

Verlaufsanalyse konditionierter EEG-Arousal-Reaktionen*

G. Grünewald

Neuropsychologische Abteilung des Institutes für Hirnforschung der Universität
Düsseldorf

E. Grünewald-Zuberbier und A. Rasche

Neurologische Universitätsklinik mit Abteilung für Neurophysiologie
der Universität Freiburg i. Br.

Eingegangen am 19. Juni 1973

Sequential Analysis of Conditioned EEG-Arousal

Summary. A new automatic analysis which determines the parameters of the EEG rhythms for small time segments in relation to the stimulus allows a better description of the course of EEG reactions. This method was used to study arousal responses to paired stimuli in a reaction time experiment with constant foreperiod (sound-light pairing). A reaction time experiment with sound-light random sequences was employed to control EEG changes unrelated to stimulus pairing intraindividually.

In 40 maladjusted children, aged from 8 to 13 year, stimulus pairing, in contrast to unpaired presentation, had the following effects on the arousal reactions represented by the course of alpha amplitudes:

1. A steeper amplitude reduction in the interstimulus-interval over the whole experiment;
2. a progressive shift of course and maximum of the amplitude reduction in the direction of light onset;
3. an increasingly faster re-formation of alpha amplitudes after the light stimulus over the trial sequence;
4. No intraindividual correlations were found between these EEG changes and reaction times, though reaction time also proved to depend on the course of conditioning.

These findings are discussed under the aspects of classical conditioning, the orientation reaction and the relevance of psychological variables such as signal expectation and the intention to react.

Key words: EEG Conditioning — Automatic Sequential EEG Analysis — EEG Arousal.

Zusammenfassung. Ein neues automatisches Analyseverfahren, das reizabhängig in kleinen Zeitsegmenten die Parameter der EEG-Rhythmen ermittelt, ermöglicht die genauere Verlaufsbeschreibung von EEG-Reaktionen. Hiermit wurden paarungsabhängige Arousal-Prozesse in einem Reaktionszeitversuch mit konstanter Vorperiode untersucht (Ton-Licht-Paarung). Zur intraindividuellen Kontrolle nicht-paarungsabhängiger EEG-Veränderungen diente ein Reaktionsversuch mit Ton-Licht-Zufallsfolgen.

* Die Arbeit wurde durch den Sonderforschungsbereich „Hirnforschung und Sinnesphysiologie“ (SFB 70) und durch das Landesamt für Forschung Nordrhein-Westfalen gefördert.

Bei 40 Heimkindern im Alter von 8—13 Jahren wurden bei Reizpaarung gegenüber Reizzufallsfolge die folgenden Merkmale in den Arousal-Reaktionen bzw. den sie repräsentierenden Alpha-Amplitudenverläufen festgestellt:

1. Von Beginn an steilerer Amplitudenabfall des Reaktionsverlaufs im Interstimulus-Intervall;
2. Progressive Verlagerung der Amplitudenreduktion in Verlauf und Maximum zum Beginn des Lichtreizes;
3. Zunehmend schnellere Rückbildung der Alpha-Amplitude nach der Lichtreaktion über den Trialverlauf.
4. Zwischen diesen EEG-Veränderungen und der Reaktionszeit ergab sich intraindividuell kein korrelativer Zusammenhang, obgleich auch die Reaktionszeiten vom Konditionierungsverlauf abhängig sind.

Die Befunde werden unter den Gesichtspunkten des klassischen Konditionierens, der Orientierungsreaktion und der Beteiligung psychologischer Variablen wie Signal-Erwartung und Aktionsintention diskutiert.

Stichwörter: EEG-Konditionierung — Automatische EEG-Verlaufsanalyse — EEG-Arousal-Reaktion.

Einleitung

Ein elektroencephalographisch habituierter Tonreiz löst nach wiederholter Paarung mit einem Lichtreiz (Ton → Licht) occipitale EEG-Arousal-Reaktionen (= Alphablockierungs-, Alpha-Attenuierungs-Reaktionen) aus, eine Eigenschaft, die nach mehreren Darbietungen ohne Lichtreiz wieder verloren geht (Durup u. Fessard, 1935; Travis u. Egan, 1938; Knott u. Henry, 1941; Morrell u. Jasper, 1956; Wells u. Wolff, 1960; Stern *et al.*, 1961; Visser, 1961, 1963; Albino u. Burnand, 1964; Davidoff u. McDonald, 1964; Hofer u. Hinkle, 1964; Esecover *et al.*, 1964; Milstein, 1965; Torres, 1968). Der meist nur schwach und variabel ausgeprägte Effekt kann verstärkt und stabilisiert werden, wenn statt bloßer Paarung der beiden für das Subjekt neutralen Stimuli („sensory-sensory-conditioning“) auf den Lichtreiz motorisch reagiert werden muß („anticipatory instructed conditioning“: Jasper u. Shagass, 1941; Morrell u. Ross, 1953; Gastaut *et al.*, 1957; Anokhin, 1958; Babiyan, 1961; Fejgenberg, 1966; Putney, 1973). Der Ton erhält dadurch Signalbedeutung; es resultiert praktisch ein Reaktionszeit-Experiment mit konstanter Vorperiode. Konsistente EEG-Arousal-Reaktionen auf den vorher indifferenten Ton treten auch im Rahmen eines klassischen Pawlowschen Konditionierungsparadigmas auf, z. B. wenn auf den Tonreiz ein Flexionsreflexe auslösender nociceptiver Stimulus folgt (Beck, Doty u. Kooi, 1958).

Die bisherigen quantitativen Untersuchungen dieser konditionierten (Morrell, 1961) oder kontingenten (Walter, 1961), d. h. von der Assoziation zweier Reize abhängigen EEG-Veränderung gehen bis auf eine Ausnahme (Putney, 1973) von einer binären Skalierung (Vorhandensein oder Nichtvorhandensein) der Arousal-Reaktion oder Alpha-Blockierung aus. Abhängige Variable ist die relative Häufigkeit der Reaktionen. Das an sich schon problematische Verfahren (Festlegung der Blockierungs-

kriterien) ignoriert die graduelle Ausprägung der EEG-Veränderung, ihre Verlaufsform und deren Abwandlung über die Versuchsfolge. Martin u. Levey (1969) haben am Beispiel des konditionierten Lidschlagreflexes gezeigt, daß die Berücksichtigung dieser Kriterien („response topography“) zu einem besseren Verständnis der Natur des Konditionierungsvorganges führt.

In der folgenden Studie werden die Verlaufsaspekte der konditionierten EEG-Arousal-Reaktion mit einer geeigneten automatischen Analyseverfahren näher untersucht. Dabei wird neben der Reaktion auf Ton auch die in Konditionierungsexperimenten vernachlässigte „unbedingte“ Arousal-Reaktion auf Licht einbezogen. Ausgangspunkt unserer Untersuchungen war eine differentiell-psychophysiologische Fragestellung¹, die die Entwicklung einer sensibleren Auswertungsmethode zur Voraussetzung hatte.

Methodik

Versuchspersonen. Die Auswahl der Versuchspersonen (Vpn.) und des experimentellen Paradigmas resultieren aus der differentiellen Fragestellung. Untersucht wurden 41 in Heimerziehung befindliche sog. verhaltensschwache Kinder: männlich; Altersmedian = 12; 2 ($Q = 1$; 1); IQ (Hawik)-Median = 95 ($Q = 9.5$); Schulbildung = 21 Volksschüler, 20 Sonderschüler; neurologische Befunde = keine pathologischen Symptome (2 Grenzbefunde). Es erfolgte keine Selektion bezüglich des individuellen Alpha-Rhythmus.

Konditionierungsversuch. Das Experiment bestand aus einer automatisch gesteuerten Folge von 20 überlappenden Ton-Licht-Paarungen: $\sim 1,6$ sec nach Tonbeginn Einsetzen des Lichtes (Interstimulus-Intervall = ISI); gleichzeitige Beendigung von Ton und Licht nach weiteren $\sim 1,4$ sec². Die einzelnen Reiz-Paarungen (Trials) folgten in unregelmäßigen, zwischen 5 und 20 sec variierenden und gleichverteilten Abständen aufeinander. Die Gesamtdauer des Versuchs betrug knapp 9 min. Das über Kopfhörer dargebotene akustische Signal bestand in einem Ton von 250 Hz und ~ 55 dB, der einen sonst andauernden, zur Maskierung von externen Geräuschen eingeführten Hintergrundton von 166 Hz und gleicher Intensität ablöste. Als Lichtreiz wurde tachistoskopisch in 80 cm Abstand vom Auge ein 170 asb helles homogenes Feld exponiert. Die Augen waren während des ganzen Versuchs offenzuhalten. Um eine schnelle und konsistente Auslösung von konditionierten EEG-Arousal-Reaktionen zu erreichen hatte die Vp. auf das Einsetzen des Lichtes mit einem Tastendruck zu reagieren. Zur Habituation anfänglicher Orientierungsreaktionen im EEG auf den Tonreiz und zur Löschung konditionierter Reaktionen wurden vor und nach dem Konditionierungsversuch jeweils 8 Tonreize ohne Licht gegeben.

Kontrollversuch. Als Kontrolle für nicht-assoziative EEG-Arousal-Reaktionen diente ein zweiter Reiz-Reaktionsversuch mit den gleichen 20 Ton- und 20 Licht-

1 Hierbei sollte unter bestimmten Annahmen geprüft werden, ob sich hyperaktive und nichthyperaktive Kinder in ihren konditionierten EEG-Arousal-Reaktionen unterscheiden (Grünwald-Zuberbier, Rasche, Grünwald; im Druck).

2 Diese Intervalle zeigten über die Reizfolge eine geringe, unsystematische Variation, die jedoch im Hinblick auf die hier zu besprechenden Versuchsergebnisse vernachlässigt werden kann.

reizen in Zufallsfolge, gebildet aus zwei unabhängig für Ton und Licht ermittelten Zufallsfolgen der gleichen Intertrial-Intervalle wie beim Konditionierungs-Experiment (Rescorla, 1967). Dieser Versuch wurde jeweils eine Woche nach dem Konditionierungsversuch unter sonst gleichen Bedingungen durchgeführt. Die Reihenfolge blieb unpermutiert, weil im Hinblick auf unsere differentielle Fragestellung die zu erwartenden kleinen Extremgruppen den Konditionierungsversuch unter gleichen Umständen absolvieren sollten.

Ableitungen. Während der Experimente wurde kontinuierlich von den vermessenen Positionen O1, P3, C3 und Mitte T3—T5 gegen kontralaterales Ohr das EEG abgeleitet. Die Aufzeichnung der EEG-Ableitungen, des EMGs der Reaktionshand (m. interosseus dorsalis I), der Reizfolge und der motorischen Reaktionen erfolgte sowohl auf Analogband (Bell u. Howell VR 3300), als auch auf Papier. Die Papierregistrierung diente einer sorgfältigen Artefakt-Selektion für die spätere Analyse.

EEG-Analyse. Das EEG wurde vom Magnetband in ein Butterworth 7—22 Hz Bandpaß-Filter gegeben, über die Analog-Eingänge eines Interface (WDV, München; Abtastintervall = 10 msec; Auflösung bei der Analog-Digitalwandlung = 10 bit) der Rechenanlage (IBM 1130) zugeführt und mit Kennungen für Amplitudenmaßstab sowie für Beginn und Ende der Reize (unter Kompensation der Phasenverschiebung des Filters) auf der Speicherplatte abgespeichert. Für jede Vp. wurden pro Reizpaar im Konditionierungsexperiment und pro Einzelreiz im Kontrollversuch 6 sec EEG in drei Kanälen digitalisiert. Die temporale Ableitung mußte wegen zu starker Artefakte unberücksichtigt bleiben.

Die Frequenz-Amplituden-Analyse dieser EEG-Abschnitte erfolgte nach dem Nulldurchgangsverfahren (bei laufender Korrektur der Nulllinie für Intervalle von 1 sec). Zur Repräsentation des Verlaufs der Arousal-Reaktionen wurden jeder analysierte EEG-Abschnitt — bezogen auf Beginn und Ende der Reize — in 400 msec-Segmente zerlegt und pro Segment die EEG-Kriterien, z. B. SpannungsinTEGRAL, mittlere Spitzenamplitude und Häufigkeit der Alpha-Wellen ermittelt.

Von der statistischen Auswertung dieser Analysedaten blieben alle Artefakt-Trials ausgeschlossen. Dabei handelt es sich neben den üblichen Störungen speziell im Kontrollversuch auch um diejenigen wenigen Einzelreize, bei denen Ton- und Lichteffekte interferierten. Die Auswertung erfolgte — nach Prüfung der Voraussetzungen — mit varianzanalytischen Verfahren. Amplitudenkriterien wurden zur Varianzstabilisierung logarithmisch transformiert.

Ergebnisse

Im folgenden wird ein repräsentativer Teil unserer allgemeinen Ergebnisse dargestellt. Wir beschränken uns dabei im wesentlichen auf die occipitale Ableitung, wo die Verlaufseffekte am deutlichsten ausgeprägt sind, und auf die mittlere Spitzenamplitude der Alpha-Halbwellen, die die EEG-Arousal-Reaktion statistisch am besten repräsentiert.

1. Veränderungen der Alpha-Amplitude im Interstimulus-Intervall (ISI) bei Ton-Licht-Paarung

a) *Occipitale Ableitung.* In Abb.1 sind die reizabhängigen Veränderungen der EEG-Alpha-Amplitude bei Ton-Licht-Paarung (Konditionierungsexperiment) und bei isolierter Tondarbietung (Habituerungs- und Extinktionsphase) dargestellt. Im zweiten Trialblock der Habituerungsphase ist die anfängliche Arousal-Reaktion auf Ton noch nicht

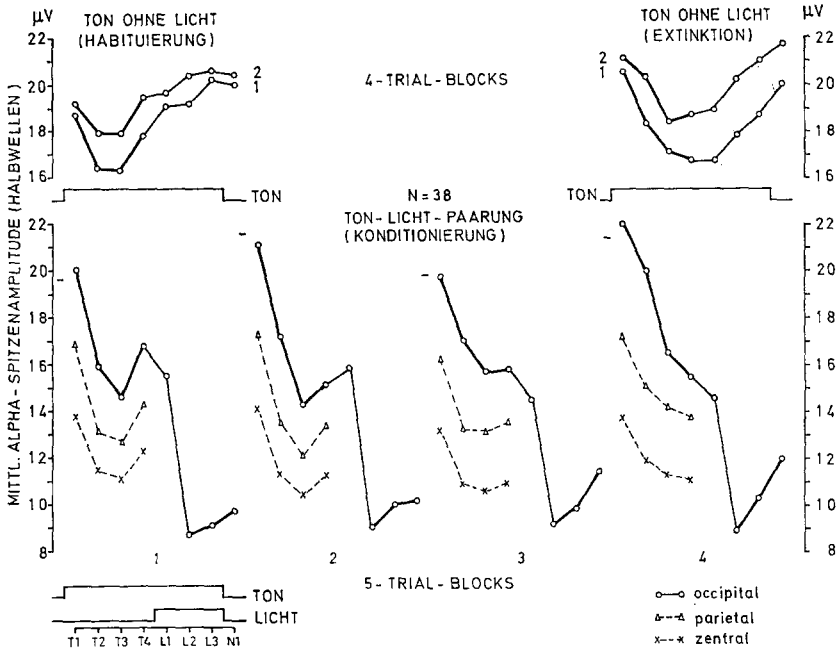


Abb. 1. Ton-Licht-Paarung. Mittlere Alpha-Spitzenamplituden (Halbwellen) von 38 Vpn. pro 400 msec-Abschnitt der Ton-Licht-Kombination (s. Diagramm links unten) über eine Folge von 20 Trials, zusammengefaßt in vier Blocks à fünf Trials. Für die occipitale Ableitung ist pro Trialblock der Amplitudenverlauf über acht Auswertungsabschnitte dargestellt, beginnend mit Einsetzen des Tones (*T1*) und endend mit dem ersten 400 msec-Abschnitt nach Beendigung von Ton und Licht (*N1*). Die kleinen Horizontalstriche bezeichnen das Vorstimulus-Amplitudenniveau. Für die parietale und zentrale Ableitung sind nur die Amplitudenverläufe im Interstimulus-Intervall eingezeichnet. Zur varianzanalytischen Auswertung der Amplitudenverläufe im Interstimulus-Intervall (*T1*–*T4*) und in der Rückbildungsphase der Alpha-Amplitude nach der Arousal-Reaktion auf Licht (*L2*–*N1*) vgl. Text. *Ton ohne Licht*. Mittlere Alpha-Spitzenamplituden entsprechender Auswertungsabschnitte für die beiden 4-Trialblocks der Habituerungsphase und der Extinktionsphase vor bzw. nach Ton-Licht-Paarung

völlig abgeklungen. Es zeigt sich ein leichter Amplitudenabfall im zweiten und eine rückläufige Entwicklung im vierten 400 msec-Tonabschnitt. Nach Paarung des Tons mit einem Lichtreiz ist beim ersten Trialblock im ISI der gleiche parabelförmige Verlaufstyp der Amplitudenänderung festzustellen; die Amplitudenreduktion ist jedoch signifikant verstärkt und verlängert (Block \times Abschnitt F (3; 108) = 7,74; $P < 0,001$). Während des Konditionierungsexperimentes verändert sich der Reaktionsverlauf (Block \times Abschnitt F (9; 324) = 3,13; $P < 0,001$). Die Arousal-Reaktion verlagert sich zum Beginn des Lichtreizes. Im

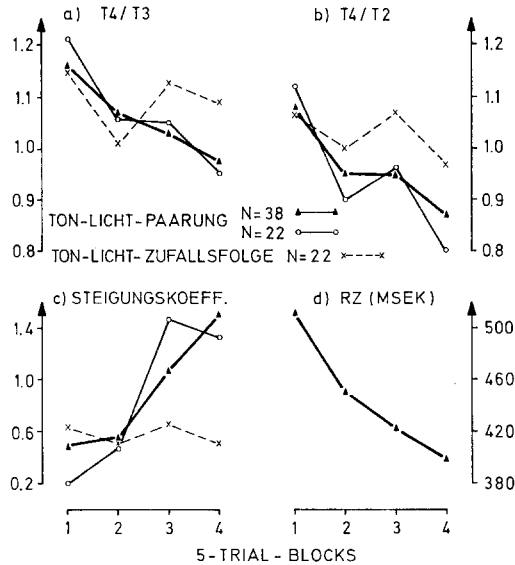


Abb. 2. Relative Alpha-Amplituden-Änderungen (Halbwellen; occipitale Ableitung) im Interstimulus-Intervall (a, b), lineare Steigungskoeffizienten der Amplitudenrückbildung nach Licht (c) und motorische Reaktionszeiten (d) in Abhängigkeit von der Trialfolge bei Ton-Licht-Paarung und Ton-Licht-Zufallsfolge. a und b Amplitudenverhältnis des 4. zum 3. und des 4. zum 2. 400 msec-Abschnitt nach Tonbeginn (vgl. Abb. 1 und 3). c Lineare Steigungskoeffizienten der Amplitudenrückbildung über den 2. und 3. 400 msec-Abschnitt nach Lichtbeginn und dem 1. Abschnitt nach Lichtende (vgl. Abb. 1 und 3). d Motorische Reaktionszeit nach Licht.

Zur trendanalytischen Auswertung der Trialblock-Verläufe vgl. Text

ersten Trialblock und etwas abgeschwächt auch im zweiten Trialblock vergrößert sich die Alpha-Amplitude vor Einsetzen des Lichtes wieder. Im dritten Trialblock ist diese rückläufige Entwicklung nur noch angedeutet und im letzten Block fällt die Amplitude monoton bis zum Lichtbeginn, mit gleitendem Übergang in die Licht-Arousal-Reaktion. Zudem setzt hier — gegenüber den früheren Trialblocks — die stärkste Amplitudenreduktion erst in der zweiten Hälfte des ISI ein. Die in Tab. 1 angegebenen F-Werte der pro Trialblock ermittelten linearen und quadratischen Trendanteile der Amplituden-Reaktion dokumentieren diese Veränderung vom bitonen zum monotonen Verlauf. In Abb. 2a und 2b (stark ausgezogenen Linien) sind zwei Relativmaße, die die Verlagerung der Arousal-Reaktion zum Ausdruck bringen, in Abhängigkeit vom Konditionierungsverlauf aufgetragen. Die Verhältnisse des vierten zum zweiten und des vierten zum dritten 400 msec-Tonabschnitt verringern sich linear über die Trialfolge ($F_{lin}(1;36) = 9,92$; $P < 0,001$; $F_{lin}(1;36) = 11,50$; $P < 0,001$).

Tabelle 1. Trendanalyse der Alpha-Amplitudenänderung im Interstimulus-Intervall

5-Trial-Block	1	2	3	4
$F_{lin} (1;111)$	17,37 ***	35,18 ***	25,06 ***	39,06 ***
$F_{quas} (1;111)$	28,68 ***	10,74 **	5,70 *	1,08
*** $P \leq 0,001$. ** $P \leq 0,01$. * $P \leq 0,05$. $N = 38$.				

In der Extinktionsphase (Ton ohne Licht) bleibt der monotone Verlaufstyp der Arousal-Reaktion des letzten Trialblocks der Ton-Licht-Paarung zunächst erhalten, dabei verläuft der Amplitudenabfall aber signifikant flacher (Block \times Abschnitt F (3;108) = 5,26; $P < 0,005$). Die Reaktion schwächt sich ab. Eine Replikation des Licht-Effektes in vergleichbaren Abschnitten ist nicht festzustellen.

b) *Parietale und zentrale Ableitung*. In diesen Ableitungen (s. Abb. 1) zeigen sich prinzipiell die gleichen Amplitudenänderungen im ISI wie occipital, nur daß die statistische Differenzierung von occipital nach zentral abnimmt. Neben dem bekannten Unterschied im generellen Amplitudenniveau sind keine signifikanten Ableitungseffekte nachweisbar. Für lokalisationspezifische EEG-Veränderungen ergeben sich also keine Anhaltspunkte.

2. Veränderungen der Alpha-Amplitude nach Licht bei Ton-Licht-Paarung

Parallel zu den Veränderungen des Reaktionsverlaufes im ISI treten Veränderungen der Arousal-Reaktion nach Licht auf (in Abb. 1 nur für die occipitale Ableitung eingetragen). Zunächst vermindert sich die Amplitude im zweiten 400 msec-Abschnitt nach Lichtbeginn in allen Blocks auf das gleiche Niveau. Diese Arousal-Reaktion ist in ihrem Ausmaß deutlich von derjenigen im ISI abgesetzt. Ihre Rückbildung erfolgt vom ersten zum vierten Trialblock mit zunehmender Steilheit des Verlaufs (Block \times Abschnitt F (6;216) = 3,20; $P < 0,005$). Die pro Vp. und Trialblock berechneten linearen Steigungskoeffizienten zeigen im Mittel einen signifikant linear ansteigenden Trend (s. Abb. 2c, stark ausgezogene Linie; $F_{lin} (1;36) = 10,49$; $P < 0,001$), der auch bei kovarianzanalytischer Kontrolle des Amplituden-Ausgangsniveaus (400 msec-Abschnitt vor Tonbeginn und erster Tonabschnitt) erhalten bleibt.

3. Veränderungen der Alpha-Amplitude bei Ton-Licht-Paarung vs. Ton-Licht-Zufallsfolge

Zur Kontrolle von nicht-assoziativen Amplitudenänderungen wurden pro Vp. in einer zweiten Sitzung die Ton- und Lichtreize — unter sonst gleichen Bedingungen (wozu auch eine vorangehende Habituiierungsphase gehörte) — in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Die Ergebnisse

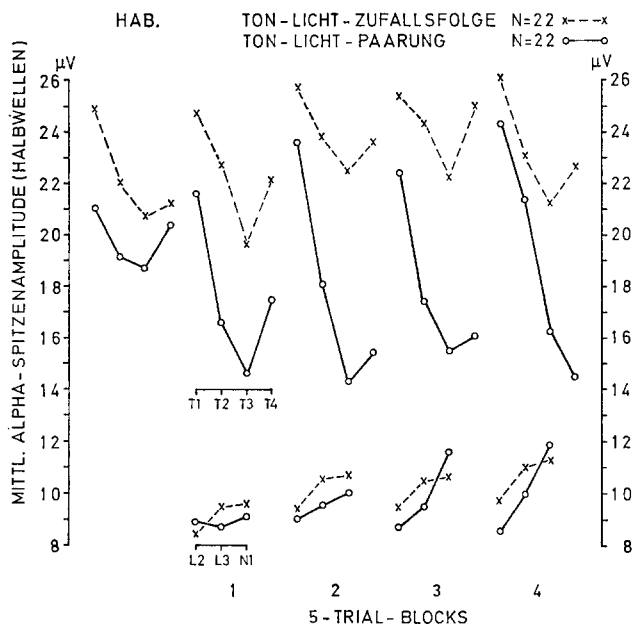


Abb. 3. Ton-Licht-Paarung. Mittlere Alpha-Spitzenamplituden (Halbwellen; occipitale Ableitung) von 22 Vpn. im Interstimulus-Intervall ($T1-T4$) und in der Rückbildungsphase nach Licht ($L2-N1$) über eine Folge von vier 5-Trialblocks des Konditionierungsversuches; s. Legende der Abb. 1. *Ton-Licht-Zufallsfolge*. Derselben Stichprobe von 22 Vpn. wurden die Ton- und Lichtreize — unter sonst gleichen Bedingungen — in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Dargestellt sind die dem Konditionierungsversuch entsprechenden Auswertungsabschnitte. Sowohl dem Konditionierungsversuch als auch dem Kontrollversuch waren acht Tonexpositionen ohne Licht vorgeschaltet (Habituerungsphase), deren letzte 4-Trialblocks oben links dargestellt sind. Zur varianzanalytischen Auswertung der Verlaufsabschnitte vgl. Tab. 2

einer bisher ausgewerteten Stichprobe von 22 Vpn. sind in Abb. 3, Tab. 2 und in Abb. 2a—c (schwach ausgezogene und gestrichelte Linien) dargestellt. Sämtliche beschriebenen Effekte der Ton-Licht-Paarung sind auch bei der reduzierten Stichprobe voll ausgeprägt. Der Kontrollversuch zeigt dagegen in den entsprechenden Auswertungsabschnitten eine Arousal-Reaktion nach Ton von durchschnittlich deutlich flacherem Verlauf und einen Wiederanstieg der Amplituden nach Lichtende von durchschnittlich geringerer Steilheit (Abb. 3). Veränderungen der Reaktionsform in Abhängigkeit von der Trialfolge sind weder für die Arousal-Reaktion nach Ton noch für die Rückbildung nach Licht statistisch nachweisbar (vgl. die insignifikanten Block \times Abschnitt-Wechselwirkungen in Tab. 2b und die fehlende Linearität bei den Trialblock-Ver-

Tabelle 2. Ausschnitte aus Varianzanalysen der Amplitudenänderung im Interstimulus-Intervall (1.—4. Tonabschnitt) und nach Licht (2. und 3. Lichtabschnitt und 1. Abschnitt nach Licht); $N = 22$

Varianzquelle	FG	a) Ton-Licht-Paarung		b) Ton-Licht-Zufallsfolge	
		F	P	F	P
<i>Interstimulus-Intervall</i>					
Abschnitt	3;60	27,00	< 0,001	4,20	< 0,01
Block × Abschnitt	9;180	3,89	< 0,001	0,54	n. s.
<i>Nach Licht</i>					
Abschnitt	2;40	8,46	< 0,001	5,36	< 0,01
Block × Abschnitt	6;120	3,48	< 0,005	0,06	n. s.

Varianzquelle	FG	c) Ton-Licht-Paarung v s. Ton-Licht-Zufallsfolge			
		F		P	
<i>Interstimulus-Intervall</i>					
Versuch × Abschnitt	3;60	19,75		< 0,001	
Versuch × Block × Abschnitt	9;180	2,18		< 0,025	
<i>Nach Licht</i>					
Versuch × Abschnitt	2;40	3,14		< 0,05	
Versuch × Block × Abschnitt	6;120	2,10		~ 0,05	

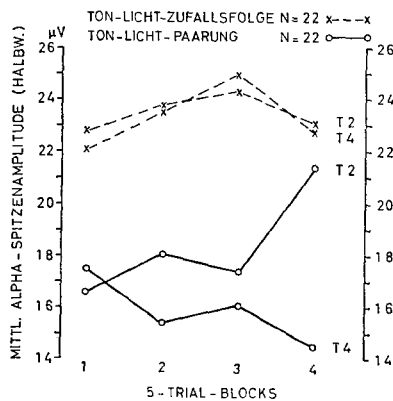


Abb. 4. Mittlere Alpha-Spitzenamplituden (Halbwellen; occipitale Ableitung) von 22 Vpn. im 2. und 4. Tonabschnitt des Konditionierungs- und Kontrollversuches in Abhängigkeit von der Trialfolge (vier 5-Trialblocks). Die Darstellung veranschaulicht im Ausschnitt die signifikante Versuch \times Block \times Abschnitt-Wechselwirkung in Tab. 2c. Beachte den parallelen Trialblock-Verlauf des 2. und 4. Tonabschnitts bei Ton-Licht-Zufallsfolge und den divergierenden Verlauf bei Ton-Licht-Paarung, der die Verlagerung der Arousal-Reaktion zum Lichtbeginn anzeigt

läufen der Relativmaße und des Steigungskoeffizienten in Abb. 2a—c). Der direkte varianzanalytische Vergleich der beiden Versuche (Tab. 2c; Abb. 4) erweist die genannten Unterschiede als signifikant. Die beschriebenen Alpha-Amplitudenänderungen im Konditionierungsversuch sind also offensichtlich auf die Paarung der beiden Reize zu beziehen.

4. Veränderungen der Alpha-Amplitude und motorische Reaktionszeit

Bestehen Zusammenhänge zwischen den Amplitudenänderungen und der motorischen Reaktionszeit? Über die Trialfolge ist bei Ton-Licht-Paarung im Gruppenmittel (und in 87 % der Einzelfälle) eine zunehmende Verkürzung der Reaktionszeit festzustellen (s. Abb. 2d; $F_{\text{lin}}(1;36) = 19,34$; $P < 0,001$). Wie die Amplitudenänderungen (Abb. 2a—c) erweist sich auch die Reaktionszeit als eine Funktion der Trialzahl. Zur Feststellung von Abhängigkeiten zwischen beiden wurden diese Trends pro Vp. eliminiert. Die intraindividuellen Korrelationen der dekomponierten Zeitreihen der EEG-Kriterien und Reaktionszeit betragen im Mittel $+0,023$ bzw. $|0,192|$; nur 4 von 108 Koeffizienten sind auf dem 5 %-Niveau signifikant. EEG-Veränderungen und Reaktionszeit sind zwar beide vom Konditionierungsverlauf abhängig, voneinander aber unabhängig (vgl. ähnliche Befunde von Thompson u. Botwinick, 1966).

Diskussion

Bei Reizpaarung zeigt der durchschnittliche Reaktionsverlauf im ISI einen von Anfang an signifikant steileren Amplitudenabfall als im entsprechenden Tonintervall bei Reiz-Zufallsfolge. Dieses Ergebnis steht mit einem Befund von Putney (1973) in vollem Einklang. Da Putneys intraindividueller Kontrollversuch im Gegensatz zu unserer Reihenfolge vor der Reizpaarung durchgeführt wurde, kann es sich nicht um einen bloßen Reihenfolgeeffekt handeln. Auch Torres (1968) stellte auf der Basis von Blockierungshäufigkeiten gegenüber einer Kontrollstichprobe eine signifikant verstärkte Arousal-Reaktion bei Reizpaarung fest, die sich vor allem in dem lichtnahen Abschnitt des ISI manifestiert. An der Ausbildung paarungsabhängiger EEG-Arousal-Reaktionen kann also nicht gezweifelt werden. Sensitivierungsprozesse (Thompson u. Spencer, 1966) sind keine hinreichende Erklärung der Effekte (z. B. Milstein, 1965).

Schon im ersten 5-Trialblock hat sich im Vergleich zur vorangehenden Habituerungsphase eine Arousal-Reaktion mit erheblich steilerem Anfangsabfall der Alpha-Amplitude — bei sonst gleichem Verlaufstyp — herausgebildet. Vergleichbares ist beim Kontrollversuch nicht festzustellen. Der Vorgang scheint sich in den älteren Beobachtungen eines

abrupten Anstiegs der Blockierungshäufigkeit in den ersten Paarungstrials zu spiegeln (z. B. Visser, 1961). Wir nehmen an, daß die EEG-Komponente einer Orientierungsreaktion (Voronin u. Sokolov, 1960) auf den neuen Stimuluskomplex vorliegt, der schon nach wenigen Trials auch in seinen festen zeitlichen Beziehungen registriert wird. Von Orientierungsreaktionen auf einen Stimulus, der einen zweiten signalisiert, ist bekannt, daß sie sich schneller und stärker entwickeln, als Orientierungsreaktionen auf den gleichen, aber ungepaarten Reiz (Lynn, 1966).

In der weiteren Trialfolge verlagert sich die Arousal-Reaktion in Verlauf und Maximum zunehmend zum Beginn des Lichtreizes. Sie tritt mit Verzögerung auf und scheint sich andererseits dem Lichtreiz anzupassen. Die Veränderungen betreffen besonders den lichtnahen Abschnitt, dessen mittlere Alpha-Amplitude im Verhältnis zu den vorangehenden Abschnitten linear abnimmt. Im Kontrollexperiment bleibt der anfängliche Reaktionstyp statistisch unverändert. Auch Putney und Torres weisen für die lichtnahe Arousal-Komponente im Konditionierungsversuch monotone Trialrends nach (Reduktion der Alpha-Amplitude bzw. Anstieg der Blockierungshäufigkeit), ohne jedoch dabei den Verlaufsaspekt der Reaktion im ISI zu berücksichtigen. Parallel mit diesen Veränderungen schwächt sich die Licht-Arousal-Reaktion ab³ (zunehmend steiler verlaufende Rückbildung der Alpha-Amplitude), ein Vorgang, der nicht primär mit der Verkürzung der Reaktionszeiten zusammenhängt.

Nach einer auf ähnlichen Befunden beim Konditionieren des hautgalvanischen Reflexes basierenden Konzeption von Kimmel (1966) könnten die Verzögerung der initialen Arousal-Reaktion im ISI und die Verminderung der Licht-Reaktion auf einen inhibitorischen Prozeß im Sinne Pawlows zurückzuführen sein: „The classical conditioning process is characterized as a ‚dynamically‘ gradual transition from an initial excitatory state, in which the CS produces a short-latency CR to an increasingly inhibitory condition, in which both the CR and UCR are attenuated and the former is greatly delayed . . .“. Die Verlagerung der Arousal-Reaktion zum Lichtreiz ist jedoch bei der untersuchten Folge von 20 Trials nicht mit einer Abschwächung der Reaktion verbunden und andererseits scheint sich in ihr ein Bezug zum Lichtreiz auszudrücken, der der initialen Orientierungsreaktion fehlt.

Es liegt nahe, die Veränderungen über die Trialfolge als progressive Transformation der initialen Orientierungsreaktion in eine „antizipato-

3 Die Reaktion auf den zweiten Reiz wurde in früheren Konditionierungsversuchen wenig beachtet und als relativ konstante Größe angesehen. Tatsächlich ist sie in den Konditionierungsprozeß einbezogen, wie neuere Studien an den verschiedensten Reaktionen nachweisen (z. B. Kimmel, 1966; Black u. Walter, 1965; Martin u. Levey, 1969). Auf eine paarungsabhängige Verminderung der Blockierungshäufigkeit nach Licht machte die Untersuchung von Wells (1959) aufmerksam.

rische“ Reaktion (Knott u. Henry, 1941; Davidoff u. McDonald, 1964) aufzufassen. Frühere Autoren demonstrierten an Einzelbeispielen eine zunehmende Lokalisierung der anfänglich über weiten Bereichen des Schädels ableitbaren („generalisierten“) ISI-Arousal-Reaktion im Projektionsareal des zweiten Reizes (parieto-occipital bei Licht, kontralateral-zentral bei motorischer Aktivität bzw. somato-sensibler Reafferenz (z. B. Gastaut *et al.*, 1957; Morrell, 1961). Sie betrachteten diese topographische Spezifität als Indiz für eine antizipatorische Reaktion (CR) im Sinne des klassischen Konditionierens. Der „exzitatorische Prozeß“ konzentriert sich im Areal des unbedingten Reizes (UCS) bei gleichzeitiger „Inhibition“ in anderen corticalen Regionen. Unsere Ergebnisse lassen keine Wechselwirkungen zwischen Elektrodenposition und Reaktionsverlauf erkennen. Allerdings müßten auch weitere Ableitungen analysiert werden, um zu entscheiden, ob es sich bei der zum Lichtreiz verlagerten Arousal-Reaktion um eine in der topographischen Verteilung lichtspezifische und somato-motorisch-spezifische Reaktion handelt.

Neben exzitatorischen und inhibitorischen Prozessen des klassischen Konditionierens sind bei einem Paradigma mit instruierter motorischer Reaktion der Vp. noch andere Faktoren zu erwägen. Die zum Lichtreiz verlagerte Reaktion könnte als unspezifischer Arousal-Indicator der sich zunehmend konkretisierenden Erwartung des Lichtsignals und der Aktionstendenz verstanden werden. Solche und andere psychologische Variablen werden in Zusammenhang mit der unter gleichen experimentellen Bedingungen auftretenden „contingent negative variation“ diskutiert (Karlin, 1970; Tecce, 1972), deren mögliche Kovariation mit den Alpha-Amplitudenänderungen noch zu untersuchen ist.

Literatur

- Albino, R., Burnand, G.: Conditioning of the alpha rhythm in man. *J. exp. Psychol.* **67**, 539—544 (1964)
- Anokhin, P. K.: *Electroencephalographic analysis of the conditioned reflex*. Moscow Press 1958
- Babiyani, S. M.: Human EEG during formation of conditioned reflexes. *Bull. exp. Biol. Med.* **50**, 881—884 (1961)
- Beck, E. C., Doty, R. W., Kooi, K. A.: Electrocortical reactions associated with conditioned flexion reflexes. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **10**, 279—289 (1958)
- Black, S., Walter, W. G.: Effects on anterior brain responses of variation in the probability of association between stimuli. *J. psychosom. Res.* **9**, 33—43 (1965)
- Davidoff, R. A., McDonald, D. G.: Alpha blocking and autonomic responses in neurological patients. *Arch. Neurol. (Chic.)* **10**, 283—292 (1964)
- Durup, G., Fessard, A.: Observations psycho-physiologiques relatives a l'action des stimuli visuels et auditifs. *Ann. Psychol.* **36**, 1—32 (1935)
- Esecover, H. B., Torres, A., Taylor, R., Wilkens, B., Malitz, S.: Contingent alpha blocking and sensitization. *Nature (Lond.)* **201**, 1247—1248 (1964)

- Fejgenberg, I. M.: Some features of the similarity and dissimilarity of conditioned and orienting reactions. In: XVII Int. Congr. Psychol. Symp. 3, Integrative forms of conditioned reflexes (Edit.: E. A. Asratjan), pp. 85—89. Moscow 1966
- Gastaut, H., Jus, A., Jus, C., Morrell, F., Storm van Leeuwen, W., Dongier, S., Naquet, R., Regis, H., Roger, A., Bekkering, D., Kamp, A., Werre, J.: Etude topographique des reactions electroencephalographiques conditionées chez l'homme. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **9**, 1—34 (1957)
- Hofer, M. A., Hinkle, L. E.: Conditioned alpha blocking and arousal: The effects of adrenaline administration. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **17**, 653—660 (1964)
- Jasper, H., Shagass, C.: Conditioning the occipital alpha rhythm in man. *J. exp. Psychol.* **28**, 373—387 (1941)
- Karlin, L.: Cognition, preparation, and sensory-evoked potentials. *Psychol. Bull.* **73**, 122—136 (1970)
- Kimmel, H. D.: Inhibition of the unconditioned response in classical conditioning. *Psychol. Rev.* **73**, 232—240 (1966)
- Knott, J. R., Henry, C. E.: The conditioning of the blocking of the alpha rhythm of the human electroencephalogram. *J. exp. Psychol.* **28**, 134—144 (1941)
- Lynn, R.: Attention, arousal and the orientation reaction. Oxford-London: Pergamon Press 1966
- Martin, I., Levey, A. B.: The genesis of the classical conditioned response. Oxford-London: Pergamon Press 1969
- Milstein, V.: Contingent alpha blocking: conditioning or sensitization? *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **18**, 272—277 (1965)
- Morrell, F.: Electrophysiological contributions to the neural basis of learning. *Physiol. Rev.* **41**, 443—494 (1961)
- Morrell, F., Jasper, H.: Electrographic studies of the formation of temporary connections in the brain. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **8**, 201—215 (1956)
- Morrell, F., Ross, M. H.: Central inhibition in cortical conditioned reflexes. *Arch. Neurol. Psychiat. (Chic.)* **70**, 611—616 (1953)
- Putney, R. T.: Conditioned alpha blocking re-examined with the measurement of individual wave amplitudes. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **34**, 485—493 (1973)
- Rescorla, R. A.: Pavlovian conditioning and its proper control procedures. *Psychol. Rev.* **74**, 71—80 (1967)
- Tecce, J. J.: Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychol. Bull.* **77**, 73—108 (1972)
- Thompson, L. W., Botwinick, J.: The role of the preparation interval in the relationship between EEG alpha-blocking and reaction time. *Psychophysiol.* **3**, 131—142 (1966)
- Thompson, R. F., Spencer, W. A.: Habituation: A model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. *Psychol. Rev.* **73**, 16—43 (1966)
- Torres, A. A.: Sensitization and association in alpha blocking "conditioning". *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **24**, 297—306 (1968)
- Travis, L. E., Egan, J. P.: Conditioning of the electrical response of the cortex. *J. exp. Psychol.* **22**, 524—531 (1938)
- Visser, S. L.: Correlations between the contingent alpha blocking, EEG characteristics and clinical diagnosis. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **73**, 438—446 (1961)
- Visser, S. L.: Relationship between contingent alpha-blocking and conditioned psychogalvanic reflex. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **15**, 768—774 (1963)

- Voronin, L. G., Sokolov, E. N.: Cortical mechanisms of the orienting reflex and its relation to the conditioned reflex. *Electroenceph. clin. Neurophysiol., Suppl.* **13**, 335—346 (1960)
- Walter, W. G.: The vocabulary of psycho-physiology. Comment on Visser's communication. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **13**, 447—448 (1961)
- Wells, C. E.: Modification of alpha-wave responsiveness to light by juxtaposition of auditory stimuli. *Arch. Neurol. (Chic.)* **1**, 689—694 (1959)
- Wells, C. E., Wolff, H. G.: Formation of temporary cerebral connections in normal and brain-damaged subjects. *Neurology (Minneap.)* **10**, 335—340 (1960)

Prof. Dr. G. Grünewald
Institut f. Hirnforschung
D-4000 Düsseldorf
Himmelgeisterstr. 300
Bundesrepublik Deutschland

Dr. E. Grünewald-Zuberbier
Dipl.-Psych. A. Rasche
Neurologische Universitäts-Klinik
mit Abt. für Neurophysiologie
D-7800 Freiburg i. Br., Hansastr. 9a
Bundesrepublik Deutschland