mit endlichen Automaten übertragen werden können. Dazu wurde analog zum Paradigma des Grammatiklernens bei Buchstabenfolgen das inzidentelle Memorieren von Sequenzen von Bedienoperationen und nachfolgend die Beurteilung von Bediensequenzen eingesetzt. In Übereinstimmung mit der Theorie zum „competitive chunking“ zeigten sich umso niedrigere Ablehnungsquoten in der Urteilsphase, je mehr oder häufiger die beteiligten Sequenzelemente erlebt wurden.

Als Besonderheit von Bediensequenzen hat sich ergeben, daß Verletzungen der grammatischen Struktur am Ende der Sequenzen stärker auffallen als solche am Anfang. In weiteren Untersuchungen (Müller, 1996) konnte gezeigt werden, daß es sich dabei in erster Linie um den Einfluß zeitlich vorübergehender Verfügbarkeit der sequentiellen Information in der Diskriminationsphase handelt. In Verbindung mit der Simulation dieser Befunde (Müller, eingereicht) hat sich verdeutlicht, daß die zur Erklärung der Effekte angenommene Bildung von Kompositionen (Chunks) nicht automatisch stattzufinden scheint, sondern die Reproduktion der Sequenzen in der vorausgehenden Memorierphase voraussetzt.

Diese Interpretation der eigenen Befunde paßt sehr gut zu den Ergebnissen von Dienes et al. (1995) sowie Gomez und Schvaneveldt (1994), wonach die über Zulässigkeitsurteile im Paradigma des Grammatiklernens ermittelten Lerneffekte zumindest in hohem Maße Anteile reflektieren, die über (nicht bewußte) Assoziationen hinausgehen. Daraus ergibt sich die Frage, ob die (impliziten) Effekte in den verschiedenen Paradigmen auf einen gemeinsamen Lernmechanismus zurückgeführt werden können.

Dieser Frage wurde in den vorliegenden Experimenten dadurch nachgegangen, daß im konzeptuellen Rahmen der Theorie finiter Automaten (zur Anwendung dieser Konzeption in der Problemlöseforschung vgl. Funke & Buchner, 1992) Bedingungen geschaffen wurden, durch die Lern- und Testformen beider Paradigmen unabhängig voneinander kombinierbar wurden: In Anlehnung an die bereits durchgeführten Untersuchungen (Müller, 1996; Müller & Funke, 1995) wurde die Memorierphase beim inzidentellen Erwerb von Grammatikwissen dadurch realisiert, daß als zu reproduzierende Sequenzen Abfolgen von Eingaben in einen abstrakten Automaten vorgegeben wurden. Die Menge der vorgegebenen Sequenzen war auf der Basis einer endlichen Grammatik konstruiert worden. Die sich im Paradigma des Grammatiklernens an die Memorierphase anschließende Diskriminationsphase wurde dadurch umgesetzt, daß Vpn nach Vorführung einer Abfolge von Eingaben aufgefordert wurden, intuitiv zu entscheiden, ob diese Abfolge einer eventuell wahrgenommenen Systematik entsprach.

Die zum Paradigma seriellen Reagierens analoge Lern- sowie Testform wurde dadurch realisiert, daß die in der Memorierphase zu reproduzierenden Folgen von Eingaben nicht vorgeführt, sondern zur sofortigen Reaktion einzeln angezeigt wurden. Um im Sinne der Konzeption von Frensch und Miner (1994) die zu erwartenden impliziten Effekte in den Realisierungen der beiden Paradigmen möglichst gleich zu halten, wurden die Abfolgen der einzeln angezeigten Eingaben in der Lernphase mit der Häufigkeit wiederholt, die im Durchschnitt zur erfolgreichen Reproduktion der gesamten Abfolge in der Memorierbedingung nötig ist. In Anlehnung an die theoretische Analyse von Keele und Jennings (1992) zum impliziten Lernen serieller Ereignisse ergeben sich als Unterschiede zwischen den üblichen Bedingungen in seriellen Reaktionsaufgaben und der vorliegenden Variante, daß (1) die Sequenzierung der Ereignisse vorgegeben ist; außerdem ist (2) durch die perzeptuellen Unterschiede innerhalb der Ereignisse einer Sequenz eine Binnenstrukturierung vorgegeben. Es wird davon ausgegangen, daß diese Maßnahmen das Erfassen der Struktur einzelner Sequenzen generell erleichtern und damit die Voraussetzungen verbessern, daß die grammatische Struktur erlernt wird. Die Wirksamkeit der in diesem Paradigma anzunehmenden Lernprozesse sollte dadurch noch verstärkt werden.

In Experiment 1 wurde erfaßt, welchen Einfluß die Lernform (Memorieren versus serielles Reagieren) auf den Grammatikalitätseffekt bei Zulässigkeitsurteilen hat. Die Effektmessung erfolgte abweichend zu den üblicherweise verwendeten Indikatoren Trefferrate oder Ablehnungsquote im Rahmen eines Modells zwei hoher Schwellen (zur Analyse von Rekognitionsurteilen vgl. Bredenkamp & Erdfelder, 1996; Snodgrass &

Corwin, 1988). Auf diese Weise können die Sensitivität gegenüber der Grammatik und die Antworttendenz unabhängig voneinander erfaßt werden. In Experiment 2 wurde der Einfluß der Lernform auf den Grammatikalitätseffekt erfaßt, wenn statt der Zulässigkeitsurteile in der Testphase auf angezeigte Sequenzelemente lediglich zu reagieren war. Die Effektmessung erfolgte entsprechend der üblichen Erfassung durch den Vergleich von Reaktionszeiten für grammatikkonforme gegenüber grammatik-nichtkonformen Übergängen. In Experiment 3 wurde erfaßt, welche Reaktionszeitunterschiede zwischen diesen Übergängen resultieren, wenn in der Lernphase keine grammatisch strukturierten Sequenzen zu bearbeiten waren.

Experiment 1:

Zulässigkeitsurteile in Abhängigkeit von der Lernbedingung

Methode

Versuchsplan

Das Experiment bestand aus einer Lernphase und einer anschließenden Testphase. Als *unabhängige Variable* wurde zwischen Versuchspersonen die Lernbedingung variiert („Memorieren“ versus „Seriellles Reagieren“). In der Memorierbedingung mußten auf einem Computerbildschirm vorgeführte Sequenzen von Bedienoperationen zweimal richtig reproduziert werden. In der Bedingung „Seriellles Reagieren“ sollten auf dem Computerbildschirm angezeigte Tastensymbole mit Hilfe eines Mauszeigers möglichst schnell „angeklickt“ werden. Die Abfolge der einzelnen Elemente der vorgeführten Sequenzen bzw. der direkt „anzuklickenden“ Tastensymbole war unter beiden Bedingungen entsprechend einer finiten Grammatik strukturiert, die von Servan-Schreiber und Anderson (1990, Experiment 2) entwickelt wurde. In der Testphase wurde unter beiden Bedingungen verlangt, daß vorgeführte Sequenzen von Bedienoperationen danach beurteilt wurden, ob sie einer eventuell wahrgenommenen Systematik entsprachen. Der Grammatikalitätsstatus der Sequenzen (grammatisch versus nicht-grammatisch) als zweite unabhängige Variable stellt einen Meßwiederholungsfaktor dar.

Als *abhängige Maße* wurden die Antwortkategorie („Ja“ versus „Nein“) sowie die Zeiten für die Beantwortung der Frage nach der Zulässigkeit erfaßt.

Versuchsmaterial

Als „Bedienoberfläche“ eines abstrakten Automaten wurden auf dem Bildschirm eines Macintosh SE Computers drei visuell gut unterscheidbare Bereiche dargestellt (Abb. 1), die jeweils sieben Zeilen mit drei nebeneinander angeordneten Tasten umfaßten. Die Aktivierung von Tasten eines Bereiches war mit einem für diesen Bereich spezifischen Ton verbunden.

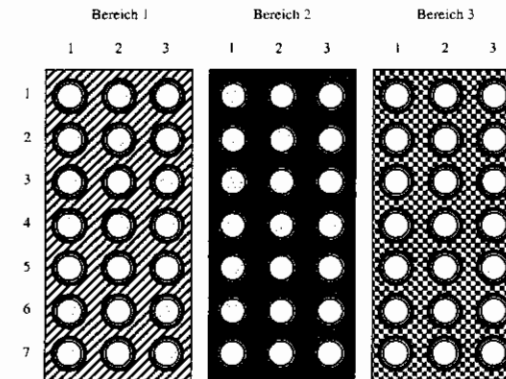


Abbildung 1: „Bedienoberfläche“ des abstrakten Automaten. Die Numerierung der Spalten und Zeilen war für die Versuchspersonen nicht sichtbar.

Die grammatische Struktur der Sequenzen ist in Abbildung 2 dargestellt. Sie entspricht der, die Servan-Schreiber und Anderson (1990) in ihrem Experiment 2 genutzt haben.

Für jeden der drei Bereiche der Bedienoberfläche wurden drei verschiedene Klassen von paarweisen Tastenabfolgen gebildet (Tab. 1). Die Paare einer Klasse unterschieden sich lediglich durch die zweite Taste.

Die Sequenzen, deren Elemente entweder nur aus Tastenpaaren der Klasse I oder der Klasse II der jeweiligen Bereiche (1–3) bestehen, werden als Grundtypen bezeichnet und wurden nur in der Diskriminationsphase eingesetzt. Die *Sequenzen der Memorierphase* wurden dadurch erstellt, daß bei diesen $2 \times 2^3 = 16$ Sequenzen aus Tastenpaaren der Klasse I sowie der Klasse II entweder das erste, zweite oder dritte Tastenpaar durch ein Paar aus der Klasse III ersetzt wurde. So wurde z. B. aus der

Grundtypsequenz „1 2 – 3 1, 2 3 – 3 2, 2 2 – 3 1“
 durch Ersetzung des Anfangspaares „2 4 – 3 2, 2 3 – 3 2, 2 2 – 3 1“,
 durch Ersetzung des mittleren Paares „1 2 – 3 1, 1 4 – 3 3, 2 2 – 3 1“ und
 durch Ersetzung des Endpaares „1 2 – 3 1, 2 3 – 3 2, 1 4 – 2 3“.

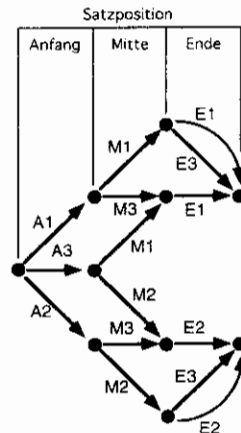


Abbildung 2: Grammatik der Buchstabenfolgen von Servan-Schreiber und Anderson (1990, Experiment 2). Jedes Symbol der Satzpositionen (A1–A3, M1–M3, E1–E3) konnte durch zwei verschiedene Buchstabenpaare („Worte“) instantiiert werden, so daß durch die Grammatik 64 verschiedene Buchstabenfolgen generierbar sind.

Tabelle 1: Angaben zu den Tastenpaaren, nach Bereichen und Klassen getrennt. Die einzelnen Tasten sind als Kombination aus Spalte und Zeile eines Bereiches des in Abbildung 1 dargestellten Displays angegeben.

Klasse	Bereich		
	1 (Anfang)	2 (Mitte)	3 (Ende)
I	1 2 – 3 1	2 3 – 3 2	2 2 – 3 1
	1 2 – 3 3	2 3 – 3 5	2 2 – 3 3
II	1 6 – 3 5	2 5 – 3 3	2 6 – 3 5
	1 6 – 3 7	2 5 – 3 6	2 6 – 3 7
III	2 4 – 3 2	1 4 – 3 3	1 4 – 2 3
	2 4 – 3 6	1 4 – 3 5	1 4 – 2 5

Insgesamt ergeben sich aus diesem Konstruktionsprinzip $16 \times 3 = 48$ Sequenzen, die einzeln vorgegeben wurden. Bei der Abfolge der Sequenzen wurde analog zum Originalexperiment berücksichtigt, daß jeweils drei aufeinanderfolgende Sequenzen aus verschiedenen Tastenpaaren bestanden *und* ein und dasselbe Tastenpaar innerhalb von sechs aufeinanderfolgenden Sequenzen nur einmal wiederholt wurde. Diese kombinatorischen

Beschränkungen wurden dadurch realisiert, daß bei jeweils drei aufeinanderfolgenden Sequenzen neben den Tastenpaaren der Klasse III an der ersten, zweiten oder dritten Position an den jeweils verbleibenden Positionen entweder nur Tastenpaare aus der Klasse I der jeweiligen Position oder nur Tastenpaare der Klasse II der jeweiligen Position vorkamen. Innerhalb der einzelnen Versuchsbedingungen wurde je zur Hälfte variiert, ob bei sechs aufeinanderfolgenden Sequenzen zunächst drei aus Tastenpaaren der Klassen I und III und anschließend drei aus Tastenpaaren der Klassen II und III zu bearbeiten waren oder umgekehrt.

Als Sequenzen der Diskriminationsphase wurden zum einen die Grundtypsequenzen als neue grammatische Sequenzen (NG) vorgegeben, die bis dahin unbekannt waren. Als nicht grammatische Sequenzen wurde solche vorgegeben, bei denen das Anfangspaar, das mittlere Paar (EM) oder das Endpaar (EE) eines Grundtyps (alle drei Paare stammen aus Klasse I oder Klasse II) durch ein entsprechendes Paar des anderen Grundtyps ersetzt wurde. So wurde z. B. aus der

Grundtypsequenz „1 2 – 3 1, 2 3 – 3 2, 2 2 – 3 1“
 durch Ersetzung des Anfangspaares (EA) „1 6 – 3 5, 2 3 – 3 2, 2 2 – 3 1“,
 durch Ersetzung des mittleren Paares (EM), „1 2 – 3 1, 2 5 – 3 3, 2 2 – 3 1“ und
 durch Ersetzung des Endpaares (EE) „1 2 – 3 1, 2 3 – 3 2, 2 6 – 3 5“.

Ebenfalls analog zu Experiment 2 von Servan-Schreiber und Anderson (1990) wurden in der Diskriminationsphase die neuen grammatischen Sequenzen zweimal, die anderen Sequenzen nur einmal dargeboten, so daß 32 neue grammatische und jeweils 16 der drei Mischtypen zur Beurteilung vorgegeben wurden. Die Abfolge der Sequenzen war in zwei Blöcke unterteilt, die jeweils die gleichen Anteile an neuen grammatischen Sequenzen und den verschiedenen Mischtypen aufwiesen. Innerhalb der Blöcke wurde die Reihenfolge der Sequenzen konstant gehalten und so systematisiert, daß innerhalb von fünf aufeinanderfolgenden Sequenzen zwei Sequenzen des Grundtyps (NG) und jeweils eine Sequenz der verschiedenen Mischtypen (EA, EM oder EE) zu bearbeiten waren.

Hypothesen

Wenn entsprechend den Vorstellungen von Frensch und Miner (1994) die assoziative Verknüpfung aufeinanderfolgender Elemente in beiden Paradigmen für die impliziten Effekte verantwortlich sind *und* lediglich von deren gemeinsamer Aktivierung im Arbeitsgedächtnis bzw. Kurzzeitspeicher abhängen *und* die Anzahl von Sequenzwiederholungen in der Lernbedingung „Seriell reagieren“ ausreichend ist, um implizite Lerneffekte hervorzurufen, ist zu erwarten, daß für beide experimentelle

Gruppen die Zulässigkeitsurteile überzufällig oft im Sinne der Grammatik ausfallen. Wenn darüber hinaus die Anzahl der Sequenzwiederholungen in der Lernbedingung „Seriell Reagieren“ hinsichtlich der Aktivierungswirkung mit der durchschnittlichen Wiederholungshäufigkeit in der Lernbedingung „Memorieren“ äquivalent ist, sollten die Diskriminationsleistungen für beide Bedingungen gleich groß sein.

Inferenzstatistisch werden die Hypothesen dadurch getestet, daß die Zulässigkeitsurteile in der Diskriminationsphase im Rahmen eines Modells mit zwei hohen Schwellen analysiert werden (vgl. Snodgrass & Corwin, 1988). Dabei wird angenommen, daß mit der Wahrscheinlichkeit P_c erkannt wird, daß eine grammatische Sequenz grammatisch und eine nicht-grammatische nicht grammatisch ist. Diese Wahrscheinlichkeit wird als Differenz zwischen der Trefferrate und der Rate falscher Alarme ermittelt. Als Vorteil gegenüber üblicherweise verwendeten Indizes kann unabhängig von dieser Sensitivität gegenüber der grammatischen Struktur die Antworttendenz (B_c) erfaßt werden. Die entsprechende Wahrscheinlichkeit, zufällig das Urteil „zulässig“ abzugeben, wird als Anteil der Rate falscher Alarme an der Rate von Fehlurteilen geschätzt.

Im Rahmen des vorliegenden Experiments wurden die entsprechenden Parameter (P_c , B_c) mit Hilfe einer multinomialen Analyse (vgl. Hu & Batchelder, 1994; Riefer & Batchelder, 1988) geschätzt, die neben Erwartungswerten für die Parameter auch Konfidenzintervalle liefert. Ob die Sensitivität bedeutsam von Null verschieden ist, kann dann dadurch festgestellt werden, daß der für die Modellgeltung bei Restriktion des Sensitivitätsparameters auf Null resultierende Divergenzwert (G^2) signifikant größer ausfällt als der bei einem Freiheitsgrad und dem gewählten Signifikanzniveau kritische χ^2 -Wert. Dies entspricht der Feststellung, daß Null außerhalb des Konfidenzintervalls liegt, das für diesen Parameter geschätzt wurde. Die Ausprägung der Sensitivität kann zwischen den beiden Gruppen in einer gemeinsamen Analyse dadurch getestet werden, daß der Sensitivitätsparameter gleich gesetzt und unter dieser Restriktion die Modellgeltung bei einem Freiheitsgrad überprüft wird.

Versuchspersonen

Als Versuchspersonen (Vpn) nahmen 7 männliche und 17 weibliche Studierende der Psychologie an der Universität Bonn teil, die zwischen 19 und 32 Jahren ($M = 25.33$, $SD = 5.37$) alt waren. Für die Teilnahme erhielten die Vpn DM 10,- oder eine für das Studium notwendige Bescheinigung.

Aufgrund der 48fachen Meßwiederholung (32 grammatische und 16 agrammatische Sequenzen) kann bei 12 Vpn pro Gruppe ($N = 12 \times 48 =$

576) mit $\alpha = \beta = .05$ und einem Freiheitsgrad ein Effekt von $w = .15$ aufgedeckt werden. Das entspricht einem kleinen bis mittleren Effekt gemäß der Konvention von Cohen (1988), so daß die Sensitivität unserer Methode ausreichend erscheint.

Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde computergestützt in Einzelsitzungen durchgeführt. Nach einer einführenden Instruktion erhielten die Vpn zunächst Gelegenheit, sich im Rahmen von zwei Übungssequenzen an die Versuchsumgebung sowie die Computermaus als Zeigeinstrument zu gewöhnen. In der sich anschließenden *Lernphase* wurde in der analog zum Grammatiklernen gestalteten Bedingung verlangt, daß einzeln vorgeführte Sequenzen zweimal richtig reproduziert wurden. Nach einem Eingabeversuch wurde der Vp die Anzahl sowie der Prozentanteil der richtigen Eingaben mitgeteilt. In der analog zum seriellen Reagieren gestalteten Bedingung wurde verlangt, ein auf dem Bildschirm durch einen Hinweiszeiger angezeigtes Tastensymbol so schnell wie möglich anzuklicken. Nach einer Sequenz von jeweils sechs Reaktionen wurde die mittlere Reaktionszeit zurückgemeldet. Die einzelnen Sequenzen wurden in dieser Bedingung viermal wiederholt. Dies entspricht der durchschnittlichen Anzahl von Wiederholungen, die in vorhergehenden Experimenten benötigt wurden, um unter vergleichbaren Bedingungen das Lernkriterium zu erfüllen (vgl. Müller, 1996).

In der *Testphase* wurde darauf hingewiesen, daß die vorgeführten Sequenzen bzw. die ausgeführten Reaktionen nicht zufällig, sondern systematisch strukturiert waren. Die Vpn wurden aufgefordert, im folgenden vorgeführte Sequenzen von sechs Eingaben danach zu beurteilen, ob sie dieser Systematik entsprachen. Sie wurden ausdrücklich ermuntert, bei Unwissen oder Unklarheit „intuitiv“ zu entscheiden.

Ergebnisse

Lernphase

In Abbildung 3 ist die mittlere Anzahl der Reproduktionsversuche in der Memorierbedingung abgebildet. Die Angaben sind jeweils über vier aufeinanderfolgende Sequenzen zusammengefaßt (48 Sequenzen / 4 = 12 Blöcke). Direkt auf der Abzisse sind die Standardfehler abgetragen.

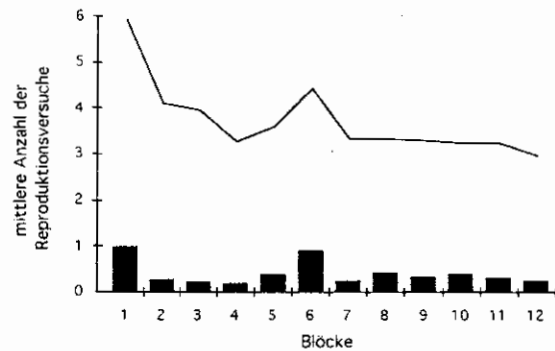


Abbildung 3: Mittlere Anzahl der Reproduktionsversuche und Standardfehler in der Memorierbedingung, jeweils vier Sequenzen wurden zu einem Block zusammengefaßt.

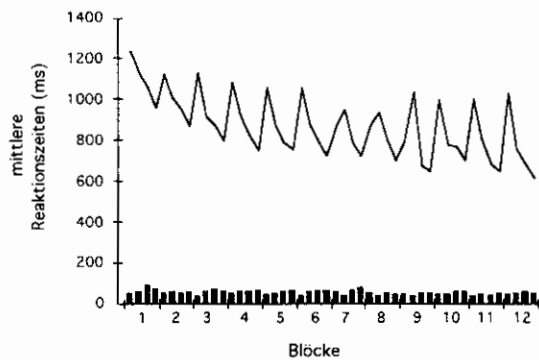


Abbildung 4: Mittlere Latenzzeiten und Standardfehler in der Lernphase der seriellen Reaktionsbedingung. Ein Block repräsentiert die vier Wiederholungen einer Sequenz, die Werte sind jeweils über vier Sequenzen aggregiert.

Als genereller Trend zeigt sich, daß die Anzahl der Reproduktionsversuche mit zunehmender Wiederholung abnimmt. Allerdings ist der Wert für den ersten und den sechsten Block deutlich höher ausgeprägt. Dieser Effekt geht auf extreme Werte einer Versuchsperson zurück. Dadurch ergeben sich auch die für diese Blöcke deutlich erhöhten Standardfehler.

In Abbildung 4 sind die mittleren Latenzzeiten für die Bedingung „Seriell Reagieren“ angegeben. Die Werte wurden ebenfalls für jede Sequenzwiederholung über jeweils vier aufeinanderfolgende Sequenzen zu

Tabelle 2: Ablehnungsquoten (%) in der Diskriminationsphase, nach Sequenztyp (NG versus EM) und Lernbedingungen („Memorieren“ versus „Seriell Reagieren“) getrennt.

Lernbedingung	Sequenztyp	
	NG	EM
Memorieren	37.0 (6.47)	62.0 (7.59)
Seriell Reagieren	41.1 (5.74)	51.0 (7.53)

Anmerkung: NG = neue grammatische Sequenzen; EM = Sequenzen, bei denen das Mittelpaar ersetzt wurde. In Klammern sind Standardfehler angegeben.

12 Blöcken zusammengefaßt. Die Standardfehler sind ebenfalls direkt auf der Abzisse abgetragen.

Innerhalb jedes Blocks nehmen die Latenzzeiten mit zunehmender Wiederholung der Sequenzen ab, beim Übergang zu einer neuen Sequenz steigen sie dagegen wieder deutlich an. Damit zeigt sich ein klarer Lerneffekt innerhalb der Sequenzwiederholungen. Darüber hinaus zeigt sich ein genereller Lerneffekt: Zum einen nehmen über die Blöcke die Latenzzeiten für die erste Bearbeitung einer Sequenz ab, zum anderen werden über die Blöcke zunehmend geringere Niveaus nach viermaliger Sequenzwiederholung erreicht.

Testphase

In Tabelle 2 sind die Ablehnungsquoten jeweils nach Sequenztypen (NG, EM) und Lernbedingung („Memorieren“ versus „Seriell Reagieren“) getrennt angegeben. Die Daten zeigen deutlich, daß der Unterschied zwischen neuen grammatischen Sequenzen (NG) und den Sequenzen, bei denen das mittlere Eingabepaar ersetzt wurde (EM), dann größer ist, wenn in der Lernphase die Sequenzen memoriert werden mußten.

Für die Rekonstruktion der Diskriminationsurteile im Rahmen des Modells mit zwei hohen Schwellen zeigt sich, daß die Sensitivität der Gruppe mit Memorieraufgabe in der Lernphase gegenüber Verletzungen der grammatischen Struktur signifikant von Null verschieden ist (Null liegt außerhalb des Konfidenzintervalls). Für die andere Gruppe hingegen befindet sich Null innerhalb des Konfidenzintervalls des entsprechenden Parameters (siehe Abb. 5).

Die Gleichsetzung der Parameter für die beiden Gruppen in der multinomialen Analyse führt zu einer signifikanten Modellverletzung ($G^2(1) = 6.44$). Damit erweist sich auch der Unterschied in der Sensitivität zwischen den Gruppen als reliabel.

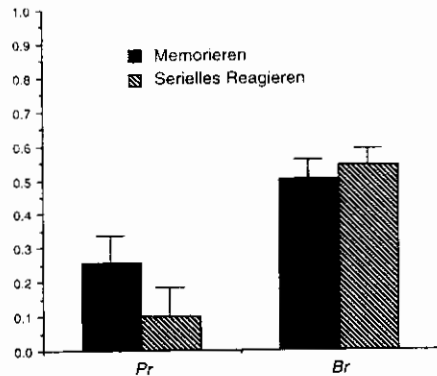


Abbildung 5: Geschätzte Parameter und 90%-Konfidenzintervalle für Sensitivität gegenüber Grammatikalitätsverletzungen (*P*,) und für Antworttendenzen (*B*,) in Anlehnung an das Two-High-Threshold Modell von Snodgrass und Corwin (1988). Die Angaben sind nach Lernbedingungen getrennt.

Diskussion

Die weitestgehende Integration der Paradigmen serieller Reaktionsaufgaben und des Lernens finiter Grammatiken als zwei wesentlichen Paradigmen zum impliziten Lernen sollte erlauben, die Vergleichbarkeit der angenommenen Prozesse direkt zu überprüfen. In einer vorhergehenden Lernphase waren entweder serielle Reaktionsaufgaben oder Memorieraufgaben zu bearbeiten, die jeweils klar erkennbar aus sechs Elementen bestanden. Die sechselementigen Sequenzen waren nach einer finiten Grammatik strukturiert.

Für die Lernphase zeigte sich in der Bedingung, die analog zum Grammatiklernen realisiert war, eine deutliche Verringerung der Anzahl von Reproduktionsversuchen. Für die Lernbedingung „Seriell Reagieren“ zeigte sich, daß die Reaktionszeiten im Verlaufe der vierfachen Sequenzwiederholungen deutlich abnahmen. Das Auftreten eines klaren Lerneffektes in der Lernphase bei vier Wiederholungen bestätigt, daß die Erfassung der sequentiellen Struktur im Rahmen des gewählten Paradigmas gewährleistet war. Trotz dieses offenkundigen Sequenzlernens konnten im Rahmen der Zulässigkeitsurteile nur geringfügige Diskriminationsleistungen festgestellt werden, die inferenzstatistisch nicht von Null verschieden waren. Im Unterschied dazu waren die Diskriminationsleistungen für die andere Lernbedingung deutlich von Null verschieden.

Dieses Befundmuster ist mit der Annahme eines Lernmechanismus, der in beiden Paradigmen gleichermaßen wirksam und für die impliziten Ef-

fekte verantwortlich ist, zunächst nicht zu vereinbaren. Im Sinne der Vorstellungen von Frensch und Miner (1994) könnte allerdings eingewandt werden, daß die Anzahl der Sequenzwiederholungen zu gering war, um zum einen überhaupt implizite Lerneffekte zu produzieren und zum anderen den für die Memorierbedingung geltenden Wiederholungen hinsichtlich der Aktivierungswirkung zu entsprechen. Auf der Basis der vorliegenden Befunde spricht gegen den ersten Teil des Einwands, daß die sequentiellen Abhängigkeiten in der Lernphase verhaltenswirksam geworden sind und damit offensichtlich erfaßt wurden. Um den zweiten Teil des Einwands zu entkräften, müßte in weiteren Untersuchungen die Anzahl der Sequenzwiederholungen erhöht werden. Allerdings muß dabei beachtet werden, in welchem Sinne die bei höheren Wiederholungsraten eintretenden Effekte noch als implizit zu bezeichnen sind.

Eine andere Erklärung für das Ausbleiben des Grammatikalitätseffektes für die Lernbedingung „Seriell Reagieren“ besteht darin, daß im Sinne einer transferangemessenen Verarbeitung angenommen wird, daß die Übereinstimmung zwischen den Bearbeitungsbedingungen in Lern- und Testphase für die experimentellen Gruppen sehr unterschiedlich ausgefallen ist: Für die Lernbedingung „Memorieren“ waren die Präsentationsbedingungen in Lern- und Testphase exakt identisch. In der Lernbedingung „Seriell Reagieren“ dagegen mußte in der Lernphase auf einzeln angezeigte Tastensymbole mit einem Mausklick reagiert werden, während in der Testphase eine Abfolge von sechs Mausklicks zu beobachten war. Die Aufgabenstellung in der Testphase war damit zwar nicht schwieriger als in der Lernphase, die zu beachtenden Informationsaspekte bzw. dabei auftretenden Verarbeitungsprozesse jedoch zu unterschiedlich, um das implizit erworbene Wissen wirksam werden zu lassen.

Damit wäre zwar das resultierende Wissen nicht in gleicher Form nutzbar bzw. nützlich, dessen Entstehung könnte jedoch nach wie vor aufgrund eines einfachen assoziativen Lernvorgangs konzipiert werden. Um dieser Möglichkeit nachzugehen, wurde Experiment 2 durchgeführt.

Experiment 2: Serielles Reagieren in Abhängigkeit von der Lernbedingung

In Experiment 2 wurden die Lernbedingungen aus Experiment 1 mit einer neuen Testbedingung kombiniert, die analog zum Paradigma des seriellen Reagierens konzipiert wurde. Damit sollte es möglich sein, die Annahme einer transferangemessenen bzw. -unangemessenen Verarbeitung als Erklärung für das Ausbleiben eines Grammatikalitätseffektes für die in Experiment 1 analog zum Paradigma seriellen Reagierens realisierte Lernbedingung zu prüfen.

Methode

Versuchsplan

Das Experiment bestand aus einer Lernphase und einer anschließenden Testphase. Als *unabhängige Variable* wurde zwischen den Versuchspersonen die Lernphase variiert („Memorieren“ versus „Seriell Reagieren“). Die Lernphase in beiden Bedingungen wurde entsprechend den Lernphasen in Experiment 1 gestaltet. In der Testphase hatten die Vpn unter beiden Bedingungen die Aufgabe, die auf dem Bildschirm angezeigten Positionen so schnell wie möglich anzuklicken („Seriell Reagieren“). Zwischen Versuchspersonen wurde weiterhin variiert, nach welcher von zwei Grammatiken die Sequenzen der Lern- und Testphase konstruiert worden waren. Die Einführung einer zweiten Grammatik diente dazu, den Einfluß der räumlichen Distanz auf die Reaktionszeiten zu kompensieren (näheres s. Abschnitt Versuchsmaterial). Die dritte Variable bestand im Sequenztyp (NG versus EM), der meßwiederholt auftrat.

Als *abhängige Variable* wurden in der Testphase Reaktionszeiten als Latenzzeiten zwischen Erscheinen des Hinweises und dem Anklicken des angezeigten Tastensymbols erfaßt. Grammatikalitätseffekte wurden als Differenz der durchschnittlichen Latenzzeiten für kritische Übergänge bei neuen grammatischen Sequenzen (NG) gegenüber nicht-grammatischen Sequenzen, bei denen das mittlere Eingabepaar ersetzt worden war (EM), erfaßt.

Versuchsmaterial

Das Versuchsmaterial wurde ebenfalls entsprechend des in Experiment 1 eingesetzten Prinzips konstruiert. Um den Einfluß der räumlichen Distanzen auf die Latenzzeiten auszugleichen, wurden zwei Varianten der Grammatik geschaffen. Während in Grammatik 1 mit den neuen grammatischen Sequenzen durchschnittlich eine kürzere Distanz verbunden war als mit den nicht-grammatischen Sequenzen, bei denen das mittlere Eingabepaar ersetzt worden war (EM), war diese Zuordnung von Distanz und Grammatikalität in Grammatik 2 genau entgegengesetzt. Das Konstruktionsprinzip für diese Varianten war folgendermaßen: Die Sequenzen der Grammatik 1 waren mit den in Experiment 1 eingesetzten identisch. Der Austausch der Zuordnung von Distanz und Sequenztyp wurde einfach dadurch realisiert, daß die Eingabepaare für den mittleren Bereich zwischen den Klassen I und II ausgetauscht wurden. Damit entsprachen neue grammatische Sequenzen (NG) der Grammatik 1 (z.B. 1 2 - 3 1, 2 3 - 3 2, 2 2 - 3 1; vgl. Tab. 1) nicht-grammatischen Sequenzen der Grammatik 2, bei denen das mittlere Eingabepaar ersetzt wurde (EM).

Hypothesen

Wenn die Anzahl von Sequenzwiederholungen in der Lernbedingung „Seriell Reagieren“ ausreichend ist, um implizite Lerneffekte hervorzurufen, dann sollte in diesem Experiment ein Grammatikalitätseffekt für die Lernbedingung „Seriell Reagieren“ beobachtet werden. Wenn darüber hinaus die Annahme der transferangemessenen Verarbeitung richtig ist, daß das Ausmaß der Übereinstimmung der relevanten Informationsaspekte bzw. Verarbeitungsprozesse in Lern- und Testphase für die Ausprägung des Grammatikalitätseffekts verantwortlich ist, *und* die Anzahl der Sequenzwiederholungen in der Lernbedingung „Seriell Reagieren“ hinsichtlich der Aktivierungswirkung mit der durchschnittlichen Wiederholungshäufigkeit in der Lernbedingung „Memorieren“ äquivalent ist, dann sollte für die Lernbedingung „Memorieren“ der Grammatikalitätseffekt kleiner ausfallen als für die Bedingung „Seriell Reagieren“. Im Sinne einer Treatmentkontrolle wird erwartet, daß die räumliche Distanz die Reaktionszeiten beeinflusst.

Inferenzstatistisch kann der Grammatikalitätseffekt für die einzelnen Bedingungen im Rahmen einer dreifaktoriellen Varianzanalyse (Lernbedingung, Grammatik, Sequenztyp) mit Meßwiederholung für den Faktor Sequenztyp geprüft werden. Die Werte für die beiden relevanten Sequenztypen werden mit Hilfe geplanter Kontraste als *t*-Statistik auf ihre Signifikanz geprüft. Für den Vergleich zwischen den Bedingungen ist die Interaktion zwischen Lernbedingung und Sequenztyp relevant, die aufgrund der Gerichtetheit der Hypothese ebenfalls als *t*-Statistik einseitig zu testen ist. Der Einfluß der räumlichen Distanz auf die Latenzzeiten wird durch die Interaktion zwischen Grammatik und Sequenztyp sichtbar.

Versuchspersonen

Als Vpn nahmen 13 weibliche und 11 männliche Studierende der Psychologie an der Universität Bonn teil, die zwischen 18 und 30 Jahren ($M = 23.83$; $SD = 3.95$) alt waren.

Für ihre Teilnahme erhielten sie DM 10,— oder eine für das Studium notwendige Bescheinigung. Die Anzahl von 12 Vpn pro Bedingung entspricht der im ersten Experiment. Damit sollte eine vergleichbare Reliabilität der Effekte in beiden Experimenten gewährleistet werden.

Für die Analyse der Teststärke im Rahmen geplanter Kontraste ergibt sich dabei folgendes: Bei 12 Vpn pro Gruppe kann im Rahmen eines *t*-Tests mit $\alpha = \beta = .05$ ein Effekt von $d = 2.05$ aufgedeckt werden. Pro Vp wird der Effekt 16fach wiederholt gemessen, da 16mal die Differenz zwischen den Latenzzeiten bei zwei neuen grammatischen und einer agrammatischen Sequenz in den pro Vpn aggregierten Wert einfließt. Un-

ter der Annahme normalverteilter Werte bedeutet das eine auf 1/16 reduzierte Varianz der Werte. Damit entspricht auf der Ebene der einzelnen Beobachtungen der Effekt $d = 2.05 / 4 = .5125$, so daß gemäß der Konvention von Cohen (1988) bei dem gewählten Fehlerniveau bei einer Teststärke $(1 - \beta) = .95$ ein mittlerer Effekt aufgedeckt werden kann.

Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde computergestützt in Einzelsitzungen durchgeführt. Nach einer einführenden Instruktion erhielten die Vpn zunächst Gelegenheit, sich im Rahmen von zwei Übungssequenzen an die Versuchsumgebung sowie die Computermouse als Zeigeinstrument zu gewöhnen. Die Gestaltung der *Lernphase* beider Bedingungen entsprach der aus Experiment 1.

In der *Testphase* wurde darauf hingewiesen, daß im folgenden einzelne Tastensymbole angezeigt werden, die so schnell wie möglich anzuklicken sind. Nach jeder Sequenz wurde die mittlere Reaktionszeit zurückgemeldet.

Ergebnisse

Lernphase

In Abbildung 6 ist die mittlere Anzahl der Reproduktionsversuche in der Memorierbedingung abgebildet. Die Angaben sind zusammengefaßt in 12 Blöcke à vier Sequenzen. Direkt auf der Abzisse sind die zugehörigen Standardfehler abgetragen.

Die Anzahl der Reproduktionsversuche nimmt über die Blöcke ab. Dadurch ist ein klarer Lerneffekt ersichtlich. Die Standardfehler sind unabhängig davon, ob sie sich auf Sequenzreproduktionen in den ersten Blöcken oder solchen in späteren Blöcken beziehen.

In Abbildung 7 sind für die Bedingung „Seriellles Reagieren“ die mittleren Latenzzeiten abgebildet. Die Werte für die vier Wiederholungen einer Sequenz wurden über jeweils vier aufeinanderfolgende Sequenzen zu 12 Blöcken zusammengefaßt.

Wie in Experiment 1 ist auch hier innerhalb der Blöcke ein klarer Lerneffekt zu erkennen. Trotz des Anstiegens der Reaktionszeiten bei jeder neuen Sequenz wird ein genereller Lerneffekt über alle Blöcke hinweg an der Abnahme der minimalen Zeiten deutlich.

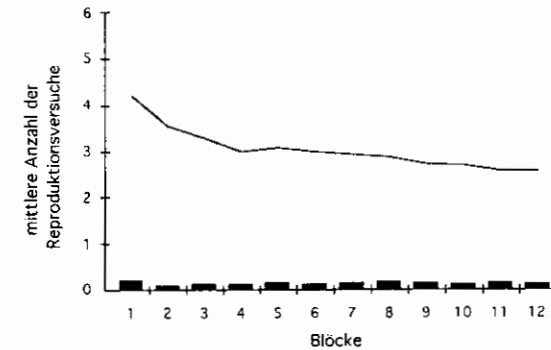


Abbildung 6: Mittlere Anzahl der Reproduktionsversuche und Standardfehler in der Memorierbedingung, jeweils vier Sequenzen wurden zu einem Block zusammengefaßt.

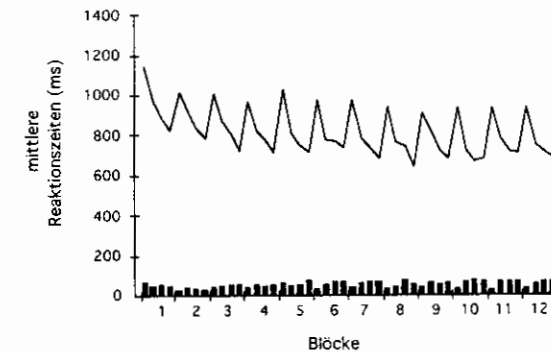


Abbildung 7: Mittlere Latenzzeiten und Standardfehler in der Lernphase der seriellen Reaktionsbedingung. Ein Block repräsentiert die vier Wiederholungen einer Sequenz, die Werte sind jeweils über vier Sequenzen aggregiert.

Testphase

In Abbildung 8 sind die mittleren Latenzzeiten (ms) mit 90%-Konfidenzintervallen für die neuen grammatischen (NG) und die nicht-grammatischen Sequenzen, bei denen das mittlere Eingabepaar ersetzt wurde (EM), nach Lernbedingungen („Memorieren“ versus „Seriellles Reagieren“) getrennt dargestellt.

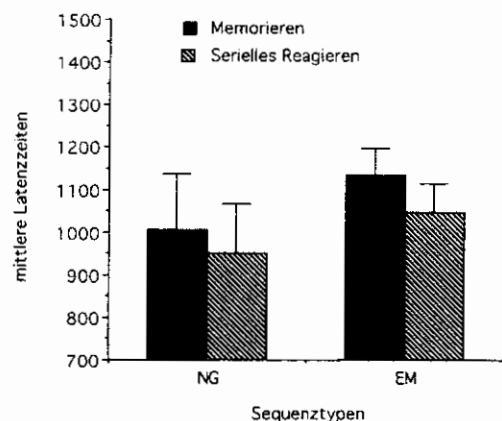


Abbildung 8: Mittlere Latenzzeiten und 90%-Konfidenzintervalle in der Testphase für neue grammatische Sequenzen (NG) und nicht-grammatische Sequenzen, bei denen das Mittelpaar ersetzt wurde (EM). Die Werte sind nach den Lernbedingungen getrennt.

Sowohl für die Memorierbedingung als auch für die Bedingung, in der in beiden Phasen seriell zu reagieren war, zeigte sich ein Grammatikalitätseffekt („Memorieren“: $t(10) = 3.35$; „Serielles Reagieren“: $t(10) = 2.89$), der mit den Bedingungen nicht im Sinne der Transferangemessenheit interagiert ($t(20) < 1$). Der Effekt der räumlichen Distanz (Interaktion von Sequenztyp und Grammatik) ist in beiden Bedingungen im Sinne der Hypothesen signifikant ($t(10) = 8.59$ bzw. 4.20), d.h. die Reaktion erfolgt umso schneller, je kürzer die räumliche Distanz ist.

Diskussion

In Experiment 2 wurde untersucht, ob die in Experiment 1 gefundenen Unterschiede in der Sensitivität gegenüber Verletzungen der grammatischen Struktur von Sequenzen dadurch bedingt sind, daß das implizit erworbene Wissen nur dann nutzbar ist, wenn die relevanten Informationsaspekte bzw. Verarbeitungsprozesse in der Lern- und Testphase identisch sind. Dazu wurden die beiden Lernbedingungen aus Experiment 1 übernommen und als neue Testbedingung eingeführt, angezeigte Tastensymbole möglichst schnell anzuklicken (Paradigma „Serielles Reagieren“). Die Ersparniseffekte in der Lernphase bezüglich der Anzahl der Reproduktionsversuche bzw. der Latenzzeiten bei zunehmender Wiederholung der einzelnen Sequenzen entsprachen denen aus Experiment 1. Auch der über

alle Sequenzen hinweg geltende allgemeine Lerneffekt konnte erneut beobachtet werden.

Auf der Basis der durchschnittlichen Latenzzeiten für kritische Übergänge in der Testphase haben sich für *beide* Lernbedingungen signifikante Grammatikalitätseffekte gezeigt. Im Gegensatz zum Experiment 1 zeigte sich damit auch in der „gemischten“ Bedingung eine Sensitivität gegenüber der grammatischen Struktur. Dieser Befund spricht zunächst gegen die Annahme transferangemessener Verarbeitung. Zumindest das beim Memorieren erworbene Wissen scheint sich auch auf die Latenzzeiten auszuwirken, also auch für das serielle Reagieren nützlich bzw. nutzbar zu sein.

Dieses Befundmuster legt die Interpretation nahe, daß die für die Paradigmen geltenden Unterschiede in der Verarbeitungstiefe der sequentiellen Informationen die Grammatikalitätseffekte moderieren: Die Notwendigkeit der kurzzeitigen Speicherung unter der Lernbedingung „Memorieren“ führt zu einer vollständigen Repräsentation der einzelnen Sequenzen, während das bloße Reagieren aufgrund eines aktuellen Hinweises nur nach einer Vielzahl von Wiederholungen Beziehungen stiften dürfte, die mehr als zwei oder drei Elemente umfassen. Diese Interpretation entspricht sehr gut der Befundlage zur Basis von Zulässigkeitsurteilen im Paradigma des Grammatiklernens: Die Kenntnis paarweiser Assoziationen ist unzureichend, um Grammatikalitätseffekte zu erzeugen (Gomez & Schvaneveldt, 1994). Implizit erworbenes Grammatikwissen kann strategisch eingesetzt werden (Dienes et al., 1995).

Alternativ dazu könnte allerdings auch vermutet werden, daß das Ergebnis des zweiten Experimentes ein Artefakt der Testphase darstellt: Das Testmaterial setzt sich aus 32 neuen grammatischen und 16×3 nicht grammatischen Sequenzen zusammen. Dabei ist gewährleistet, daß der Grammatik entsprechende Übergänge zwischen Anfangs- und Mittelpaar der drei Eingabepaare einer Sequenz sowie Mittel- und Endpaar genauso häufig enthalten sind wie der Grammatik nicht entsprechende Übergänge. Bei einer ganzheitlichen oder einer bestimmte Positionen fokussierenden Repräsentation der Sequenzen ergeben sich jedoch Verzerrungen dieser Ausgeglichenheit grammatischer und nicht-grammatischer Sequenzen. Für die ganzheitliche Repräsentation ergeben sich z.B. für die in der Analyse berücksichtigten neuen grammatischen Sequenzen ($n = 32$) und solchen, bei denen das mittlere Eingabepaar ersetzt wurde ($n = 16$), ein Verhältnis von 2:1. Damit könnten die Effekte eventuell nicht den Einfluß der Lernphase, sondern einen spezifischen Aspekt des Testmaterials reflektieren.

Um dieser Erklärung nachzugehen, wurde in einem weiteren Experiment eine Kontrollbedingung realisiert, bei der die Lernphase durch ein

Maustraining ersetzt wurde und in der Testphase die gleichen Sequenzen wie in den vorhergehenden Experimenten analog zum Paradigma „Seriell-les Reagieren“ bearbeitet werden mußten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden im folgenden dargestellt.

Experiment 3: Serielles Reagieren ohne Lernphase

Methoden

Versuchsplan

Das Experiment bestand in Anlehnung an die beiden vorherigen Experimente aus zwei Phasen und diente als Kontrolle der Lernleistung in der Testbedingung des seriellen Reagierens. Die *Lernphase* der vorherigen Experimente wurde durch ein Maustraining ersetzt, indem zwar ebenfalls angezeigte Tastensymbole anzuklicken waren. Die Abfolge der Symbole stand jedoch in keiner Beziehung zu der grammatischen Struktur, die in der Testphase genutzt wurde. Die Testphase wurde aus Experiment 2 übernommen. Als *unabhängige Variablen* dienten die Grammatik (Grammatik 1 versus Grammatik 2), nach der die Sequenzen der Testphase konstruiert waren, sowie der Sequenztyp (NG versus EM), der wiederum meßwiederholt variiert wurde.

Als *abhängige Variable* wurden die Reaktionszeiten als Latenzzeiten zwischen Erscheinen des Hinweises und dem Anklicken des angezeigten Tastensymbols erfaßt. Zur Abschätzung eines Grammatikalitätseffektes wurden wiederum die durchschnittlichen Werte dieser Zeiten für die kritischen Übergänge zwischen grammatischen und nicht-grammatischen Sequenzen verglichen.

Versuchsmaterial

In der Phase *Maustraining* befanden sich die anzuklickenden Tastensymbole ausschließlich in der mittleren Reihe der Tastenfelder. Insgesamt waren 48 Sequenzen zu bearbeiten. Die Sequenzen der *Testphase* waren analog zu Experiment 2 konstruiert.

Hypothesen

Wenn es sich bei den in Experiment 2 gefundenen Effekten um Effekte der Lernphase handelt, sollte ein Distanzeffekt (Interaktion zwischen Sequenztyp und Grammatik, s.o.), jedoch kein Grammatikalitätseffekt beobachtet werden.

Inferenzstatistisch können die Effekte im Rahmen einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Meßwiederholung durch geplante Kontraste über *t*-Tests geprüft werden (s.o.).

Versuchspersonen

Als Vpn nahmen acht weibliche und vier männliche Studierende an der Universität Bonn teil, die zwischen 19 und 51 Jahren ($M = 33.00$, $SD = 10.34$) alt waren. Für ihre Teilnahme erhielten die Vpn DM 10,— oder eine für das Studium notwendige Bescheinigung. Die Reliabilität der Effektmessungen ist damit zu den anderen Experimenten vergleichbar (s.o.).

Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde computergestützt in Einzelsitzungen durchgeführt. Nach einer einführenden Instruktion erhielten die Vpn zunächst Gelegenheit, sich im Rahmen von zwei Übungssequenzen an die Versuchsumgebung sowie die Computermaus als Zeigeinstrument zu gewöhnen. Die sich anschließende *erste* Phase des Kontrollexperimentes unterschied sich nicht von den ersten beiden Übungssequenzen. Nach jeder Sequenz wurde die durchschnittliche Reaktionszeit rückgemeldet, gleichzeitig wurden die Versuchspersonen dazu aufgefordert, weiterhin möglichst schnell zu arbeiten. Die einzelnen Sequenzen wurden analog zu Experiment 1 und 2 viermal dargeboten, so daß insgesamt 48×4 Sequenzen à 6 Eingaben zu bearbeiten waren.

Die Testphase wurde analog zu Experiment 2 gestaltet.

Ergebnisse und Diskussion

Die mittlere Latenzzeit betrug für den Sequenztyp NG 1144 ms und für den Sequenztyp EM 1183 ms. Daraus ergibt sich ein Mittelwertsunterschied von weniger als 40 ms, der im Sinne eines Grammatikalitätseffektes nicht reliabel ist ($t(10) = 1.32$). Erwartungsgemäß zeigte sich wiederum der Distanzeffekt als Interaktion zwischen Sequenztyp und Grammatik ($t(10) = 6.53$, vgl. Abb. 9).

Damit hat sich bestätigt, daß die in Experiment 2 gefundenen Grammatikalitätseffekte einen Einfluß der Lernphase reflektieren und nicht lediglich durch spezifische Materialaspekte der Testphase entstanden sind.

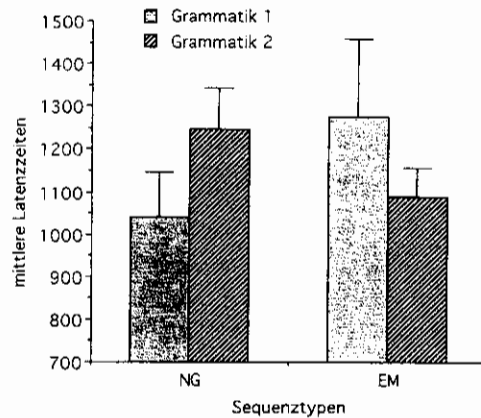


Abbildung 9: Mittlere Latenzzeiten und 90%-Konfidenzintervalle in der Testphase für neue grammatische Sequenzen (NG) und nicht-grammatische Sequenzen, bei denen das Mittelpaar ersetzt wurde (EM). Die Werte sind nach Grammatiken getrennt.

Abschließende Diskussion und Ausblick

Die weitestgehende Integration der Paradigmen serieller Reaktionsaufgaben und des Lernens finiter Grammatiken als zwei wesentlichen Paradigmen zum impliziten Lernen sollte erlauben, die Vergleichbarkeit der angenommenen Lernprozesse und der sich daraus ergebenden Wissensformen direkt zu überprüfen. Die dazu durchgeführten Experimente unterteilten sich jeweils in zwei Phasen. In einer Lernphase waren entweder vorgegebene Sequenzen zu memorieren (Grammatiklernen) oder auf einzeln vorgegebene Hinweise unmittelbar zu reagieren (Seriell Reagieren). Die sechselementigen Sequenzen waren auf der Basis einer finiten Grammatik konstruiert und unter beiden Bedingungen identisch. In der Testphase von Experiment 1 wurden Zulässigkeitsurteile analog zum Paradigma des Grammatiklernens erhoben. In Experiment 2 wurde in der Testphase analog zum Paradigma seriellen Reagierens lediglich verlangt, angezeigte Tastensymbole möglichst schnell anzuklicken.

Für die Lernphasen beider Experimente zeigte sich, daß in der Memorierbedingung die Anzahl der Reproduktionsversuche über alle Sequenzen hinweg abnahm. In der Lernbedingung „Seriell Reagieren“ reduzierten sich im Verlauf der jeweils vierfachen Wiederholung einer Sequenz die mittleren Latenzzeiten für die Eingaben, d. h. die sequentiellen Abhängigkeiten wurden verhaltenswirksam. Daß dieser klare Lerneffekt schon

bei vier Wiederholungen eintritt, bestätigt, daß die Erfassung der sequentiellen Struktur im Rahmen des gewählten Paradigmas sehr einfach war. Damit sollten die Voraussetzungen erfüllt sein, daß der von Frensch und Miner (1994) angenommene Lernmechanismus zur Erzeugung impliziter Effekte wirksam wird.

Unterschiede zwischen den Experimenten zeigten sich dagegen für die jeweilige Testphase. Im Rahmen der Zulässigkeitsurteile in Experiment 1 waren die Diskriminationsleistungen im Sinne der Grammatik lediglich für die Memorierbedingung statistisch bedeutsam, während für die Lernbedingung „Seriell Reagieren“ keinerlei Sensitivität gegenüber Verletzungen der grammatischen Struktur festgestellt wurde. Hierbei ist zu betonen, daß auf der Basis der gewählten Fehlerniveaus ($\alpha = \beta = .05$) Effekte aufdeckbar waren, die nach Cohen (1988) klein bis mittelgroß sind ($w = .15$).

In Experiment 2 zeigten sich auf der Basis von Latenzzeiten für serielle Reaktionen in der Testphase für beide Lernbedingungen klare Grammatikalitätseffekte. In Experiment 3 konnte durch eine Kontrollbedingung, in der die Lernphase durch ein Mastraining ersetzt wurde, belegt werden, daß es sich dabei um Effekte der Lernphase handelt.

Nach den Annahmen von Frensch und Miner (1994) sollte die Gleichzeitigkeit der Aktivierung der Repräsentationen von Sequenzereignissen für die Bildung von Assoziationen entscheidend sein. Sie gehen davon aus, daß dieser Mechanismus hinreichend ist, um die impliziten Effekte sowohl im Paradigma „Seriell Reagieren“ als auch im Paradigma des Grammatiklernens zu erklären. Das Befundmuster der vorliegenden Experimente widerspricht zunächst deutlich dieser Annahme. Im folgenden wird diskutiert, welche zusätzlichen Annahmen nötig sind, damit diese Interpretation der Befunde Bestand hat. Anschließend wird eine Alternativerklärung der Befunde vorgestellt, die auf das Konzept der Transferangemessenheit zurückgreift. Ausblickend werden Möglichkeiten angedeutet, wie in weiteren Untersuchungen offene Fragen angegangen werden könnten.

Zusatzannahmen

Für die Interpretation der Befunde entgegen der Annahme eines strikt assoziativen Lernmechanismus, der in beiden Paradigmen für die impliziten Effekte verantwortlich ist, sind drei Annahmenbereiche bedeutsam: 1. Die für den vermuteten Lernmechanismus wesentlichen Aspekte der Paradigmen müssen konserviert worden sein. 2. Die für den vermuteten Lernmechanismus relevanten Aspekte müssen zwischen den paradigmenspezifischen Realisierungen parallelisiert sein. 3. Die eingesetzten Metri-

ken müssen gegenüber den impliziten Effekten den in den Originalparadigmen eingesetzten vergleichbar sensitiv sein.

Hinsichtlich der Konservierung der wesentlichen Aspekte der Paradigmen ist zum einen auf die theoretische Analyse von Keele und Jennings (1992) hinzuweisen. Wie eingangs schon erwähnt, sind die hier realisierten Bedingungen des seriellen Reagierens nicht mit den bei Nissen und Bulmer (1987) realisierten identisch. Im Unterschied dazu entfällt die Notwendigkeit, Anfang und Ende einer Sequenz von Eingaben — das sogenannte „parsing“ — bestimmen zu müssen. Damit sollten die Anforderungen an einen strikt assoziativen Lernmechanismus im Sinne von Frensch und Miner (1994) reduziert sein, so daß dessen Wirksamkeit wahrscheinlicher wird. Bezüglich der Bedingungen beim Grammatiklernen sind die eigenen Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Theorie des „competitive chunking“ relevant (vgl. Müller, 1996; Müller, eingereicht; Müller & Funke, 1995). Danach können im Rahmen der vorliegenden Realisierung Effekte beobachtet werden, die den von Servan-Schreiber und Anderson (1990) beobachteten Effekten entsprechen.

Hinsichtlich der Parallelisierung der für den von Frensch und Miner (1994) vermuteten Lernmechanismus relevanten Aspekte zwischen den paradigmenspezifischen Realisierungen ist insbesondere kritisch, wieviele Sequenzwiederholungen beim seriellen Reagieren eine Aktivierungswirkung zeigen, die der beim Memorieren gleicht. Da in dieser Hinsicht die Konzeption von Frensch und Miner zu unspezifisch ist, kann die von uns gewählte Realisierung allenfalls als Näherung betrachtet werden. Wie schon in der Diskussion des ersten Experimentes erwähnt, sind hier weitere Untersuchungen nötig, in denen die Anzahl der Wiederholungen systematisch variiert wird. Der darüber hinaus für den vermuteten Lernmechanismus wichtige zeitliche Abstand zwischen zu assoziierenden Elementen war für beide Paradigmen identisch. Sowohl während der Vorführung einer Sequenz in der Memorierbedingung als auch während der Bearbeitung einer Sequenz in der Bedingung „Seriell Reagieren“ betrug die Zeitdifferenz zwischen dem Zurücksetzen der Anzeige (Invertierung) für das vorhergehende Tastensymbol und dem Anzeigen des nächsten Tastensymbols 500 ms.

Hinsichtlich der Sensitivität der eingesetzten Metriken ist zu beachten, daß die bei den Zulässigkeitsurteilen genutzte Metrik — P_r -Maße entsprechend einem Modell zwei hoher Schwellen (vgl. Snodgrass & Corwin, 1988) — von den herkömmlich eingesetzten abweichen. Die Empfindsamkeit dieses Maßes gegenüber nicht-artifiziellen Effekten der Grammatik dürfte jedoch eher höher sein als bei den herkömmlichen Maßen. Darüber hinaus besteht zwischen diesem Sensitivitätsmaß und den üblicherweise verwendeten Quotenvergleichen von Treffern, falschen Alarmen oder Ab-

lehnungsquoten eine lineare Abhängigkeit, die gewährleistet, daß zumindest die ordinalen Relationen der Metriken die gleichen Resultate liefern. Die Kontrastierung der Reaktionszeiten für grammatikkonforme gegenüber grammatiknonkonformen Übergängen entspricht der im Paradigma seriellen Reagierens eingesetzten Metrik. Die naheliegende Vermutung, daß das Sensitivitätsmaß für explizite Einflüsse empfänglicher ist als Reaktionszeiten, ist für die vorliegende Frage nach einem gemeinsamen Lernmechanismus nur dann relevant, wenn zusätzlich angenommen wird, daß die in der Lernbedingung „Seriell Reagieren“ aufgetretenen *expliziten* Lerneffekte verhindert haben, daß die impliziten Effekte wirksam wurden.

Es bleibt festzuhalten, daß die für die obige Interpretation der Befunde notwendigen Zusatzannahmen weitestgehend als erfüllt anzusehen sind. Dies bedeutet nicht, daß die Annahme eines gemeinsamen Lernmechanismus verworfen werden muß. Weiter unten wird diskutiert, welche Variationen eingeführt werden können, um in weiteren Untersuchungen dieser Annahme nachzugehen. Zunächst wird jedoch eine Konzeption vorgestellt, die das Befundmuster vollständig erklären kann und dabei auf das in vielen Kontexten bereits bewährte Konzept der Transferangemessenheit zurückgreift.

Lernen als Optimierung der Verhaltenssteuerung: Eine Alternativerklärung

Als Alternativerklärung für die vorliegenden Befunde bietet sich an, auf eine Konzeption zurückzugreifen, wie sie kürzlich von Hoffmann (1993) vorgestellt wurde: Wie in der Diskussion von Experiment 2 schon angedeutet, unterscheiden sich die beiden Paradigmen fundamental darin, wie integrativ die einzelnen Sequenzen intern repräsentiert werden müssen, um die jeweilige Anforderung erfolgreich zu bearbeiten. Während die zur Reproduktion einer Sequenz notwendige kurzzeitige Speicherung in der Memorierbedingung eine kompakte Repräsentation der gesamten Sequenz verlangt, ist es für das serielle Reagieren ausreichend, den Nachfolger eines angezeigten Tastensymbols zu kennen und intern lediglich paarweise Assoziationen zu repräsentieren. Die internen Repräsentationen der Sequenzen, die in der Memorierbedingung gebildet werden, schließen Informationen über Nachfolger ein, während die Informationen über Nachfolger nicht ausreichen, ganze Sequenzen hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit zu solchen der Lernphase zu beurteilen. Damit wird entsprechend den Vorstellungen von Hoffmann zum einen angenommen, daß die Erfordernisse der Verhaltenssteuerung die Form der Informationsverarbeitung, -aufbereitung und -speicherung bestimmen. Zum anderen wird angenommen, daß die Informationen bezüglich ihrer Nützlichkeit für die eingesetzten

Testaufgaben in einer hierarchischen Beziehung stehen. Diese Erklärung stellt eine Variante der Transferangemessenheitshypothese dar.

Im Sinne von Willingham, Nissen und Bullemer (1989) kann das vorliegende Befundmuster allerdings auch so interpretiert werden, daß die gefundene Dissoziation einen fundamentalen Unterschied zwischen den auf Überlappung perzeptueller Gegebenheiten basierenden Effekten und den auf Überlappung der auszuführenden Reaktionen basierenden Effekten reflektiert. Diese Variante der Transferangemessenheitshypothese betont die unterschiedliche *Nutzbarkeit* der Informationen. Daß die Dissoziation nicht vollständig ist, kann dadurch begründet werden, daß die in der Memorierbedingung erforderliche Reproduktion ebenfalls die Ausführung der Reaktionsfolge verlangte, in dieser Bedingung also auch die motorischen bzw. prozeduralen Informationsaspekte relevant waren.

Ausblick

Aufgrund der vorliegenden Befunde ist es nicht zwingend, die Annahme von Frensch und Miner (1994) zu verwerfen, daß ein strikt assoziativer Lernmechanismus die impliziten Effekte in den beiden untersuchten Paradigmen begründen kann. Die Erfüllung kritischer Voraussetzungen (s. o.) sollte in weiteren Untersuchungen geprüft werden. So bietet es sich z. B. an, die Anzahl von Sequenzwiederholungen unter der Lernbedingung „Seriell reagieren“ systematisch zu variieren und zu testen, ob ein Niveau existiert, das zu überzufälligen Diskriminationsleistungen führt. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die eventuell bei erhöhter Sequenzwiederholung resultierenden Diskriminationsleistungen bei Zulässigkeitsurteilen nicht auf explizite Lerneffekte zurückzuführen sind.

Entgegen anderen Untersuchungen, die die Erhebung von Verbaldaten propagieren, dürfte der Einsatz einer Generierungsaufgabe sinnvoller sein, bei der entsprechend der Prozedur von Jacoby (1991) eine Inklusions- und eine Exklusionsbedingung realisiert werden können, um implizite und explizite Prozesse unabhängig voneinander zu erfassen. Die Analyse der entsprechenden Daten müßte allerdings auch die Erweiterungen berücksichtigen, die zu genaueren Messungen der beteiligten Prozesse beitragen (vgl. Buchner, Erdfelder & Vaterrodt-Plünnecke, 1995; Vaterrodt-Plünnecke, 1994).

Weitere Variationen betreffen die grammatische Struktur oder die zeitlichen Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Sequenzelementen. Sollte die Annahme von Frensch und Miner (1994) zutreffen, wären z. B. auch Kompensationseffekte zwischen der Anzahl von Sequenzwiederholungen und der Länge des Zeitintervalls zwischen aufeinanderfolgenden Elementen zu erwarten.

Um im Sinne der Alternativerklärung der Frage nach der unterschiedlichen Nützlichkeit gegenüber Unterschieden in der Nutzbarkeit nachzugehen, könnte z. B. die Form der Bearbeitung in der Memorierbedingung variiert werden. Wenn die Auffassung von Willingham, Nissen und Bullemer (1989) zutrifft, sollte folgendes gelten: Je unähnlicher die Art der auszuführenden Bewegungen zwischen der Reproduktion der Sequenzen in der Memorierbedingung und der Ausführung der seriellen Reaktionen ist, desto vollständiger sollte der Dissoziationseffekt sein.

Abschließend möchten wir festhalten, daß das eingesetzte Paradigma u. E. besonders gut geeignet ist, Annahmen zu Lernprozessen zu überprüfen, die sich auf den (impliziten) Erwerb von (implizitem) Wissen über sequentielle Abhängigkeiten in verschiedenen experimentellen Situationen beziehen. Es wird nicht angenommen, daß bei den eigenen Untersuchungen exakt die gleichen experimentellen Bedingungen wie in den Ursprungsparadigmen realisiert wurden. Die formale Basis des Ansatzes finiter Automaten erlaubt jedoch, Varianten der Ausgangsparadigmen zu realisieren, bei denen die als relevant erachteten Aspekte erhalten bleiben und zusätzlich alle anderen Aspekte zwischen den experimentellen Varianten vergleichbar ausfallen.

Summary

Grammar Learning and Serial Reactions: Two Paradigms — One Learning Mechanism?

Three experiments were carried out to investigate whether implicit effects in the paradigm of grammar learning and in the paradigm of serial reaction time tasks can be explained by only one strictly associative learning mechanism, as suggested by Frensch and Miner (1994). Based on the theory of finite automata it was possible to construct experimental conditions in which the essential aspects of the two paradigms could be combined independently. In Experiment 1, sensitivity towards grammatical structure, measured by grammaticality judgments, was found if subjects had to memorize presented sequences of events in the learning phase (grammar learning). No grammaticality effect was found if, prior to the discrimination task, subjects had to react according to signaled events in a sequence (serial reaction time task). These differences between learning conditions could be due to differences in the appropriateness of learning processes for the test task, thus reflecting a high degree of specificity of implicitly acquired knowledge. To rule out this alternative explanation, a second experiment was run, in which the same learning conditions were combined with the task to react as quickly as possible to signaled events.

Comparing the reaction times of critical transitions between grammatical and non-grammatical sequences revealed a decisive effect of grammaticality for both conditions. In Experiment 3, it was shown that the effects of Experiment 2 were due to the learning conditions, rather than artifacts. The implications of these findings for mechanisms of learning are discussed.

Key words: Grammar learning — implicit — serial learning — serial reaction time task

Literatur

- Brendenkamp, J. & Erdfelder, E. (1996). Methoden der Gedächtnispsychologie. In D. Albert & K.-H. Stapf (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Serie II, Band 4, Gedächtnis*. (S. 1—94). Göttingen: Hogrefe.
- 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.
- Buchner, A. (1992). *Implizites Lernen: Probleme und Perspektiven*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Buchner, A., Erdfelder, E. & Vaterrodt-Plünnecke, B. (1995). Toward unbiased measurement of conscious and unconscious memory processes within the process dissociation framework. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 137—160.
- Buchner, A., Funke, J. & Berry, D. (1995). Negative correlations between control performance and verbalizable knowledge: Indicators for implicit learning in process control tasks? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48A, 166—187.
- Cleeremans, A. & McClelland, J. L. (1991). Learning the structure of event sequences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 235—253.
- Cleeremans, A. (1993). *Mechanisms of implicit learning: Connectionist models of sequence processing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163—191.
- Cowan, N. (1993). Activation, attention, and short-term memory. *Memory and Cognition*, 21, 162—167.
- Dienes, Z., Altmann, G. T. M., Kwan, L. & Goode, A. (1995). Unconscious knowledge of artificial grammars is applied strategically. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 1322—1338.
- Dienes, Z., Broadbent, D. & Berry, D. C. (1991). Implicit and explicit knowledge bases in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 875—887.
- 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.
- Frensch, P. A. & Miner, C. S. (1994). Effects of presentation rate and individual differences in short-term memory capacity on an indirect measure of serial learning. *Memory and Cognition*, 22, 95—110.
- Frensch, P. A., Buchner, A. & Lin, J. (1994). Implicit learning of unique and ambiguous serial transitions in the presence and absence of a distractor task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 567—584.
- Funke, J. & Buchner, A. (1992). Finite Automaten als Instrumente für die Analyse von wissensgeleiteten Problemlöseprozessen: Vorstellung eines neuen Untersuchungsparadigmas. *Sprache & Kognition*, 11, 27—37.
- Gomez, R. L. & Schvaneveldt, R. W. (1994). What is learned from artificial grammars? Transfer tests of simple association. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 396—410.
- Haider, H. (1992). Implizites Wissen und Lernen. Ein Artefakt? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 39, 68—100.
- Hoffmann, J. (1993). Unbewußtes Lernen — eine besondere Lernform? *Psychologische Rundschau*, 44, 75—89.
- Hu, X. & Batchelder, W. H. (1994). The statistical analysis of general processing tree models with the EM algorithm. *Psychometrika*, 59, 21—47.
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30, 513—541.
- Keele, S. W. & Jennings, P. J. (1992). Attention in the representation of sequence: Experiment and theory. Special Issue: Sequencing and timing of human movement. *Human Movement Science*, 11, 125—138.
- Lewicki, P., Czyzewska, M. & Hoffman, H. (1987). Unconscious acquisition of complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 523—530.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81—97.
- Müller, B. (1996). Zulässigkeitsurteile und Bediensequenzen: Der Einfluß zeitlicher Sukzessivität auf die Kompositionsbildung. *Zeitschrift für Psychologie*, 204, 281—303.
- Müller, B. (eingereicht). Kompositionsbildung bei Symbolfolgen und Bediensequenzen: Zur Rekonstruierbarkeit empirischer Befunde im Rahmen der Theorie des „competitive chunking“. *Kognitionswissenschaft*.
- Müller, B. & Funke, J. (1995). Diskrete dynamische Systeme: Kompositionen höherer Ordnung bei Bediensequenzen. *Zeitschrift für Psychologie*, 203, 153—172.
- Nissen, M. J. & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1—32.
- Perruchet, P. & Pacteau, C. (1990). Synthetic grammar learning: Implicit rule abstraction or explicit fragmentary knowledge? *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 264—275.
- Perruchet, P. & Pacteau, C. (1991). Implicit acquisition of abstract knowledge about artificial grammar: Some methodological and conceptual issues. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 112—116.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 7, 317—327.
- Reber, A. S. (1980). On the relationship between implicit and explicit modes in the learning of a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 492—502.
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 219—235.
- Riefer, D. M. & Batchelder, W. H. (1988). Multinomial modeling and the measurement of cognitive processes. *Psychological Review*, 95, 318—339.
- Servan-Schreiber, E. & Anderson, J. R. (1990). Learning artificial grammars with competitive chunking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 592—608.

- Snodgrass, J. G. & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory: Applications to dementia and amnesia. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 34—50.
- Vaterrödt-Plünnecke, B. (1994). Multinomiale Modellierung impliziter Gedächtnisprozesse: Ein alternativer Ansatz. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 41, 295—314.
- Vokey, J. R. & Brooks, L. R. (1992). Salience of item knowledge in learning artificial grammars. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 328—344.
- 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.

Anschrift des Erstautors: Dr. Burkhard Müller, Psychologisches Institut der Universität Bonn, Römerstr. 164, D-53117 Bonn. E-mail: Burkhard.Mueller@uni-bonn.de.

Sonderdruck aus
ZEITSCHRIFT FÜR
EXPERIMENTELLE PSYCHOLOGIE

Organ der Deutschen Gesellschaft für Psychologie

Heft 2 / Band XLIII

2. Quartal 1996

HOGREFE · VERLAG FÜR PSYCHOLOGIE
GÖTTINGEN · BERN · TORONTO · SEATTLE