

Das EEG des Menschen beim Lernen von neuem und bekanntem Material*

DIETRICH LEHMANN und MARTHA KOUKKOU

Smith-Kettlewell Institute and Department of Visual Sciences, University of the
Pacific, San Francisco, Calif. 94115,
und Langley Porter Neuropsychiatric Institute and Department of Psychiatry,
University of California Medical Center, San Francisco, Calif. 94122, USA

Eingegangen am 21. Juli 1971

Human EEG during Learning of New and Familiar Material

Summary. The correlation between the duration of EEG activation after presentation of learning material and the quality of eventual recall was investigated, using auditory learning material of two classes of familiarity. Novel and familiar sentences were presented to the subjects during slow wave EEG sleep. The sentence presentations were followed by EEG activations of varying duration. Recall of each sentence was classified as one of three qualities of recall: Spontaneous recall, Recognition, and No Memory. The durations of EEG activation were compared for the three qualities of recall and the two classes of familiarity. For a given quality of recall, EEG activations were shorter for familiar than for novel sentences. Recall quality of novel and familiar sentences systematically was better with increased duration of EEG activations.

It is suggested that the duration of the EEG activation reflects the time available for the long-term storage process. The storage process necessary to achieve a given quality of recall is shorter for familiar than for novel learning material.

Key-Words: Learning — Human EEG — Sleep.

Zusammenfassung. Die Beziehungen zwischen *EEG-Aktivierungsdauer* nach Lernmaterial-Darbietung und dem Lernerfolg wurden an 32 Vpn. untersucht. Das Lernmaterial hatte zwei Schwierigkeitsgrade: Neue und schon bekannte sinnvolle Sätze. Die Sätze wurden *während des Schlafes mit langsamen EEG-Wellen* dargeboten. Die Darbietungen hatten EEG-Aktivierungen verschiedener Dauer zur Folge. Für jeden dargebotenen Satz wurde nach Schlafende eine der drei möglichen Erinnerungsqualitäten (Spontanerinnern, Wiedererkennen, und kein Gedächtnis) bestimmt. Die gemessenen EEG-Aktivierungen wurden den drei Erinnerungsqualitäten zugeordnet. Beim Vergleich der Resultate für neue und bekannte Sätze zeigte sich, daß für gleiche Lernqualität die *Darbietung neuer Sätze von längeren EEG-Aktivierungen gefolgt war* als die Darbietung bekannter Sätze. Bessere Erinnerungsqualität war sowohl für neue als auch für bekannte Sätze systematisch mit längerer EEG-Aktivierung nach Satzdarbietung verbunden.

Offenbar reflektiert die EEG-Aktivierungsdauer die verfügbare *Speicherungszeit für das Langzeit-Gedächtnis*. Mit zunehmender Bekanntheit des Lernmaterials wird die nötige Speicherungszeit für gleiche Erinnerungsqualität kürzer.

Schlüsselwörter: Lernen — EEG des Menschen — Schlaf.

* Prof. R. Jung zum 60. Geburtstag.

In einer früheren Untersuchung der Hirnmechanismen des Lernens beim Menschen hatten wir Lernmaterial während des Schlafes mit langsamen EEG-Wellen dargeboten und die Dauer der auf die Darbietung folgenden EEG-Aktivierung mit dem Lernerfolg verglichen. Wir fanden eine zunehmend bessere Qualität des Lernens mit zunehmend längerer EEG-Aktivierung, gemessen bis zum Verschwinden des durch die Darbietung aktivierten Alpha-EEG (Koukkou u. Lehmann, 1968). Die Versuche gingen aus von der Beobachtung, daß Langzeit-Speicherung reproduzierbarer Information unmöglich ist während langsamer EEG-Wellen physiologischen Ursprungs (Schlaf: Emmons u. Simon, 1956; Einschlafen: Kuhlo u. Lehmann, 1964) oder pathologischer Genese (Pharmaka: Ostfeld, Machne u. Unna, 1960; Schlafwandeln: Jacobson, Lehmann, Kales u. Wenner, 1965; Epilepsie: Jung, 1939; Vago-vasale Synkopen: Jung, 1954; Hirntrauma: Russel u. Nathan, 1946; etc.). *Langzeitspeicherung findet also nur bei Wach-EEG statt.* In unserem Versuchs-entwurf wurde der Speicherungsprozeß unterbrochen von den nach der Darbietung des Lernmaterials früher oder später spontan wieder-einsetzenden langsamen Rhythmen des Schlaf-EEG. Die Speicherungszeit manifestiert sich also als Dauer der durch die Darbietung des Lernmaterials ausgelösten EEG-Aktivierung. Unsere Experimente hatten gezeigt, daß die Möglichkeit zur späteren Reproduktion der dargebotenen Information desto besser ist, je mehr Zeit zur Speicherung zur Verfügung stand.

Bekanntes Material ist leichter wiederzulernen als neues Material (Ebbinghaus, 1885; Earhard, 1968). Man darf annehmen, daß das bekannte Material bei erneuter Darbietung wiedererkannt wird und damit schon in kodierter und gespeicherter Form verfügbar ist, daß also dem schon gespeicherten Material nur noch eine neue Kennzeichnung hinzugefügt werden muß. Entsprechend kann erwartet werden, daß bei gleicher Lernqualität die nötige Speicherungszeit für bekanntes Material kürzer als für neues Material gleicher Art ist. Ausgehend von unseren oben erwähnten Befunden haben wir diese Hypothese in der vorliegenden EEG-Untersuchung geprüft. Als Lernmaterial wurden kurze sinnvolle Sätze benutzt, von denen einige am Tage vor dem Versuch schon einmal gelernt worden waren, während andere für die Versuchsperson neu waren.

Methodik

32 gesunde Männer und Frauen im Alter von 21 — 29 Jahren nahmen als Versuchspersonen gegen Bezahlung an den Experimenten teil. Die Vpn. hatten bei Voruntersuchungen im entspannten Wachzustand gutes Alpha-EEG. Mit jeder Vp. wurde ein Lern-EEG-Experiment durchgeführt. Vier weitere Vpn. wurden nicht berücksichtigt, da sie während der ersten Stunde des Experimentes nicht einschliefen, und eine weitere Vp. wurde ausgeschlossen, da sie sich an Material erinnerte, das nicht dargeboten wurde (siehe unten).

Die Vpn. kamen abends 30 min vor der gewohnten Schlafenszeit ins Labor, im Mittel um 22.30 Uhr. Grass-Gold-Elektroden wurden mit Grass-Elektrodenpaste über einer Hemisphäre an den 10/20-Positionen T3 (oder 4), P3 (oder 4), O1 (oder 2), Cz und u. U. weiteren Positionen auf dem Skalp befestigt, auf der Kopfseite, welche die Vp. nicht zum Schlaf bevorzugte. Cz diente als Erdungselektrode. Die Vp. ging in gewohnter Nachtkleidung zu Bett. Das Bett war in einem geräuschgeschirmten Registrier-Raum (Industrial Acoustics) aufgestellt. Ein Mikrophon, ein Lautsprecher und die Eingangskabel zu den Verstärkern waren am Kopfende des Bettes angebracht. Der Lautsprecher bot dauernd ein schwaches Sprech-Rauschen (Greason-Stadler-Gerät) als Hintergrundgeräusch in der echoarmen Kammer an. Ein Kontakt wurde so an der Hand der Vp. befestigt, daß ein leichter Zeigefinger- oder Daumen-druck zur Auslösung eines Signals genügte. Das EEG wurde in mindestens 3 Kanälen kontinuierlich während des ganzen Experimentes als Papieraufzeichnung registriert. Gleichzeitig wurde das Mikrophon und das Signal des Kontaktes in je einem Kanal geschrieben, so daß der genaue Zeitpunkt der Darbietung eines Testsatzes und die evtl. Bestätigung durch die Vp. bestimmt werden konnte.

Als Lernmaterial dienten sinnvolle Sätze, die in Zufallsfolge einer Sammlung von 48 vergleichsweise uninteressanten kurzen Sätzen entnommen waren. Am Vorabend des Versuchs hatte die Vp. folgende 5 Sätze auswendig zu lernen: „She goes to the movies“; „the experiment is easy to do“; „girls often look pretty“; „you have many books“; „it's easy to play the guitar“. Diese fünf Sätze waren das bekannte Lernmaterial. Am Abend des Versuchs wurde die Erinnerung der Vp. an die 5 Sätze geprüft und gefragt, ob ein Satz besonderes Interesse geweckt habe. Bei 5 der Vpn. war dies der Fall, und der betreffende Satz wurde deshalb im Versuch nicht verwendet. In jedem Versuch wurden zwei der „bekannten“ Sätze als Lernmaterial dargeboten, ebenso wie zwei „neue“ Testsätze. Die zwei neuen Sätze waren: „They do not like music“ und „I speak very clearly“. Die auf Magnetband aufgenommenen Sätze wurden während des Versuchs von einem Tonbandgerät über den Lautsprecher der Vp. dargeboten.

Die Vp. wurde instruiert, daß sie 2 Std schlafen wird, daß während des Schlafes Sätze über den Lautsprecher dargeboten werden und daß dieses Geräusch zum Erwachen führen kann. Die Vp. wurde gebeten, den an der Hand befestigten Kontakt zu betätigen, wenn sie einen Satz hörten. Es wurde weiter gesagt, daß einige der dargebotenen Sätze zu den früher gelernten gehören werden und daß andere neu sein werden. Schließlich wurde die Vp. gebeten, die gehörten Sätze im Gedächtnis zu behalten und sie nach dem Wecken bei Versuchsende spontan ohne weitere Fragen zu wiederholen. Es wurde darauf hingewiesen, daß die Vp. keine besonderen Anstrengungen machen sollte, nach einer Satzdarbietung wach zu bleiben. Die Darbietung eines ersten Übungssatzes zur Gewöhnung gleich nach dem Hinlegen wurde angekündigt. Dieser erste Übungssatz war: „Europe is far away“. 5 min nach der ersten Schlafspindel des Stadiums 2 (Dement u. Kleitman, 1957) wurde ein weiterer Übungssatz („you go to sleep quickly“) dargeboten. Meist war die darauf folgende Aktivierung des EEG sehr lang, und der Satz wurde immer richtig erinnert. Die Übungssätze wurden nicht in die Resultatauswertung einbezogen.

5 min nach der ersten auf die eben beschriebene EEG-Aktivierung folgenden Schlafspindel wurde der erste der vier Testsätze dargeboten und nach gleicher Regel die drei weiteren. Jede Vp. hörte zwei „bekannte“ und zwei „neue“ Testsätze in der Folge: bekannt-neu oder: neu-bekannt. Entsprechend unterschieden wir bei jeder Vp. zwei erste Testsätze (ein neuer und ein bekannter Satz) und zwei zweite Testsätze (wiederum ein neuer und ein bekannter Satz). Die beiden „bekannten“ Sätze wurden aus der Liste der vortags gelernten Sätze gewählt unter Auslassung der evtl. für die Vp. besonders interessanten Sätze. Nach Darbietung des letzten Satzes und nach

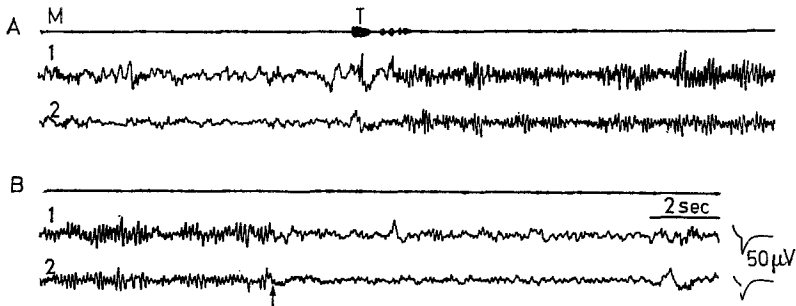


Abb. 1. EEG-Registrierungen (1 = parietal/occipital, 2 = temporal/occipital) und Mikrophon-Registrierung (M) mit Darbietung eines Testsatzes (T). B ist die direkte Fortsetzung von A. Der Pfeil zeigt das Ende der EEG-Aktivierung an. Kalibrierung: 50 μ V, 2 sec

zusätzlichen 15 min Schlaf wurde die Vp. geweckt. Entsprechend der Instruktion berichtete die Vp. die spontan erinnerten Sätze, die als *Erinnerungsqualität 1 (Spontanerinnerung)* klassifiziert wurden. Gemäß den Ergebnissen der früheren Untersuchung (Koukkou u. Lehmann, 1968) wurden wörtlich getreu erinnerte Sätze und sinngetreu erinnerte Sätze nicht unterschieden. Eine Vp. wurde ausgeschieden, da sie zwei Sätze spontan als Erinnerung berichtete, die weder zu dem neuen noch zu dem bekannten Material gehörten. Wenn die Vp. einen (bzw. beide) der neuen Testsätze nicht erinnerte, wurden ihr drei (bzw. fünf) Karten gegeben; auf jeder Karte stand ein Satz, dabei der nicht erinnerte Satz bzw. die nicht erinnerten Sätze. Die Vp. wurde gebeten, für jede Karte anzugeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit der geschriebene Satz im Versuch vorgekommen sein könnte, wobei die Vp. vier Rang-Stufen benutzen konnte: „Sehr sicher“, „sehr wahrscheinlich“, „unwahrscheinlich, aber möglich“, „sicher nicht“. Das gleiche Verfahren wurde für die nicht spontan erinnerten bekannten Sätze benutzt, wobei die Karten die am Vortag gelernten Sätze zeigten. Alle Sätze, welche die Vp. als „sehr sicher“ dargeboten einstufte, wurden als *Erinnerungsqualität 2 (Wiedererkennen)* klassifiziert. Alle Sätze, die die Vp. weder spontan erinnerte, noch sehr sicher wiedererkannte, wurden als *Erinnerungsqualität 3 (kein Gedächtnis)* klassifiziert.

Zusammenfassend wurden jeder der 32 Vpn. zwei erste und zwei zweite Testsätze dargeboten; es waren also insgesamt 4mal 32 Sätze. Die eine Hälfte dieser Testsätze war neu, die andere Hälfte bekannt. Jeder dargebotene Satz resultierte in einer von drei möglichen Erinnerungsqualitäten.

Das *parieto-occipitale EEG* P3-01 resp. P4-02 wurde für die EEG-Analyse benutzt. Wenn während der ersten 3 sec nach Darbietungsbeginn eine Aktivierung mit Alpha-EEG ohne langsame Wellen eintrat, wurde die Zeit vom Aktivierungsbeginn bis Wiederauftreten des Schlafstadium 1 gemessen. Abb. 1 zeigt ein Beispiel.

Statistische Prüfung der Signifikanz der Unterschiede zwischen Populationen wurden wegen der asymmetrischen Verteilungen (s. u.) mit un-

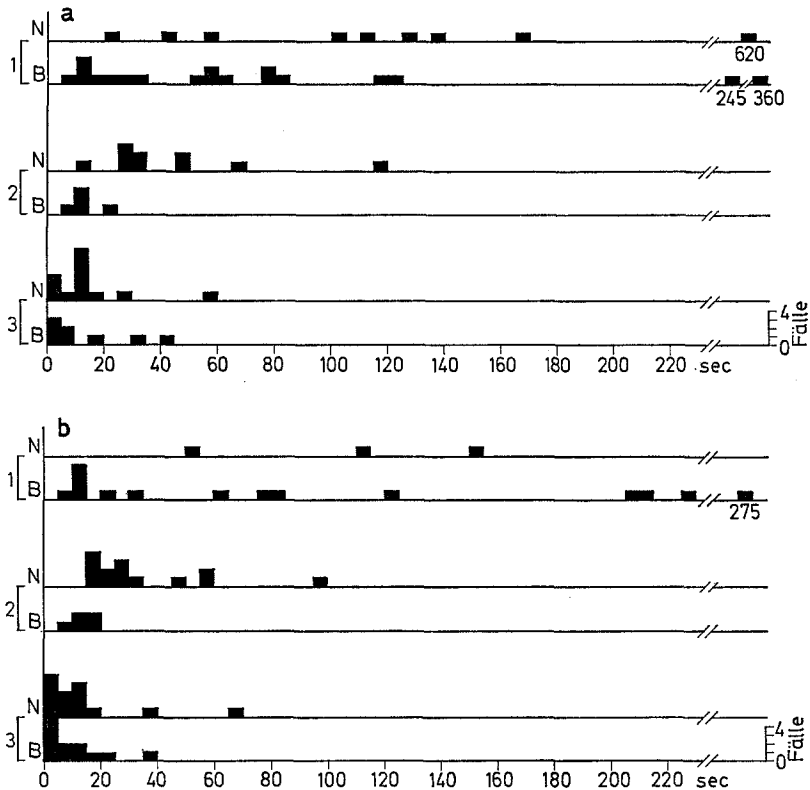


Abb. 2a und b. Dauer der EEG-Aktivierungen nach Darbietung der Testsätze, aufgeteilt für die drei verschiedenen Erinnerungsqualitäten (1 Spontanerinnerung; 2 Wiedererkennen; 3 kein Gedächtnis) und die zwei Lernmaterialien (N neu; B bekannt). a erste Sätze, b zweite Sätze. Jede Vp. ist viermal vertreten: je einmal in a N, a B, b N und b B

gepaarten Rang-Tests durchgeführt. Bei Vergleichen innerhalb des gleichen Bekanntheitsgrades des Lernmaterials kommt jede Vp. nur einmal vor. Wenn bei Vergleichen zwischen „neu“ und „bekannt“ gepaarte Werte auftraten, wurde jeweils ein Wert des Datenpaares mit Hilfe einer Random-Zahlentafel ausgelassen und der verbleibende ungepaarte Wert verwendet.

Ergebnisse

Die gemessene Dauer der EEG-Aktivierungen nach Darbietung der Testsätze zeigt die Abb. 2; die Resultate sind getrennt für die ersten (Abb. 2a) und die zweiten (Abb. 2b) Testsätze, für die beiden Bekanntheitsgrade (neu und bekannt) und für die drei Erinnerungsqualitäten. Tab. 1

Tabelle 1. Dauer der EEG-Aktivierungen (\bar{x} = Mittelwerte und mdn = Medianwerte in Sekunden) und Häufigkeiten (n) für die drei Erinnerungsqualitäten und für die zwei Bekanntheitsgrade der Testsätze. a) erste Sätze, b) zweite Sätze

Erinnerungs- qualität	1 Spontan- erinnerung		2 Wieder- erkennen		3 Kein Gedächtnis		Alle	
Bekanntheits- grad des Lernmaterials	neu	be- kannt	neu	be- kannt	neu	be- kannt	neu	be- kannt
<i>a) Erste Sätze</i>								
\bar{x} (sec)	155,0	77,4	41,1	14,7	14,6	14,3	63,1	51,8
mdn (sec)	115,0	58,0	33,7	14,5	12,0	8,0	29,1	22,2
n	9	19	10	5	13	8	32	32
<i>b) Zweite Sätze</i>								
\bar{x} (sec)	112,8	92,4	33,8	14,5	13,5	10,8	31,7	49,5
mdn (sec)	115,5	64,2	26,3	15,0	8,0	8,7	19,6	14,6
n	3	15	14	5	15	12	32	32

gibt die errechneten Durchschnitts- und Medianwerte der in Abb. 2 dargestellten Populationen von Rohdaten. Sowohl die Daten der Abb. 2 als auch die Mittel- und Medianwerte zeigten bei vielen Erinnerungsqualitäten eine Tendenz zu asymmetrischen Verteilungen der Meßwerte. Im übrigen sind die Ergebnisse der ersten (Abb. 2a, Tab. 1a) und zweiten (Abb. 2b, Tab. 1b) Testsätze sehr ähnlich, wenn auch bei den zweiten Sätzen deutlich weniger häufig Qualität 1 für neues Lernmaterial erreicht wurde.

Bei einer ersten Inspektion zeigen Abb. 2 und Tab. 1, daß offenbar allgemein die EEG-Aktivierungen bei schlechterer Erinnerungsqualität kürzer als bei besserer Erinnerungsqualität sind, in Übereinstimmung mit unseren früheren Resultaten (Koukkou u. Lehmann, 1968). Tab. 2 zeigt die Signifikanz (geprüft mit Rang-Tests) der Unterschiede der EEG-Aktivierungsdauer zwischen den verschiedenen Datenpopulationen. Die Verkürzung der Aktivierungsdauer mit schlechterer Erinnerungsqualität ist signifikant bei neuem Lernmaterial zwischen Qualität 1 und 2 und zwischen Qualität 2 und 3; bei bekanntem Lernmaterial ist der Unterschied zwischen Qualität 1 und 2 signifikant, jedoch nicht zwischen Qualität 2 und 3. Bemerkenswert ist, daß die mit den ersten und den zweiten zwei Sätzen gewonnenen Ergebnisse in ihrer statistischen Verlässlichkeit weitgehend gleich sind (Tab. 2).

Abb. 2 und Tab. 1 zeigen für gleiche Erinnerungsqualitäten eine unterschiedliche EEG-Aktivierungsdauer, abhängig von der Art des Lernmaterials: Die Aktivierungen sind für neue Sätze länger als für bekannte Sätze bei Erinnerungsqualität 1 (Spontanerinnerung) und bei Qualität 2

Tabelle 2. Signifikanz (Rang-Tests) der Unterschiede zwischen den EEG-Aktivierungszeiten, die bei den zwei verschiedenen Lernmaterialien und den drei Erinnerungsqualitäten gemessen wurden (s. Abb. 2 und Tab. 1). Die p -Werte sind durch Symbole gezeigt: n.s. $> 0,05$ (nicht signifikant); * $\leq 0,05$; ** $\leq 0,025$; *** $\leq 0,01$ **** $\leq 0,005$. Der jeweils obere Eintrag gilt für die ersten zwei Sätze, der untere für die zweiten zwei Sätze. Beachte, daß die Resultate der ersten und zweiten Sätze sehr gut übereinstimmen

		<div>****</div> <div>****</div> <div> <div>***</div> <div>n.s.</div> </div> <div> <div>*</div> <div>n.s.</div> </div>			
Lernmaterial		Bekannt	Bekannt	Bekannt	
		Erinnerungs- qualität	1	2	3
<div>****</div> <div>****</div> <div> <div>**</div> <div>**</div> </div> <div>****</div> <div>****</div>	Neu	1	<div>n.s.</div> <div>n.s.</div>	<div>****</div> <div>**</div>	<div>****</div> <div>****</div>
	Neu	2	<div>n.s.</div> <div>n.s.</div>	<div>****</div> <div>****</div>	<div>****</div> <div>****</div>
	Neu	3	<div>****</div> <div>****</div>	<div>n.s.</div> <div>n.s.</div>	<div>n.s.</div> <div>n.s.</div>

(Wiedererkennen). Die Unterschiede sind bei Qualität 2 sowohl für die ersten als auch für die zweiten Sätze sehr signifikant ($p < 0,005$). Bei Qualität 1 sind die Unterschiede nicht signifikant; wenn jedoch die Daten der ersten und zweiten Sätze unter Random-Ausschluß von gepaarten Werten kombiniert werden, zeigt sich, daß die Aktivierungen bei bekannten ($n = 7$) Sätzen mit $0,10 > p > 0,05$ kürzer sind als bei neuen ($n = 18$) Sätzen. Weiter ist hier wichtig, daß die Minimal-Aktivierungen bei Qualität 1 für bekannte Sätze viel kürzer sind als für neue Sätze (besonders deutlich in Abb. 2a). Im übrigen ist die geringe Signifikanz des Unterschiedes der beiden Qualitäten 1 aus der Anlage des Experimentes verständlich, da sowohl die Aktivierung für neue als auch die für bekannte Sätze potentiell beliebig lang sein kann — es gibt ja keine bessere Gedächtniskategorie, in die das Resultat fallen könnte. Entsprechend können sich beide Verteilungen auch bei durchaus verschiedenen Mindestaktivierungen weitgehend überlappen. Andererseits ist Qualität 2 für einen Vergleich zwischen neuem und bekanntem Material geeignet, weil hier längere Aktivierungen in besserer Lernqualität und kürzere Aktivierungen in schlechterer Lernqualität resultieren können.

Die Verteilungen der Aktivierungsdauer für die Qualitäten 2-bekannt, 3-neu und 3-bekannt waren in unserem Material nicht signifikant verschieden, wenn auch bei Qualität 2-bekannt im Gegensatz zu den Verteilungen der Qualitäten 3 keine fehlende EEG-Aktivierung beobachtet wurde, und obwohl die Medianwerte bei Qualität 2-bekannt deutlich größer sind als bei den Qualitäten 3. Offenbar sind also die Lernanforderungen zum Wiedererkennen bekannten Materials sehr gering und damit nahe bei den Werten, die kein Wiedererkennen erlauben. Wir schließen, daß unsere derzeitige Methodik nicht empfindlich genug ist, um hier klar zu trennen.

Die gemittelte Fehlerhäufigkeit der Kontaktdrucke für die ersten und zweiten Testsätze (d. h. die Nichtbeantwortung der Satzdarbietung) war für Qualität 1-neu 8⁰/₀ (1-bekannt 6⁰/₀), für Qualität 2-neu 17⁰/₀ (2-bekannt 30⁰/₀), und für Qualität 3-neu 11⁰/₀ (3-bekannt 15⁰/₀).

Diskussion

Unsere Ergebnisse bestätigen mit neurophysiologischer Methodik am normalen Menschen unter physiologischen Lernbedingungen, daß die Konsolidierung des Langzeit-Gedächtnisses nicht sofort mit Informationsankunft stattfindet, sondern ein zeitabhängiger Prozeß ist (McGaugh, 1966; Peterson u. Peterson, 1959). Wie wir zeigen konnten, nimmt die Dauer dieses Prozesses ab mit zunehmender Familiarität des Lernmaterials. Dieses Resultat ist in grundsätzlicher Übereinstimmung mit Messungen der Zeitdauer der Vulnerabilität frisch gelernten Materials in Experimenten mit retrograder Amnesie bei Tieren (McGaugh, 1966) und Menschen (Zinkin, 1965), wobei neues Material länger als bekanntes Material störfähig war. Die Tatsache, daß bekanntes Material leichter zu lernen ist als neues Material (Earhard, 1968; Epstein, Rock u. Zuckerman, 1960), bedeutet also nach unseren Ergebnissen, daß es in kürzerer Zeit zu lernen ist, ganz im Sinne von Ebbinghaus (1885), der zeigte, daß weniger Wiederholungen nötig sind beim Lernen von bekanntem als von neuem Material. Zusätzlich haben übrigens EEG-Frequenzanalysen während des Lernens ergeben, daß für gleiche Lernqualität bekanntes Material bei geringerer EEG-Aktivierung als unbekanntes Material gelernt werden kann (Koukkou, 1970).

Bei einem Vergleich der jetzigen Resultate mit unserer früheren Untersuchung (Koukkou u. Lehmann, 1968) ist interessant, daß die Dauer der EEG-Aktivierungen, die mit der kritischen Qualität „Wiedererkennen“ neuer Sätze verbunden sind, bei gering unterschiedlicher Versuchsanordnung vergleichbare Werte zeigte (1968 „first observations“ $\bar{x} = 30,6$ sec, $mdn = 31,7$ sec, jetzt „erste Sätze“ $\bar{x} = 44,1$ sec, $mdn = 33,7$ sec) und damit in der Größenordnung der berichteten Dauer des Kurzzeitgedächtnisses liegt (Peterson u. Peterson, 1959; Eriksen u. Johnson, 1964).

Die Abklingzeit des Kurzzeit-Gedächtnisses muß der Speicherungzeit für das Langzeit-Gedächtnis ungefähr entsprechen, da ja die Information noch verfügbar sein muß, wenn sie gespeichert werden soll. Man muß sich also vorstellen, daß während der spontanen Abnahme der Informationsmenge im Kurzzeitspeicher gleichzeitig der Langzeitspeicher so lange Information aus dem Kurzzeitspeicher aufnimmt, bis alle im Kurzzeitspeicher noch persistierende Information auch im Langzeitspeicher vorhanden ist. Falls die Langzeitspeicherung nicht möglich ist, wird die Information also nach einer gewissen Zeit spontan völlig abgeklungen sein. Dabei muß offenbleiben, ob die beiden Speicher physisch verschiedene Strukturen sind oder nur verschiedene Arten der Speicherung.

Voraussetzung für den Erfolg des zeitabhängigen Langzeit-Speicherprozesses ist offenbar ein Funktionszustand des Hirns, der im EEG als Aktivierung gegenüber dem Schlaf-EEG definierbar ist und der während einer bestimmten Zeit nach Ankunft der Information vorhanden sein muß. Verhaltenskriterien genügen nicht für die Beschreibung des Funktionszustandes des Hirns, der mit Lernfähigkeit korreliert, da wachheitsähnliche pathologische Bilder (z. B. unter Atropin: Ostfeld, Machne u. Unna, 1960; Meyers, Roberts, Riciputi u. Domino, 1964) mit Störung des Langzeitgedächtnisses einhergehen. Weder die Ankunft der Information im Cortex (evozierte Potential-Untersuchungen im Schlaf: z. B. Herz, Niedner, Fraling u. Somer-Smith, 1966) noch die Möglichkeit einer auch bei langsamen EEG-Wellen möglichen Diskrimination (Oswald, Taylor u. Treisman, 1960) oder einer motorischen Reaktion auf die Information (beim Schlafwandeln: Jacobson, Lehmann, Kales u. Wenner, 1965) garantieren, daß das Material erfolgreich gespeichert wird. Der letztere Punkt, die Irrelevanz der auf Informationseingang möglichen motorischen Antwort, wird auch durch unsere Resultate der Kontakt-Drucke illustriert: Nach 11% der Darbietungen wurde der Kontakt bestätigt, ohne daß später Erinnerung oder Erkennen der dargebotenen Sätze möglich war. Das Gegenstück, die fehlenden Kontakt-Drucke bei späterem Spontanerinnern, ist methodologisch weniger aufschlußreich, weil immer möglich ist, daß die Versuchsperson nicht stark genug preßte oder der Finger unbeabsichtigt vom Kontakt vorzeitig abglitt.

Die Qualität der Langzeit-Gedächtnisspeicherung ist also einerseits abhängig von der *Schwierigkeit* des Lernmaterials und andererseits von der *Intensität* und von der *Dauer der EEG-Aktivierung* nach Ankunft der Information im Großhirn. Es muß vorläufig jedoch offenbleiben, ob das EEG den Lernvorgang reflektiert, d. h. das Aktivierungsniveau der neuronalen Populationen, welche die Speicherung durchführen, widerspiegelt oder ob das EEG aktiv die Kontrolle des neuronalen Lernvorgangs ausübt (s. Adey, 1969).

Eine kurzfristige Speicherung erfolgt dagegen offenbar auch während langsamer EEG-Wellen: Einerseits weist darauf hin die Möglichkeit der Reiz-Diskrimination, die, wie oben erwähnt, während langsamer EEG-Wellen erhalten bleibt und für die eine kurzzeitige Speicherung der Information postuliert werden muß; andererseits vergeht eine gewisse Zeit, ehe ein ankommender Reiz eine EEG-Aktivierung verursachen kann, und die Information muß entsprechend während dieser Zeit verfügbar bleiben, um nach EEG-Aktivierungsbeginn erfolgreich in den Langzeit-Speicher übertragen zu werden.

Wir danken Herrn Julius M. Madey, B.S.E.E., für seine Mitarbeit.

Die Arbeit wurde teilweise unterstützt durch National Institutes of Health, U.S.P.H.S. Grants NB 06038 und 1 R03 MH 18178-01.

Literatur

- Adey, W. R.: Neural information processing: windows without and the citadel within, pp. 1—27. In: L. D. Proctor, ed.: *Biocybernetics of the central nervous system*. Boston: Little, Brown & Co. 1969.
- Dement, W., Kleitman, N.: Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility and dreaming. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **9**, 673—690 (1957).
- Earhard, B.: Perception and retention of familiar and unfamiliar material. *J. exp. Psychol.* **76**, 584—595 (1968).
- Ebbinghaus, H.: *Über das Gedächtnis*. Leipzig: Duncker und Humblot 1885.
- Emmons, W. H., Simon, C. W.: Responses to material presented during various levels of sleep. *J. exp. Psychol.* **51**, 89—97 (1956).
- Epstein, W., Rock, I., Zuckerman, C. B.: Meaning and familiarity in associative learning. *Psychol. Monogr.* **74**, (4, ganze Nummer 491) (1960).
- Eriksen, C. W., Johnson, H. J.: Storage and decay characteristics of nonattended auditory stimuli. *J. exp. Psychol.* **68**, 28—36 (1964).
- Herz, A., Niedner, I., Fraling, F., Sommer-Smith, J.: Corticale und subcorticale Reaktionspotentiale nach sensorischer Reizung bei der wachen und schlafenden Katze. *Exp. Brain Res.* **1**, 249—264 (1966).
- Jacobson, A., Lehmann, D., Kales, A., Wenner, W. H.: Somnambule Handlungen im Schlaf mit langsamen EEG-Wellen. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **207**, 141—150 (1965).
- Jung, R.: Über vegetative Reaktionen und Hemmungswirkungen von Sinnesreizen im kleinen epileptischen Anfall. *Nervenarzt* **12**, 169—185 (1939).
- Correlation of bioelectrical and autonomic phenomena with alterations of consciousness and arousal in man. In: J. F. Delafresnaye (ed.): *Brain Mechanisms and Consciousness*, pp. 310—344. Oxford: Blackwell 1954.
- Koukhou, M.: Neue experimentelle Ergebnisse in der Elektrophysiologie des Lernens [griechisch]. Habilitationsschrift, Universität Athen 1970.
- Lehmann, D.: EEG and memory storage in sleep experiments with humans. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **25**, 455—462 (1968).
- Kuhlo, W., Lehmann, D.: Das Einschlafleben und seine neurophysiologischen Korrelate. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **205**, 687—716 (1964).
- McGaugh, J. L.: Time-dependent processes in memory storage. *Science* **21**, 140—147 (1966).

- Meyers, B., Roberts, K. L., Riciputi, R. H., Domino, E. F.: Some effects of muscarinic cholinergic blocking drugs on behavior and the electrocorticogram. *Psychopharmacologia (Berl.)* **5**, 289—300 (1964).
- Ostfeld, A. M., Machne, X., Unna, K. R.: The effects of atropine on the electroencephalogram and the behavior in man. *J. Pharmacol. exp. Ther.* **128**, 265—272 (1960).
- Oswald, I., Taylor, A. M., Treisman, M.: Discriminative responses to stimulation during human sleep. *Brain* **83**, 440—453 (1960).
- Peterson, L. R., Peterson, M. J.: Short-term retention of individual verbal items. *J. exp. Psychol.* **58**, 193—198 (1959).
- Russel, W. R., Nathan, P. W.: Traumatic amnesia. *Brain* **69**, 280—300 (1946).
- Zinkin, S.: Mitteilung bei der BPS conference 1965, zitiert nach M. Metcalfe, Problems of memory in man. In: D. Richter (ed.): Aspects of learning and memory. New York: Basic Books 1966.

Dr. Dietrich Lehmann
Associate Professor an der
University of the Pacific
Neurologische Universitätsklinik
CH-8006 Zürich
Schweiz

Dr. Martha Koukkou-Lehmann
Forschungsdirektion
Psychiatrische Universitätsklinik
CH-8008 Zürich
Schweiz