

## Differentielle EEG-Veränderungen bei visuomotorischen und kognitiven Tätigkeiten \*

GERHARD GRÜNEWALD, OLGA SIMONOVA und OTTO D. CREUTZFELDT

Abteilung für Neurophysiologie des Max-Planck-Institutes für Psychiatrie, München

Eingegangen am 30. Juli 1968

### *Differential EEG-Alterations during Visuomotor and Cognitive Tasks*

*Summary.* 1. The EEG's of precentro-central (PC) and occipito-temporal (OT) areas were recorded with telemetry, and their changes during 6 standardised visuomotor and 2 cognitive tasks were compared with the EEG during rest with open eyes. Automatic EEG analysis on the principle of zero-crossing and interval analysis was used. The EEG changes during tasks differed significantly in the PC and OT areas. Furthermore, they were dependent on individual factors (type of resting EEG with the eyes open) and on characteristics of the tasks. On the other hand, they were not correlated with the degree of attention or concentration involved in the performance of each task, as assessed by each subject using the method of comparison of pairs.

2. In the frequency class of 8.5—12.5/sec, a significant decrease in the number of waves was seen during all tasks in the PC areas, but in the OT areas an increase or decrease was seen in different individuals: a higher degree of decrease (blocking) was found when the resting EEG showed many alpha-waves during rest (eyes open), a smaller degree of decrease or even increase (alpha-activation) was seen when the resting EEG showed a low alpha-rate during rest. In the frequency range of 12.5—16.0/sec the OT-EEG showed an increase during all tasks, while no effect was seen in the PC-EEG's. Waves between 6—8.5/sec did not show a significant change during the tasks.

3. After eliminating the influence of the resting EEG by calculation (regression analysis), a differentiation between EEG reactions to different tasks became more evident. The PC alpha-rate showed the least decrease during cognitive tasks, while the OT alpha-rate showed the highest tendency towards activation during maze drawing with direct or mirror image control. The occipital beta-activation was lowest during writing without visual control.

*Key-Words:* Visuomotor tasks — Cognitive tasks — EEG correlations — Man.

*Zusammenfassung.* Bei gesunden Personen wurden die EEG-Veränderungen während sechs visuomotorischer und zwei kognitiver Tätigkeiten gegenüber Ruhephasen mit offenen Augen quantitativ untersucht (automatische Intervall-Analyse). Es zeigte sich, daß die Tätigkeitseffekte in bestimmten Frequenzbereichen des EEG vom Ort der Ableitung, von aufgabenspezifischen und von individuellen Faktoren abhängen. Unterschiedliche Grade der allgemeinen Aufmerksamkeitsbeanspruchung durch die einzelnen Tätigkeiten spielen demgegenüber eine untergeordnete Rolle.

1. Gruppenstatistisch waren im Frequenzbereich 8,5—12,5 Hz über präz.-zentr. Hirnabschnitten bei allen Aufgaben signifikante Verminderungen der Wellen-

---

\* Die Arbeit wurde mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

häufigkeit, über occip.-temp. Hirnabschnitten dagegen der statistischen Tendenz nach sowohl Verminderungen als auch Steigerungen der Wellenhäufigkeit zu beobachten. Dabei ließen sich jeweils signifikante Unterschiede zwischen den Tätigkeitseffekten der acht Aufgaben nachweisen.

2. Im Frequenzbereich 12,5—16,0 Hz wurde die Wellenhäufigkeit in der occip.-temp. Ableitung bei Tätigkeit generell vermehrt, auch hier mit gesicherten Unterschieden zwischen den Aufgaben. In der präz.-zent. Ableitung waren keine Tätigkeitseffekte festzustellen.

3. Die individuellen Tätigkeitsreaktionen im Alphafrequenzbereich beider Ableitungen erwiesen sich als eine Funktion der reliablen Wellenhäufigkeiten unter Ruhebedingungen: bei hohen Ruhewerten relativ starke Verminderung, bei geringen Ruhewerten relativ schwache Verminderung bzw. Steigerung der Wellenhäufigkeit während Tätigkeit.

4. Zwischen den durchschnittlichen EEG-Veränderungen der einzelnen Tätigkeiten und dem Grade der durchschnittlichen, subjektiv beurteilten Aufmerksamkeitsanspannung bei den einzelnen Tätigkeiten waren keine signifikanten Korrelationen nachweisbar.

*Schlüsselwörter:* Visuomotorische und kognitive Tätigkeit — EEG-Korrelation.

## A. Einleitung

Neuere Untersuchungen über die Veränderungen der EEG-Rhythmen während psychischer Aktivitäten lassen eine zunehmende Differenzierung der diesbezüglichen Zusammenhänge erkennen. Das gilt z. B. für den klassischen Befund der EEG-„arousal“-Reaktion (Verschwinden bzw. Verminderung der Alphawellen mit Abflachung und Vermehrung kleiner Betawellen) bei Aufmerksamkeitszuwendung und geistiger Konzentration, deren Mechanismus als Desynchronisierung und differenzierte Tätigkeit des Cortex gedeutet wurde (s. JUNG, 1967; S. 622ff.). Untersuchungen von MUNDY-CASTLE (1957); MULHOLLAND u. RUNNALS (1962); MULHOLLAND (1965), KREITMAN u. SHAW (1965) u. a. haben gezeigt, daß selektive Aufmerksamkeitszuwendung und geistige Aktivität auch zu einer Vermehrung der Alphawellen führen können und daß diese unterschiedlichen Reaktionen des Alphas rhythmus von Bedingungen wie geschlossene oder offene Augen, von sensorischen und kognitiven Parametern der Versuchstätigkeiten, von individuellen Faktoren und anderem abhängen, ohne daß hierbei schon Klarheit im einzelnen besteht. Des weiteren ist die EEG-arousal-Reaktion bei verschiedenen Beachtungsrichtungen der Aufmerksamkeit (z. B. visueller oder motorischer Aufmerksamkeit, s. OSWALD, 1962; S. 72) und bei geistiger Aktivität hirnlokalisatorisch unterschiedlich dominant ausgeprägt, und es wurde die Erwartung geäußert, daß charakteristische „activity patterns of brain areas for different tasks“ gefunden werden (GIANNITRAPANI, 1966).

Die vorliegende Studie ist exploratorischer Natur und wurde konzipiert, um weitere Anhaltspunkte über die bei den EEG-Veränderungen während psychischer Aktivitäten möglicherweise wirksamen Variablen zu erhalten. Es wurden acht unter standardisierten Bedingungen durch-

geführte visuomotorische und kognitive Versuchstätigkeiten („Tracking“-Aufgaben, Schreibhandlungen und Rechenaufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade) hinsichtlich identischer Auswertungskriterien in ihren EEG-Effekten (Tätigkeit vs. Ruhe mit offenen Augen) statistisch miteinander verglichen. Dabei sollte auch geprüft werden, inwieweit Unterschiede in den Tätigkeitsveränderungen zwischen den Versuchsaufgaben mit unterschiedlichen Graden der Aufmerksamkeitsbeanspruchung durch die einzelnen Versuchstätigkeiten in Beziehung stehen.

## B. Methodik

### *Versuchsdurchführung*

Die Untersuchung wurde an einer Gruppe von 24 gesunden Studenten im Alter von 21–24 Jahren durchgeführt. Bei 8 Versuchspersonen (Vpn) waren die telemetrischen EEG-Registrierungen aus technischen Gründen zum Teil nicht verwertbar, so daß eine Gruppe von 16 Vpn zur Auswertung kam. Jeder Einzelsitzung ging eine standardisierte Anfangsinstruktion über die Versuchstätigkeiten und das Verhalten während des Versuchs voraus. Dabei wurde auch eine optimale Leistungseinstellung der Vpn. angestrebt, um die durch Motivationsunterschiede bedingte Varianz der EEG-Effekte (s. GLASS, 1964) möglichst klein zu halten.

Jede Vp. hatte in balancierter Reihenfolge (acht mal acht lateinisches Quadrat) 8 Versuchstätigkeiten durchzuführen. Diese lassen sich wie folgt klassifizieren:

#### 1. Kontinuierliche visuomotorische Tätigkeiten, die höhere Grade an räumlicher Präzision verlangen

*Tracking-Aufgaben* (s. BAHRICK u. NOBLE, 1966).

A<sub>1</sub>: Nachfahren eines komplizierten Linienmusters mit dem Bleistift ohne Berührung der Begrenzungslinien und so schnell wie möglich (das benutzte Linienmuster wurde bereits an anderer Stelle in diesem Archiv veröffentlicht; s. Bd. 211, Heft 1, S. 28).

A<sub>2</sub>: Die gleiche Aufgabe in Spiegelsicht.

*Schreibhandlungen* (s. GRÜNEWALD, 1966).

B<sub>1</sub>: Zeilenweise Ausführung einfacher Hin- und Herbewegungsfolgen in persönlichem Tempo.

B<sub>2</sub>: Laufende Niederschrift des Testwortes: monom.

B<sub>3</sub>: Laufende Niederschrift des Testwortes: Dampfschiffahrtsgesellschaft.

B<sub>4</sub>: Die gleiche Aufgabe wie B<sub>3</sub> bei Abdeckung der Schreibfläche, also ohne visuelle Kontrolle (s. GRÜNEWALD u. ZUBERBIER, 1965).

#### 2. Kontinuierliche kognitive Tätigkeiten, bei denen graphomotorische Akte nur gelegentlich als Nebentätigkeit erfolgen

*Rechenaufgaben*.

C<sub>1</sub>: Einfache Additions- und Subtraktionsaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests (DÜKER u. LIENERT, 1959) mit Niederschrift der Ergebnisse.

C<sub>2</sub>: Multiplikation zweistelliger Zahlen mit Niederschrift der Ergebnisse.

Wie zu erkennen, wurde innerhalb jeder der drei Tätigkeitsgruppen der visuomotorisch-koordinative bzw. der kognitive Schwierigkeitsgrad der Aufgaben vari-

iert. Anhaltspunkte für den Grad der Aufmerksamkeitsbeanspruchung der einzelnen Aufgaben lieferten systematische Vergleichsurteile der Vpn. nach Beendigung des Versuchs (siehe im folgenden).

Da die EEG-Ableitungen während der Tätigkeits- und Ruhephasen des Versuchs telemetrisch erfolgten, konnten die motorischen Aufgaben völlig unbehindert durchgeführt werden. Die Vp. saß bequem an einem Schreibtisch. Für die graphische Tätigkeit wurde ein Kontaktbleistift benutzt, der es erlaubte, synchron mit den EEG-Ableitungen die Bewegungen auf dem Papier zu registrieren. Der Versuchsraum war akustisch gut abgeschirmt und optisch unauffällig. Sämtliche Registrierapparaturen befanden sich in einem benachbarten Labor. Seitlich von der Vp. saß der Versuchsleiter, der die Versuchsdurchführung steuerte und kontrollierte und Beginn und Beendigung der einzelnen Versuchsphasen dem Registriererraum signalisierte. Während der Versuchsdurchführung wurde nicht mehr gesprochen. Jede einzelne Aufgabe wurde durch eine schriftliche Instruktion eingeführt. Nach ihrer Kenntnisnahme folgte eine ca. 90 sec dauernde Ruhephase ( $R_1$ ) während der die Vp. mit offenen Augen ruhig dasaß, ohne herumzuschauen. Auf ein Zeichen des Vl. begann die jeweils 120 sec dauernde Tätigkeitsphase (T). Anschließend wurde wieder ca. 90 sec Ruhe mit offenen Augen registriert ( $R_2$ ) und nach Beendigung dieser Phase die nächste Aufgabeninstruktion vorgelegt. Die Gesamtdauer des Versuchs pro Vp. betrug ca. 50 min.

### *EEG-Registrierung und -Auswertung*

Das telemetrische Registrierprogramm bestand in vier bipolaren EEG-Ableitungen, einer EKG-Ableitung (Brustwand) und einer Ableitung des sog. Ruhetonus der Skelettmuskulatur (M. gastrocnemicus). EKG und EMG wurden als bewährte Indikatoren psychischer Anspannung einbezogen. Die EEG-Elektroden lagen auf den Positionen: T5—O1, T6—O2, F3—C3, F4—C4 („ten twenty system“ s. JASPER, 1958), wobei C3 und C4 etwa den Handarealen der motorischen Rinde entsprechen. Die zugehörigen kleinen, transistorisierten Sender waren an einer bequemen Kopfhaut der Vp. befestigt. Jeder Sender arbeitete mit eigener Trägerfrequenz in dem Bereich um 100 Megahertz. Die Registrierung des Programms erfolgte während sämtlicher Tätigkeits- und Ruhephasen des Versuchs. Die bioelektrischen Potentiale sowie das Schreibmechanogramm wurden zum Zwecke späterer elektronischer Analyse auf Magnetband gespeichert. Eine Papierregistrierung während des Versuchs diente der Kontrolle von Störungen und Artefakten, sowie Protokollzwecken.

Nur der Frequenzparameter der gespeicherten EEG-Potentiale wurde bisher quantitativ erfaßt. Dazu diente ein Intervallanalysator, System Schwarzer (s. SCHWARZER u. REETZ, 1964), der nach dem Nulldurchgangsprinzip die Periodenzeiten der aufeinanderfolgenden Potentialschwankungen unabhängig von ihrer Form und Amplitude mißt und am Ausgang proportionale Meßimpulse liefert. Analysiert wurde der breitbandig vorgefilterte Frequenzbereich von 6—16 Hz. Die Auslöschschwelle lag bei 10  $\mu$ V. Die Auszählung der registrierten Analogimpulse erfolgte nach drei Frequenzklassen: 6,0—8,5 Hz, 8,5—12,5 Hz, 12,5—16,0 Hz, jeweils in 10 sec-Intervallen und getrennt für jede Tätigkeits- und Ruhephase des Versuchs. Die in Abschnitt C mitgeteilten EEG-Befunde beziehen sich auf die entsprechenden Wellenhäufigkeiten der kontralateralen Ableitungen T5—O1 (occip.-temp. l.) und F3—C3 (präz.-zent. l.).

### *Skalierung der Aufmerksamkeitsanspannung*

Unmittelbar nach Beendigung des Versuchs erhielt die Vp. eine schriftliche Instruktion zur vergleichenden Beurteilung des Grades der Aufmerksamkeits-

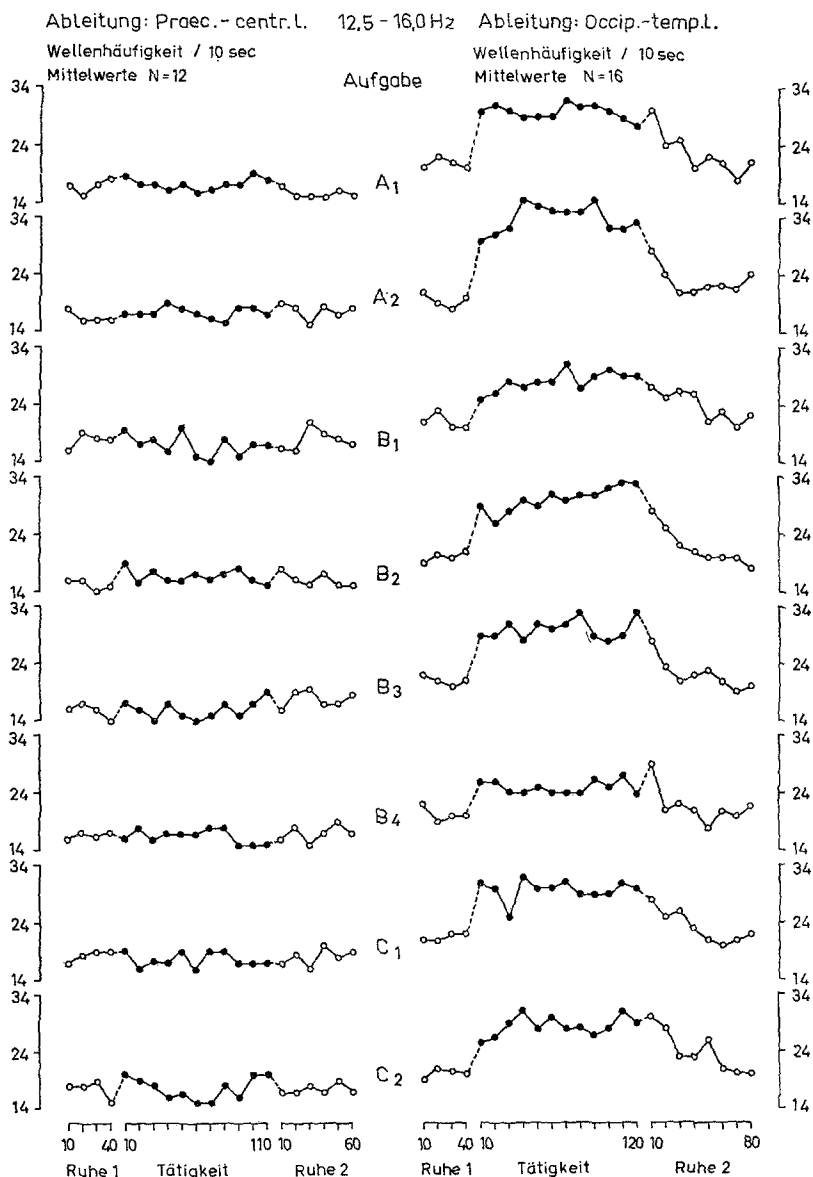


Abb. 1. Präzentral-zentraler und occipital-temporaler EEG-Frequenzbereich 12,5 bis 16,0 Hz: Gruppenmittel der Wellenhäufigkeit in 10 sec-Intervallen des Versuchsablaufs Ruhephase 1 — Tätigkeitsphase — Ruhephase 2. Versuchstätigkeiten: A 1 Nachfahren komplizierter Linienmuster in Normalsicht; A 2 Nachfahren der Linienmuster in Spiegelsicht; B 1 Graphische Hin- und Herbewegungsfolgen; B 2 Laufende Niederschrift des Testwortes monom; B 3 Laufende Niederschrift des Testwortes

anspannung während der einzelnen Versuchstätigkeiten. Für je zwei Tätigkeiten, und zwar in zufälliger Reihenfolge jede mit jeder gepaart, also in 28 Paarvergleichen war zu entscheiden, bei welcher Tätigkeit insgesamt die stärkere Aufmerksamkeitsanspannung aufgebracht werden mußte. Die Häufigkeit vergleichsweise stärkerer Aufmerksamkeitsanspannung pro Tätigkeit wird als Bevorzugungshäufigkeit bezeichnet und kann als Rangmaß für den Grad der Aufmerksamkeitsbeanspruchung dieser Tätigkeit verwendet werden. (Zu Einzelheiten der Methodik s. BARTENWERFER, KÖTTER, SICKEL, 1963.)

### C. Ergebnisse

Im Rahmen des folgenden Ergebnisberichtes muß aus Raumgründen auf die Wiedergabe von Registrierbeispielen verzichtet werden. Diese werden an anderer Stelle veröffentlicht (s. CREUTZFELDT, GRÜNEWALD, SIMONOVA u. SCHMITZ, 1968). Die Ergebnisse der occip.-temp. Ableitung beziehen sich auf 16 Vpn., diejenigen der präz.-zentr. Ableitung auf 12 Vpn., da hier 4 Vpn. wegen zu stark gestörter EEG-Registrierungen von der Auswertung eliminiert werden mußten. Die interferenzstatistische Analyse der EEG-Daten erfolgte durch nonparametrische Verfahren, da vermutlich selbst als Approximation keine Normalverteilung der Wellenhäufigkeiten angenommen werden kann. Insbesondere sind die Wellenzahlen der untersuchten EEG-Frequenzbereiche unterhalb des Symmetriewertes der Häufigkeitsverteilungen als wahrscheinlicher zu betrachten als oberhalb.

#### I. Unterschiede zwischen Tätigkeit und Ruhe

Abb.1 zeigt die mittleren Wellenhäufigkeiten des *Frequenzbereichs* 12,5–16,0 Hz in 10 sec-Intervallen des Versuchsverlaufs, getrennt für beide Ableitungen und für jede Aufgabe. Während die präz.-zentr. Ableitung keine systematischen Veränderungen während des Versuchsverlaufs erkennen läßt, tritt in der occip.-temp. Ableitung ein genereller Tätigkeitseffekt hervor. Bei jeder Versuchsaufgabe sind die Wellenhäufigkeiten gegenüber beiden Ruhephasen deutlich erhöht. Bereits im ersten 10 sec-Intervall nach Tätigkeitsbeginn steigt die Wellenzahl an und nimmt meist während des Tätigkeitsverlaufs noch weiter zu. Ein entsprechender monotoner Trend über die gesamte Tätigkeitsphase ist jedoch nur für die Aufgaben B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> zu sichern; Trends höherer Ordnung waren in keinem Fall statistisch nachweisbar (Trendanalyse nach FERGUSON, 1965). Nach Beendigung der Tätigkeitsphase ist bei jeder der acht Aufgaben ein gradueller Abfall der Wellenhäufigkeiten

Dampfschiffahrtsgesellschaft; B 4 die gleiche Aufgabe wie B 3 ohne visuelle Kontrolle; C 1 Additions- und Subtraktionsaufgaben (KLT); C 2 Multiplikationen zweistelliger Zahlen. Die Augen waren unter Tätigkeits- und Ruhebedingungen stets offen zu halten. Zu den statistischen Unterschieden zwischen Tätigkeitsphase und Ruhephasen s. Tab.1

auf das Ausgangsniveau zu bemerken. Bis auf Aufgabe A<sub>2</sub> ist dieser Trend der Ruhephase 2 in allen Fällen auf dem 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>- bzw. 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-Niveau gesichert.

Tabelle 1. *EEG-Frequenzbereich 12,5—16,0 Hz: Gruppenmittel der individuellen durchschnittlichen Wellenhäufigkeiten pro 10 sec bei verschiedenen visuomotorischen und kognitiven Versuchstätigkeiten (T) und bei vorhergehender sowie nachfolgender Ruhe mit offenen Augen (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>)*

Aufgabe	Präz.-zentr. l. N = 12					Occip.-temp. l. N = 16				
		R <sub>1</sub>	T	R <sub>2</sub>		R <sub>1</sub>	T	R <sub>2</sub>	T/R <sub>1</sub> <i>p</i> ≤	T/R <sub>2</sub> <i>p</i> ≤
A <sub>1</sub>	$\bar{x}$	16,5	17,1	14,6		20,5	30,4	20,8	0,01	0,01
	<i>s</i>	6,5	7,0	6,4		10,0	13,4	12,3		
A <sub>2</sub>	$\bar{x}$	16,6	17,3	18,1		19,3	33,7	22,0	0,001	0,001
	<i>s</i>	8,3	7,1	11,7		8,4	17,3	11,3		
B <sub>1</sub>	$\bar{x}$	17,7	17,0	17,0		20,8	28,2	21,6	0,01	0,05
	<i>s</i>	7,0	7,0	9,5		9,4	9,8	11,7		
B <sub>2</sub>	$\bar{x}$	15,2	16,7	15,0		20,0	30,4	20,1	0,01	0,01
	<i>s</i>	6,7	6,0	7,2		10,9	11,3	12,5		
B <sub>3</sub>	$\bar{x}$	15,3	16,2	17,3		21,0	30,1	20,7	0,01	0,01
	<i>s</i>	6,5	6,9	9,5		11,1	10,9	12,0		
B <sub>4</sub>	$\bar{x}$	16,4	16,4	17,7		20,4	24,9	20,2	n. s.	n. s.
	<i>s</i>	8,4	7,1	7,5		11,2	9,6	13,0	(0,06)	(0,055)
C <sub>1</sub>	$\bar{x}$	18,3	17,8	18,3		21,7	29,8	21,7	0,01	0,01
	<i>s</i>	8,2	6,1	8,9		12,1	10,9	13,7		
C <sub>2</sub>	$\bar{x}$	17,5	17,3	17,7		20,1	28,3	21,7	0,01	0,01
	<i>s</i>	8,2	6,8	9,0		13,0	10,4	13,0		

Zu den Aufgaben A, B und C s. Methodik und Legende Abb. 1.

Gruppenmittel ( $\bar{x}$ ), Standardabweichungen (*s*) und Signifikanzwerte der Unterschiedsprüfung mit dem Wilcoxon-Test. Die Unterschiede T/R<sub>1</sub> und T/R<sub>2</sub> der präz.-zentr. Ableitung sowie sämtliche Differenzen R<sub>1</sub>/R<sub>2</sub> sind insignifikant.

Zur statistischen Analyse des Einflusses der Tätigkeit auf die Wellenhäufigkeit wurden die individuellen Durchschnittswerte der Wellenhäufigkeit pro 10 sec während Tätigkeit und während der beiden Ruhephasen herangezogen. Für die Ruhephase 2 wurden nur die letzten 40 sec berücksichtigt, bei denen Tätigkeitsnachwirkungen keine nennenswerte Rolle mehr spielen. Aus der Tab. 1 sind die entsprechenden Gruppenmittel, Standardabweichungen und Signifikanzwerte der statistischen Unterschiedsprüfung (Wilcoxon-Test) zu entnehmen. Die Erhöhung der Wellenhäufigkeiten bei Tätigkeit gegenüber den Ruhephasen

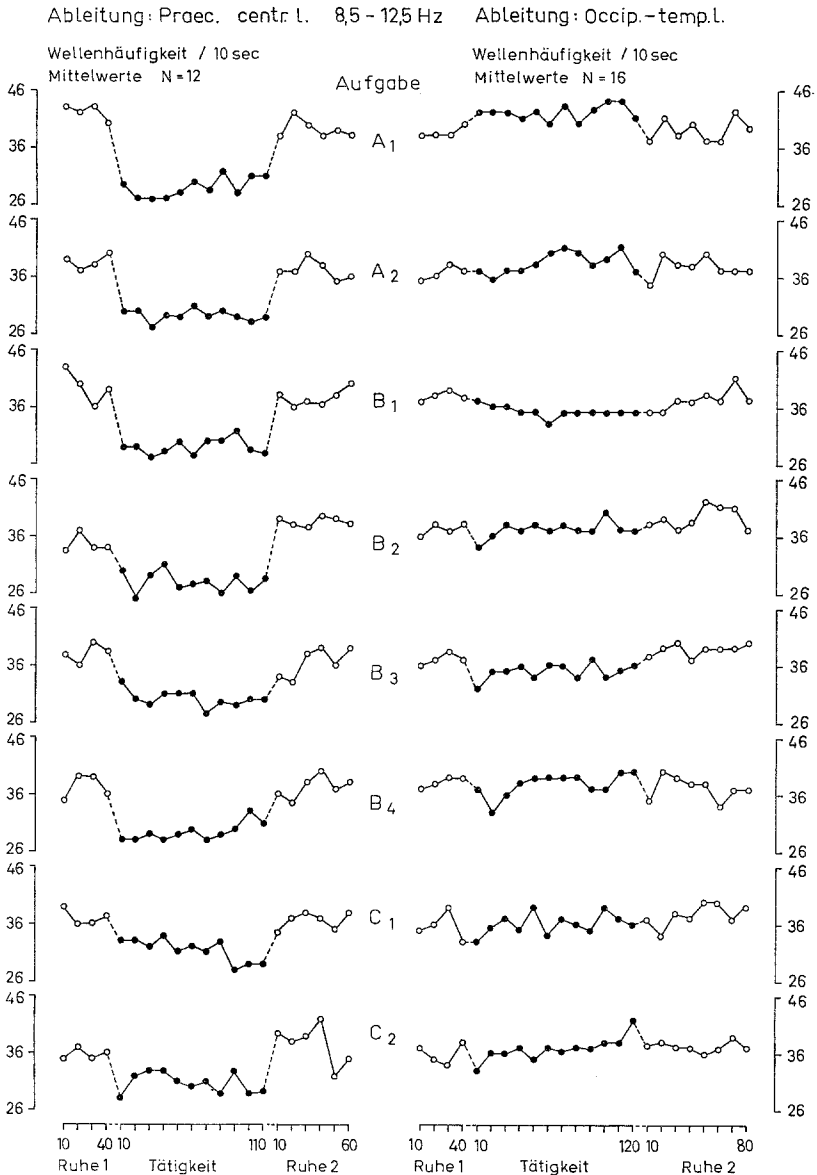


Abb. 2. Präzentral-zentraler und occipital-temporaler EEG-Frequenzbereich 8,5 bis 12,5 Hz: Gruppenmittel der Wellenhäufigkeit in 10 sec-Intervallen des Versuchsablaufes Ruhephase 1 — Tätigkeitsphase — Ruhephase 2. Zur Erklärung s. Abb. 1, zu den statistischen Unterschieden zwischen Tätigkeitsphase und Ruhephasen Tab. 2

mit offenen Augen ist zwar numerisch nicht groß, aber mit einer Ausnahme statistisch sehr signifikant. Lediglich Aufgabe B<sub>4</sub>, die Schreibtätigkeit ohne direkte visuelle Kontrolle, erreicht nicht ganz das Signifikanzniveau.

Tabelle 2. *EEG-Frequenzbereich 8,5–12,5 Hz: Gruppenmittel der individuellen durchschnittlichen Wellenhäufigkeiten pro 10 sec bei verschiedenen visuomotorischen und kognitiven Versuchstätigkeiten (T) und bei vorhergehender sowie nachfolgender Ruhe mit offenen Augen (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>)*

Aufgabe	Präz.-zentr. l. $N = 12$					Occip.-temp. l. $N = 16$			
		$R_1$	T	$R_2$	$T/R_1$ $p \leq$	$T/R_2$ $p \leq$	$R_1$	T	$R_2$
$A_1$	$\bar{x}$	41,9	29,0	39,6	0,01	0,01	38,5	41,8	38,8
	$s$	17,2	4,9	16,8			10,8	7,6	10,5
$A_2$	$\bar{x}$	38,4	29,1	35,8	0,01	0,01	36,7	38,4	38,1
	$s$	15,1	5,4	24,1			9,2	8,9	12,2
$B_1$	$\bar{x}$	39,1	29,0	38,3	0,001	0,01	37,8	35,2	38,1
	$s$	14,2	5,4	15,2			9,0	6,8	11,1
$B_2$	$\bar{x}$	34,6	27,9	39,3	0,01	0,01	37,2	37,1	40,5
	$s$	12,7	5,0	17,9			9,4	7,2	13,3
$B_3$	$\bar{x}$	38,1	30,1	38,1	0,001	0,05	37,1	34,9	38,9
	$s$	14,3	6,2	16,5			10,6	6,8	10,9
$B_4$	$\bar{x}$	37,0	29,2	37,9	0,01	0,01	37,9	37,8	36,3
	$s$	12,3	7,2	15,8			9,8	7,8	9,5
$C_1$	$\bar{x}$	37,7	31,7	36,3	0,05	n. s.	35,7	36,1	38,5
	$s$	11,3	7,0	10,9		(0,56)	10,7	10,2	12,0
$C_2$	$\bar{x}$	35,8	31,9	35,1	n. s.	n. s.	35,9	36,8	37,3
	$s$	13,0	8,0	13,1	(0,13)	(0,34)	10,4	8,8	9,6

Zu den Aufgaben A, B und C s. Methodik und Legende Abb.1.

Gruppenmittel ( $\bar{x}$ ), Standardabweichungen (*s*) und Signifikanzwerte der Unterschiedsprüfung mit dem Wilcoxon-Test. Die Unterschiede T/R<sub>1</sub> und T/R<sub>2</sub> der occip.-temp. Ableitung sowie sämtliche Differenzen R<sub>1</sub>/R<sub>2</sub> sind insignifikant.

Abb.2 zeigt, daß im Frequenzbereich 8,5–12,5 Hz ebenfalls ein genereller Tätigkeitseffekt vorliegt, hier aber bei der präz.-zentr. Ableitung: die Wellenhäufigkeit ist gegenüber beiden Ruhephasen deutlich herabgesetzt. Auch dieser EEG-Effekt ist bereits in den ersten 10 sec nach Tätigkeitsbeginn ausgeprägt. Systematische Veränderungen sind im Verlauf der Tätigkeitsphase statistisch nicht nachweisbar, lediglich für die Aufgabe C<sub>1</sub> ist ein monotoner Trend schwach zu sichern. Ein gradueller Anstieg der Wellenanzahl nach Tätigkeitsende zum Ausgangs-

niveau der Ruhephase 1 deutet sich bei einigen Aufgaben an, bleibt aber insignifikant. Wie aus Tab.2 hervorgeht, ist die „Blockierung“ der zentralen Rhythmen im 8,5–12,5 Hz-Bereich bis auf die beiden kognitiven Versuchstätigkeiten  $C_1$  und  $C_2$  statistisch gut gesichert. Bei beiden Aufgaben spielen motorische Akte nur als gelegentliche Nebentätigkeiten eine Rolle. Wie die Inspektion der EEG-Registrierungen zeigte, ist mit der Verminderung der Wellenhäufigkeit bei Tätigkeit auch eine Verminderung der Wellenamplitude verbunden.

Die occip.-temp. Ableitung weist in den Gruppenmitteln keine ausgeprägten und einheitlichen Tätigkeitseinflüsse auf. Einige Aufgaben, z.B.  $B_1$  und  $B_3$  lassen eine leichte Verminderung der Wellenhäufigkeit bei Tätigkeit gegenüber den Ruhephasen erkennen, andere, insbesondere  $A_1$  eine Erhöhung (auch hier gehen entsprechende Amplitudenänderungen parallel). Die Unterschiede zwischen Tätigkeit und Ruhe sind jedoch in keinem Fall zu sichern (s. Tab.2). Dieses Ergebnis ist überraschend, da bei den z. T. erheblich und kontinuierlich aufmerksamkeitsbeanspruchenden Versuchstätigkeiten im Durchschnitt eine Verminderung der Wellenhäufigkeit im occipitalen Alphabereich erwartet werden konnte. Diese deutet sich bei den meisten Aufgaben nur im ersten und/oder zweiten 10 sec-Intervall nach Tätigkeitsbeginn an, wo die Wellenhäufigkeit unter dem Durchschnittswert der Ruhephase 1 liegt. Eine Ausnahme bilden die beiden visuomotorischen Tracking-Aufgaben  $A_1$  und  $A_2$ , insbesondere  $A_1$ , die auch im Tätigkeitsdurchschnitt das mittlere Niveau beider Ruhephasen klar überschreitet. Dieser Befund ist nach der klassischen Vorstellung der Zuordnung zwischen selektiver Aufmerksamkeit und arousal-Reaktion im EEG vielleicht noch überraschender, denn die Tracking-Aufgabe erfordert im besonderen Maße detaillierte visuelle und motorische Aufmerksamkeitszuwendungen.

In Tab.2 fällt auf, daß die Standardabweichungen der Tätigkeitsphase generell kleiner sind als die Standardabweichungen der Ruheableitungen. Ähnliches ist im Frequenzbereich 12,5–16,0 (s. Tab.1) nicht zu bemerken. Auf diese interindividuelle Streuungsverminderung bei Tätigkeit wird später noch einzugehen sein.

Wie aus Abb.3 und Tab.3 zu ersehen, sind im Frequenzbereich 6,0 bis 8,5 Hz beider Ableitungen keine statistisch bemerkenswerten Änderungen der Wellenhäufigkeit nachweisbar.

## II. Unterschiede zwischen den Aufgaben

Zur Prüfung von aufgabenspezifischen Unterschieden in den beschriebenen Tätigkeitseffekten wurden die individuellen mittleren Differenzen  $T-R_1$  und  $T-R_2$ , die sog. Reaktionsgrößen, pro Aufgabe gebildet. Abb.4 A demonstriert diese Reaktionsgrößen im Gruppenmittel und macht deutlich, daß bezüglich der drei EEG-Kriterien, die zwischen Tätigkeit und

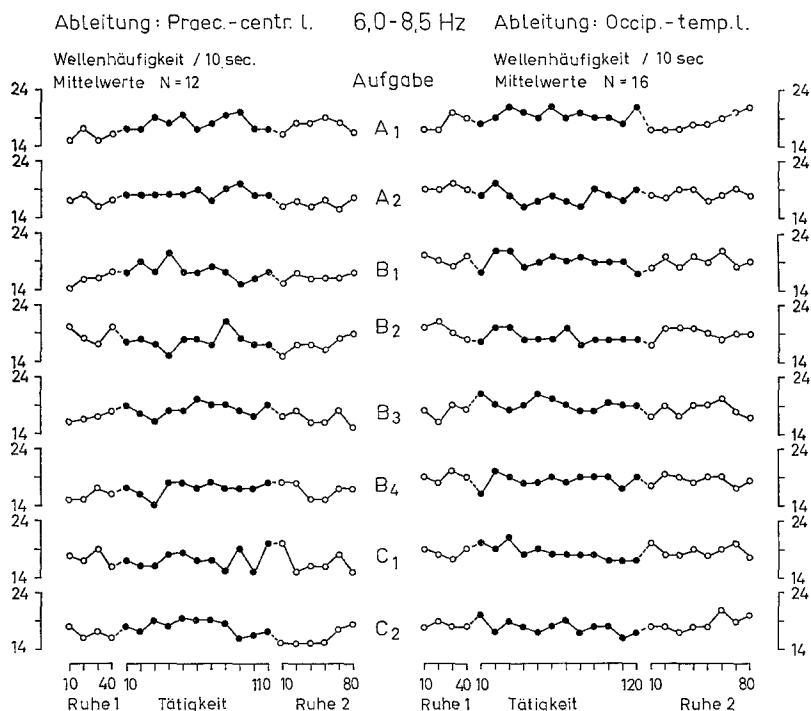


Abb. 3. Präzentral-zentraler und occipital-temporaler EEG-Frequenzbereich 6,0 bis 8,5 Hz: Gruppenmittel der Wellenhäufigkeit in 10 sec-Intervallen des Versuchsablaufs Ruhephase 1 — Tätigkeitsphase — Ruhephase 2. Zur Erklärung s. Abb. 1, zu den statistischen Unterschieden zwischen Tätigkeitsphase und Ruhephasen Tab. 3

Ruhe differenzieren (12,5—16,0 Hz occip.-temp., 8,5—12,5 Hz occip.-temp. und präz.-zentr.) Unterschiede in den Tätigkeitseffekten zwischen den einzelnen Aufgaben bestehen. Das Ergebnis der statistischen Prüfung dieser Varianz sowie auch der Unterschiede in den Wellenhäufigkeiten der beiden Ruhephasen zwischen den Aufgaben ist in Tab. 4 zusammengefaßt (Varianzanalyse nach FRIEDMAN). Nur für die Reaktionsgröße  $T-R_1$  des Frequenzbereichs 12,5—16,0 Hz der occip.-temp. Ableitung besteht ein gesicherter Unterschied zwischen den Aufgaben. Im Einzelvergleich (Wilcoxon-Test) heben sich hier die beiden Tracking-Aufgaben  $A_1$  und  $A_2$ , sowie auch die beiden Schreibaufgaben mit visueller Kontrolle  $B_2$  und  $B_3$  durch stärkere Erhöhung der Wellenhäufigkeit bei Tätigkeit signifikant von der Schreibaufgabe ohne visuelle Kontrolle  $B_4$  ab. Der Tendenz nach gilt das gleiche für die entsprechenden Reaktionsgrößen  $T-R_2$ .

Eine bessere statistische Differenzierung zwischen den Versuchstätigkeiten war durch Zusammenfassung der Reaktionsgrößen der drei

Tabelle 3. EEG-Frequenzbereich 6,0—8,5 Hz. Durchschnittliche Wellenhäufigkeit/10 sec bei verschiedenen visuomotorischen und kognitiven Versuchstätigkeiten (T) und bei vorhergehender sowie nachfolgender Ruhe mit offenen Augen ( $R_1$ ,  $R_2$ )

Aufgabe		Präz.-zentr. l. $N = 12$			Occip.-temp. l. $N = 16$		
		$R_1$	T	$R_2$	$R_1$	T	$R_2$
A <sub>1</sub>	$\bar{x}$	15,8	18,2	17,1	18,3	19,5	19,6
	s	4,1	4,1	8,1	5,2	3,5	6,6
A <sub>2</sub>	$\bar{x}$	17,0	18,3	16,4	19,1	17,9	17,8
	s	3,8	3,9	8,0	6,6	4,5	6,1
B <sub>1</sub>	$\bar{x}$	15,9	17,2	16,9	19,0	19,1	19,0
	s	4,4	3,2	4,0	5,7	4,2	7,4
B <sub>2</sub>	$\bar{x}$	18,8	17,8	17,6	19,7	18,5	18,9
	s	3,9	4,3	5,0	5,7	3,6	7,5
B <sub>3</sub>	$\bar{x}$	17,0	18,1	16,4	18,0	19,3	18,6
	s	4,0	3,5	4,7	5,3	2,9	7,3
B <sub>4</sub>	$\bar{x}$	15,7	17,2	17,1	19,0	18,5	18,7
	s	5,0	4,7	4,6	7,1	3,4	6,8
C <sub>1</sub>	$\bar{x}$	17,4	17,0	17,5	18,2	18,4	18,6
	s	6,6	2,0	7,5	5,9	4,6	6,8
C <sub>2</sub>	$\bar{x}$	16,8	18,2	17,7	18,2	18,2	19,3
	s	5,1	2,5	9,2	7,2	4,0	7,4

Zu den Aufgaben A, B und C s. Methodik und Legende Abb.1.

Gruppenmittel ( $\bar{x}$ ), Standardabweichungen (s). Sämtliche Unterschiede T/ $R_1$ , T/ $R_2$  und  $R_1$ / $R_2$  sind insignifikant.

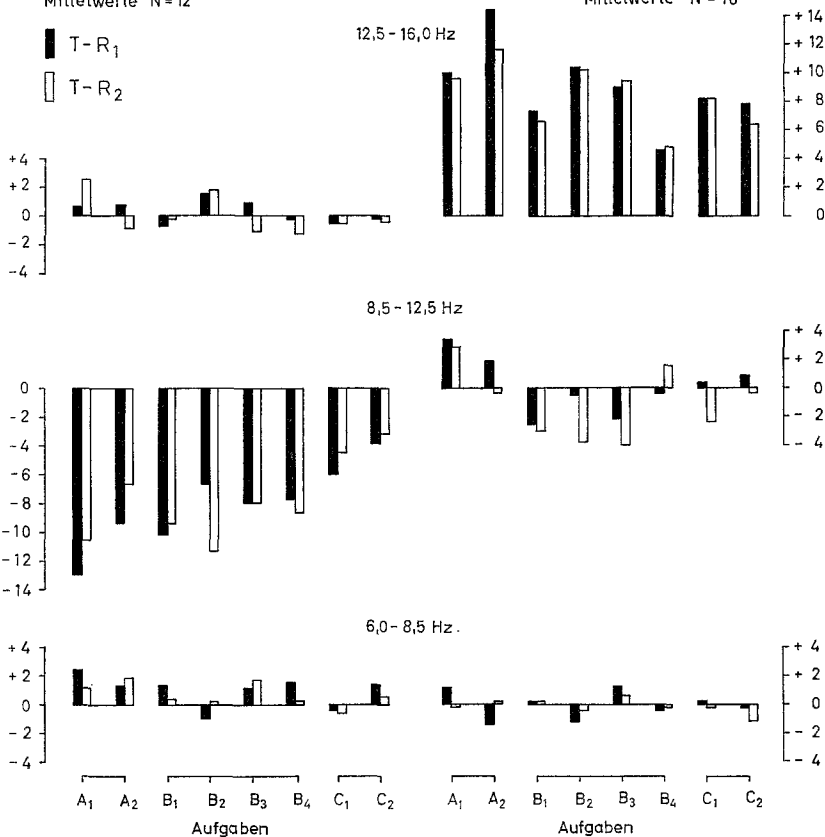
wesentlichen EEG-Kriterien zu einem Reaktionsgrößenindex zu erwarten. Als einfachste Art der Verbindung der drei Merkmale bietet sich eine lineare Trennformel an:  $X = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$ . Durch diskriminanzanalytische Verfahren (LINDER, 1964; S. 238ff.) können die Konstanten  $b_1$ ,  $b_2$  und  $b_3$  so bestimmt werden, daß die nach der Trennformel berechneten Gesamtreaktionsgrößen  $X$  möglichst gut zwischen den acht Versuchstätigkeiten differenzieren. Die Konstanten der Trennfunktion werden dabei durch die Forderung ermittelt, daß die Quadratsumme zwischen den Mittelwerten der Aufgaben im Verhältnis zur quadratischen Restsumme möglichst groß wird (LINDER, 1964; S. 252ff.). In Abb.4B sind die Aufgabenmittelwerte der berechneten Trennfunktion für die Gesamtreaktionsgrößen T- $R_1$  und T- $R_2$  dargestellt. Wie schon aufgrund der drei Einzelreaktionsgrößen (Abb.4A) vermutet werden konnte, heben sich bei ihrer Zusammenfassung zu einem Index die beiden Tracking-Aufgaben A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub>, in erster Linie aber A<sub>1</sub>, von allen übrigen Versuchstätigkeiten ab. Der Friedman-Test ergibt gut gesicherte Unter-

Ableitung : Praec.-centr. L.

Ableitung : Occip-temp. L.

Differenz der Wellenhäufigkeit / 10 sec.  
zwischen Tätigkeit und Ruhe  
Mittelwerte N=12

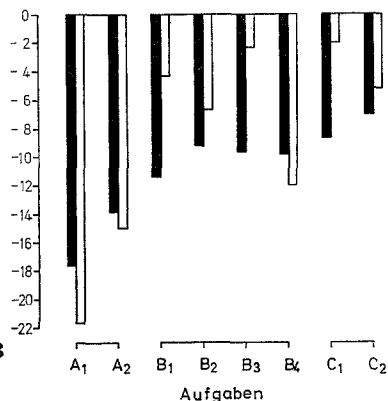
Differenz der Wellenhäufigkeit / 10 sec.  
zwischen Tätigkeit und Ruhe  
Mittelwerte N = 16



A

Mittelwerte der Trennfunktionen (N=12)

■ T-R<sub>1</sub>,  $X = x_1 - 0.217x_2 - 0.468x_3$   
□ T-R<sub>2</sub>,  $X = x_1 - 0.312x_2 - 2.416x_3$



B

Abb. 4 A. Gruppenmittel der Reaktionsgrößen (Differenz der durchschnittlichen Wellenhäufigkeit/10 sec zwischen Tätigkeit und Ruhe: T-R). Zu den Aufgaben s. Methodik und Legende von Abb.1. Zu den statistischen Unterschieden der Reaktionsgrößen zwischen den Versuchsaufgaben s. Tab.4

Abb. 4 B. Gruppenmittel der Gesamtreaktionsgrößen (T-R) der drei EEG-Kriterien: 12,5-16,0 Hz occip.-temp. ( $x_2$ ), 8,5-12,5 Hz präz.-zent. ( $x_1$ ) und 8,5-12,5 Hz occip.-temp. ( $x_3$ ). Die Zusammenfassung der Einzelreaktionsgrößen ( $x_1, x_2, x_3$ ) zu einem Reaktionsindex (X) erfolgte nach der linearen Trennfunktion  $X = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$  durch diskriminanzanalytische Verfahren. Zu den statistischen Unterschieden zwischen den Versuchsaufgaben s. Text

Tabelle 4. *Varianzanalyse (Friedman) der Unterschiede in den Reaktionsgrößen  $T-R_1$ ,  $T-R_2$  und Ruhewerten  $R_1$ ,  $R_2$  zwischen acht visuomotorischen und kognitiven Versuchstätigkeiten.  $\chi_r^2$ -Werte*

Frequenz- bereich	Präz.-zentr. l. $N = 12$				Occip.-temp. l. $N = 16$			
	$T-R_1$	$T-R_2$	$R_1$	$R_2$	$T-R_1$	$T-R_2$	$R_1$	$R_2$
12,5—16,0 Hz	3,59	8,78	8,24	4,68	15,59 ( $p < 0,03$ )	13,76 ( $p < 0,06$ )	3,83	6,05
8,5—12,5 Hz	12,30 ( $p < 0,10$ )	10,47 ( $p < 0,16$ )	7,73	2,52	13,64 ( $p < 0,06$ )	12,89 ( $p < 0,08$ )	3,75	5,35
6,0— 8,5 Hz	8,37	9,93	8,90	2,27	6,40	2,64	4,81	2,69

schiede zwischen den Durchschnitten der Trennfunktion für die verschiedenen Aufgaben:  $\chi_r^2$  ( $T-R_1$ ) = 22,45 ( $p < 0,003$ );  $\chi_r^2$  ( $T-R_2$ ) = 16,38 ( $p < 0,025$ ). Im Einzelvergleich unterscheidet sich die Reaktionsgröße  $T-R_1$  der Aufgabe  $A_1$  bis auf eine Ausnahme ( $A_2$ ) sehr signifikant von allen anderen Mittelwerten. Das gleiche gilt für die Reaktionsgröße  $T-R_2$  der Aufgabe  $A_1$ , mit den Ausnahmen  $A_2$  und  $B_4$ .

Bei Verwendung von Differenzwerten zur Kennzeichnung individueller Reaktivität sind statistische und biologische Abhängigkeiten dieser Werte vom Ausgangsniveau zu beachten (ausführliche Diskussion dieses Problems bei FAHRENBERG 1967; S. 76 ff.). Bei Bestehen solcher Beziehungen könnten die Unterschiede der Reaktionsgrößen zwischen den Aufgaben durch Unterschiede der Ruhewerte mitbedingt sein. Es war daher notwendig, die Korrelationen zwischen den Reaktionsgrößen  $T-R$  und den Wellenhäufigkeiten unter Ruhebedingungen zu prüfen.

Tabelle 5. *Reliabilität der Wellenhäufigkeit unter Ruhebedingungen mit offenen Augen ( $R_1$ ,  $R_2$ ) und der Reaktionsgrößen ( $T-R_1$ ,  $T-R_2$ )*

	Occip.-temp. l. 12,5—16,0 Hz	Occip.-temp. l. 8,5—12,5 Hz	Präz.-zentr. l. 8,5—12,5 Hz
$R_1$	0,853	0,749	0,828
$R_2$	0,902	0,784	0,856
$T-R_1$	0,745	0,623	0,712
$T-R_2$	0,771	0,720	0,663

Die Koeffizienten bezeichnen durchschnittliche Korrelationen zwischen den acht Ruhephasen und Reaktionsgrößen des Versuchs.

Tab. 5 zeigt zunächst als Masse für die Reliabilität der individuellen Ruhewerte und Reaktionsgrößen der drei wesentlichen EEG-Kriterien die durchschnittlichen Korrelationen zwischen allen acht Versuchsphasen. Die differentielle Zuverlässigkeit der Ruhewerte und der Reak-

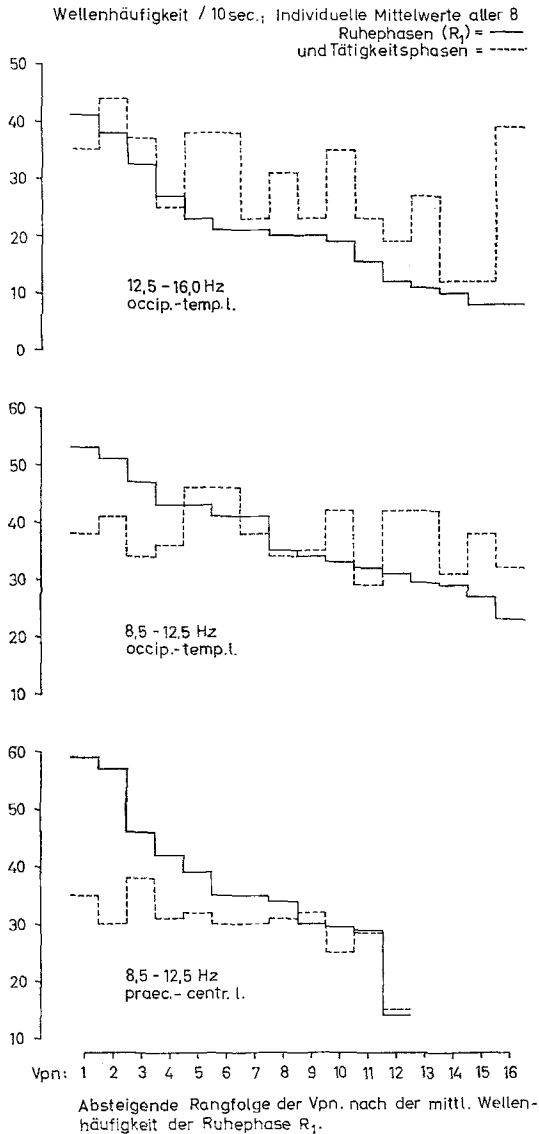


Abb.5. Individuelle Durchschnittswerte der Wellenhäufigkeit/10 sec aller acht Ruhe 1-Phasen und Tätigkeitsphasen. Die individuellen Mittelwerte der Wellenhäufigkeit/10 sec aller acht Ruhephasen (Ordinaten) sind der Rangordnung nach angeordnet (Abszissen) = durchgezogene Linien. Ihnen wurden die entsprechenden Mittelwerte der Wellenhäufigkeit/10 sec aller acht Tätigkeitsphasen gegenübergestellt = gestrichelte Linien. Die Diagramme des Frequenzbereichs 8,5–12,5 Hz der occip.-temp. und präz.-zentr. Ableitung lassen eine Regression zu mittleren Wellenhäufigkeiten bei Tätigkeit und die damit verbundenen negativen Korrelationen zwischen Ruhewert und Reaktionsgröße erkennen

tionsgrößen kann als befriedigend bezeichnet werden. Abb. 5 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Wellenhäufigkeit bei Ruhe und der Reaktion bei Tätigkeit. Die durchgezogenen Diagramme stellen die individuellen mittleren Wellenhäufigkeiten aller acht Ruhephasen ( $R_1$ ) in ihrer Rangfolge dar. Jedem der Ruhemittelwerte wurden die entsprechenden individuellen mittleren Wellenhäufigkeiten aller acht Tätigkeitsphasen gegenübergestellt (gestrichelte Diagramme). Im Gegensatz zum Frequenzbereich 12,5–16,0 Hz zeigen die beiden Ableitungen des Frequenzbereichs 8,5–12,5 Hz, daß Vpn. mit hohen Wellenhäufigkeiten in der Ruhephase, bei Tätigkeit im allgemeinen stärker „blockieren“, d. h. die Wellenhäufigkeit vermindern, als Vpn. mit geringen Wellenanzahlen unter Ruhebedingungen. In der occip.-temp. Ableitung besteht bei den letzteren Vpn. sogar die Tendenz, die Wellenhäufigkeit gegenüber dem Ausgangsniveau zu steigern (Verminderung oder Steigerung der Wellenhäufigkeit bei Tätigkeit werden von entsprechenden Amplitudenänderungen begleitet). Dieser Regreß zu mittleren Wellenhäufigkeiten kommt in einer Verminderung der Standardabweichungen bei Tätigkeit (siehe Tab. 2) zum Ausdruck und bedingt ferner hohe negative Korrelationen zwischen den Ruhewerten ( $R_1$ ) und den Reaktionsgrößen ( $T-R_1$ ). Die Gesamtkorrelationen für alle acht Versuchssituationen lauten:

$$r(12,5-16,0 \text{ Hz, occip.-temp.}) = -0,387;$$

$$r(8,5-12,5 \text{ Hz, occip.-temp.}) = -0,690;$$

$$r(8,5-12,5 \text{ Hz, präz.-zentr.}) = -0,884.$$

Vergleichbare Verhältnisse wie hier für Ruhephase 1 und Tätigkeitsphase demonstriert, bestehen auch für Ruhephase 2 und Tätigkeitsphase.

Zur Eliminierung der Abhängigkeit von den Ruhewerten wurden die Reaktionsgrößen des Frequenzbereichs 8,5–12,5 Hz beider Ableitungen einer linearen Regressionstransformation unterzogen<sup>1</sup>. Die transformierten Reaktionsgrößen ergeben sich dabei — auf der Basis von  $z$ -Werten — als Abweichungen der empirisch gefundenen von den aufgrund der Regressionsgleichung zu erwartenden Tätigkeitsveränderungen (LIENERT, 1962). In der Abb. 6 A sind die Gruppenschnitte der transformierten  $T-R_1$ -Werte pro Aufgabe für beide Ableitungen dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Aufgaben zeigen im wesentlichen die gleiche Abstufung wie bei den nichttransformierten Reaktionsgrößen (vgl. Abb. 4 A). Sie sind eher noch deutlicher ausgeprägt und überschreiten jetzt auch die Signifikanzschränke:

$$\chi_r^2(8,5-12,5 \text{ Hz, occip.-temp.}) = 14,23 (p < 0,05),$$

$$\chi_r^2(8,5-12,5 \text{ Hz, präz.-zentr.}) = 14,80 (p < 0,05).$$

<sup>1</sup> Die Bedingung nicht signifikant unterschiedlicher Steigungen der Regressionsgeraden innerhalb der acht Gruppen von ( $R_1$ ,  $T-R_1$ )-Werten war dem Augenschein nach erfüllt.

Im Einzelvergleich ist die durchschnittliche Vermehrung der occipitalen Alphawellen bei Aufgabe A<sub>1</sub> signifikant von den mittleren Tätigkeitseffekten der meisten anderen Versuchsaufgaben unterschieden. Das gleiche gilt für die vergleichsweise geringe durchschnittliche Reduzierung der Wellenhäufigkeiten des Alphafrequenzbereichs der Zentralregion bei

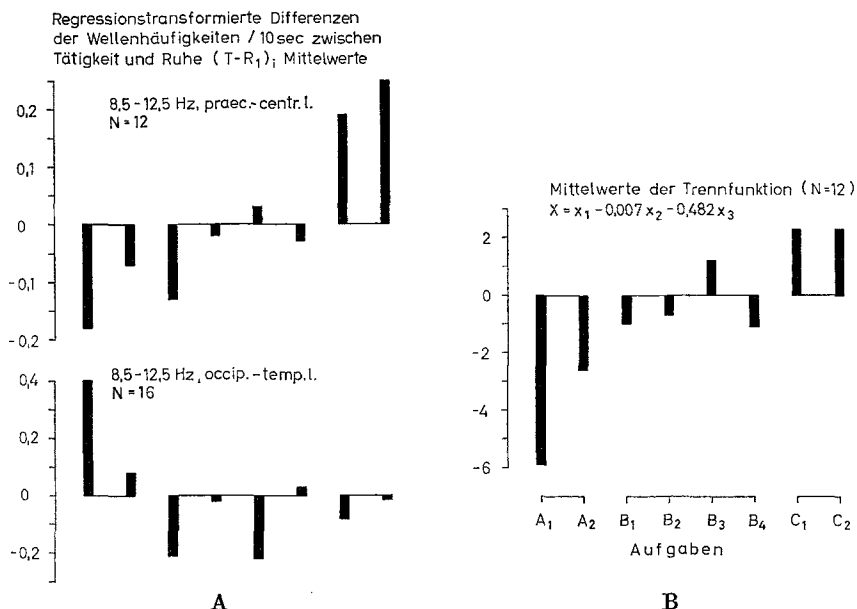


Abb. 6 A. Gruppenmittel der regressionstransformierten Reaktionsgrößen ( $T-R_1$ ) der beiden EEG-Kriterien: 8,5—12,5 Hz occip.-temp. und präz.-zent., pro Versuchsaufgabe. Zu den Aufgaben s. Methodik und Legende von Abb. 1. Zur Eliminierung der Abhängigkeit vom Ruhewert wurden die Reaktionsgrößen des Frequenzbereichs 8,5—12,5 Hz der occip.-temp. und präz.-zent. Ableitung einer linearen Regressionstransformation unterzogen. Die Ordinaten bezeichnen (auf der Grundlage von z-Werten) Differenzen zwischen den empirisch gefundenen Tätigkeitsveränderungen (Reaktionsgrößen) und den aufgrund der Regressionsgleichung zu erwartenden Tätigkeitsveränderungen. Zu den statistischen Unterschieden zwischen den Versuchsaufgaben vgl. Text

Abb. 6 B. Gruppenmittel der Gesamtreaktionsgrößen ( $T-R_1$ ) der drei EEG-Kriterien: 12,5—16,0 Hz occip.-temp. ( $x_2$ ), 8,5—12,5 Hz präz.-zent. ( $x_1$ ) und 8,5—12,5 Hz occip.-temp. ( $x_3$ ). Im Unterschied zu Abb. 4 B wurden hier die regressionstransformierten Reaktionsgrößen  $T-R_1$  in die diskriminanzanalytische Zusammenfassung einbezogen. Zu den statistischen Unterschieden zwischen den Versuchsaufgaben vgl. Text

den kognitiven Versuchsaufgaben C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub>. Faßt man die regressionstransformierten Reaktionsgrößen sowie die nicht-transformierten  $T-R_1$ -Werte des Frequenzbereichs 12,5—16,0 Hz der occip.-temp. Ableitung

diskriminanzanalytisch zu einem Index zusammen, so ist auch hier eine leichte Verbesserung der statistischen Differenzierung zwischen den acht Versuchstätigkeiten festzustellen:  $\chi^2_r = 23,76$  ( $p < 0,002$ ). Die entsprechenden Gruppenmittel der Gesamtreaktionsgrößen sind in Abb. 6B dargestellt. Bei prinzipieller Übereinstimmung der Aufgabenunterschiede mit denen der Abb. 4B heben sich die drei Tätigkeitsgruppen A, B und C noch deutlicher voneinander ab.

Auf der Basis der regressionstransformierten Reaktionsgrößen ist nun auch die Frage zu entscheiden, ob die verschiedenen EEG-Veränderungen bei Tätigkeit untereinander in Beziehung stehen oder unabhängige Tätigkeitswirkungen repräsentieren. Letzteres ist der Fall. Zwar sind zwischen den nicht-transformierten Reaktionsgrößen T-R<sub>1</sub> des präz.-zent. und occip.-temp. Frequenzbereichs 8,5–12,5 Hz (und nur zwischen diesen) bei der Hälfte der Versuchsaufgaben signifikant positive Rangkorrelationen nachzuweisen, doch verschwinden diese, wenn die Abhängigkeit vom Ausgangsniveau berücksichtigt wird. Sie sind also auf Korrelationen zwischen den zentralen und occipitalen Wellenhäufigkeiten der Ruhephase zurückzuführen.

### *III. Beziehung zwischen den Tätigkeitseffekten im EEG und der Aufmerksamkeitsanspannung*

Stehen die Unterschiede zwischen den Reaktionsgrößen der acht Versuchstätigkeiten mit unterschiedlichen Graden der Aufmerksamkeitsbeanspruchung durch die Versuchstätigkeiten in Beziehung? Zunächst konnte auf der Grundlage der Vergleichsurteile über den Grad der erlebten Aufmerksamkeitsanspannung nachgewiesen werden, daß sich die Versuchstätigkeiten hinsichtlich der Aufmerksamkeitsbeanspruchung deutlich unterscheiden. In Abb. 7A sind die Häufigkeitsverteilungen der Bevorzugungshäufigkeiten des Paarvergleichs (siehe Methodik) für alle acht Versuchsaufgaben der Rangordnung ihrer Mittelwerte nach dargestellt. Bis auf B<sub>4</sub>/A<sub>1</sub> sind sämtliche Unterschiede zwischen den in der Rangreihe aufeinanderfolgenden Tätigkeiten statistisch gut gesichert (Wilcoxon-Test). Die Aufgabenserie der Untersuchung repräsentiert also eine signifikant abgestufte Skala der Aufmerksamkeitsbeanspruchungsgrade. Über die Größe der Abstände von Aufgabe zu Aufgabe auf dieser Skala informiert der in Abb. 7A rechts eingezeichnete Maßstab (Umwandlung der Vergleichsurteile der Vpn. in eine Intervallskala; TORGERSON, 1958; S. 259 ff.).

Die Korrelationen zwischen der durchschnittlichen Aufmerksamkeitsanspannung bei den einzelnen Versuchsaufgaben und den durchschnittlichen Tätigkeitseffekten im EEG sind, wie die Abb. 7B zeigt, gering. Keiner der Rangkorrelationskoeffizienten erreicht das Signifikanzniveau. Am ehesten deutet sich noch eine Beziehung zwischen Aufmerk-

Abb. 7 A. Ergebnis des subjektiven Paarvergleichs der Versuchstätigkeiten bezüglich der Aufmerksamkeitsanspannung. Zur Methode des Paarvergleichs s. Methodik. Bevorzugungshäufigkeit = Häufigkeit vergleichsweise stärkerer Aufmerksamkeitsanspannung bei einer Tätigkeit gegenüber den anderen Tätigkeiten. Dargestellt sind die Häufigkeitsverteilungen der Bevorzugungshäufigkeiten pro Aufgabe. Der rechts eingezeichnete Maßstab zeigt die Umwandlung der Vergleichsurteile in eine Intervallskala.

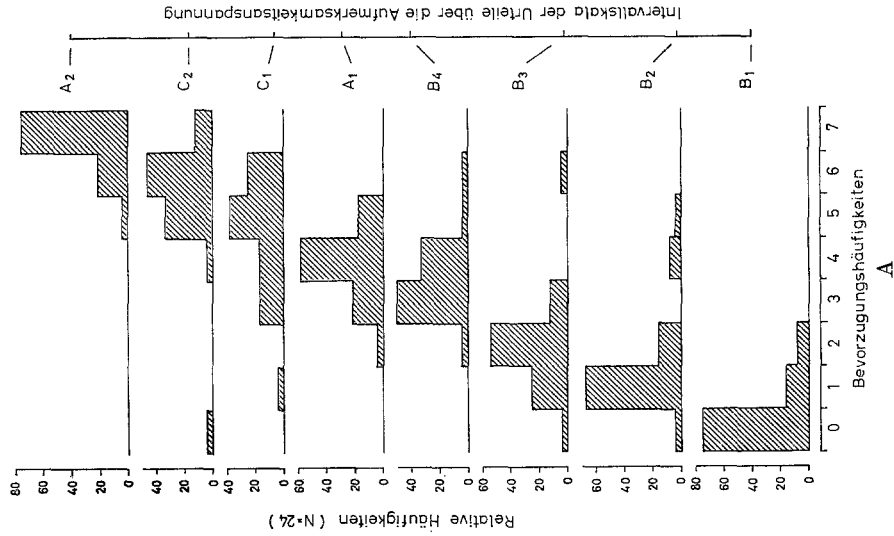
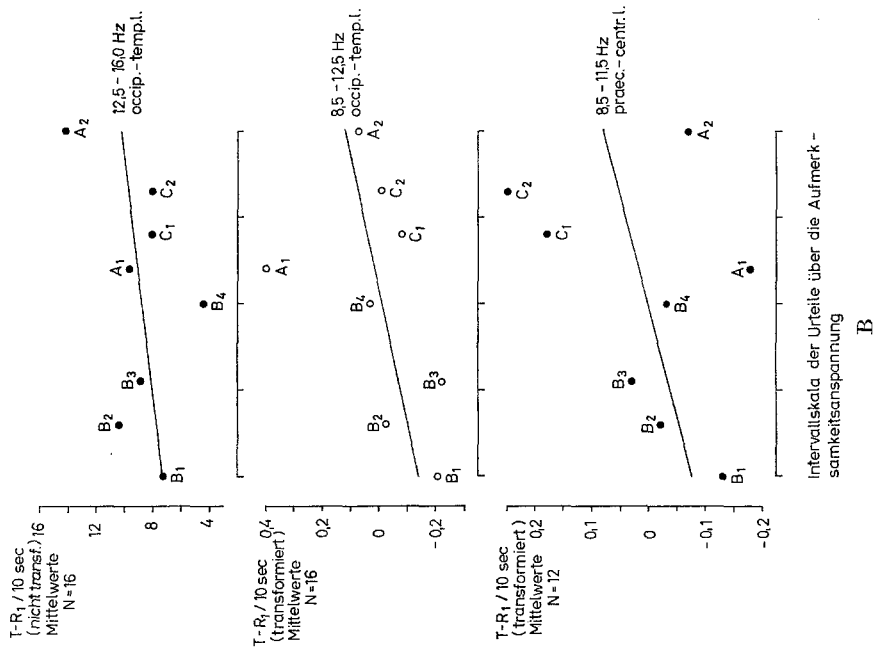


Abb. 7 B. Beziehung zwischen den mittleren Urteilen über die Aufmerksamkeitsanspannung (Intervallskala) und den mittleren Reaktionsgrößen [Differenz der durchschnittlichen Wellenhäufigkeit/10 sec zwischen Tätigkeit und Ruhe ( $T-R_1$ )] bei den acht Versuchstätigkeiten



samkeitsanspannung und Tätigkeitseffekt im Alphafrequenzbereich der occip.-temp. Ableitung an (bemerkenswerterweise ist dieser Trend positiv). Unterschiedliche Grade der allgemeinen Aufmerksamkeitsanspannung können also nur zu einem geringen Teil die Varianz zwischen den beobachteten EEG-Effekten der Versuchstätigkeiten erklären.

Im Gegensatz zu den EEG-Reaktionsgrößen weisen die durchschnittlichen *Pulsfrequenzsteigerungen* durch die Versuchstätigkeiten eine signifikant positive Rangkorrelation mit dem Grad der Aufmerksamkeitsanspannung auf, worüber an anderer Stelle berichtet wird. Dieses Ergebnis stimmt mit den von BARTENWERFER (1963, S. 64 ff.) (vor allem bei Dauerarbeit) gefundenen hohen Korrelationen zwischen mittlerer psychischer Anspannung und mittlerer Pulsfrequenz bzw. Pulsfrequenzsteigerung überein. Auch für kurzzeitige Arbeitsverläufe soll die Beziehung gelten.

#### D. Diskussion

Die beschriebenen EEG-Befunde beziehen sich auf durchschnittliche Wellenhäufigkeiten der gesamten Tätigkeits- und Ruhephase. Es bleibt offen, ob ihnen kurzfristige systematische EEG-Veränderungen während bestimmter Phasen der motorischen und kognitiven Tätigkeitsverläufe zugrunde liegen (die sich im Durchschnittseffekt auch kompensieren können), z.B. Verminderungen der Alphawellen bei Initiierung einer neuen Bewegungseinheit, „rebound“-Phänomene bei ihrer Beendigung. Eine Auswertung der Wellenhäufigkeiten in Zuordnung zu den verschiedenen Parametern der Handlungsdurchführung wird hier Aufschluß geben.

Offen bleibt bei dem globalen Auswertungsmodus ferner, in welchem Umfang die Einzelfrequenzen eines Frequenzbereichs an den Häufigkeitsänderungen bei Tätigkeit beteiligt sind. Entsprechende Intervall-Histogramme (Analyse mit dem CAT 1000) haben wir an anderer Stelle veröffentlicht (s. CREUTZFELDT, GRÜNEWALD, SIMONOVA u. SCHMITZ, 1968). Schließlich lassen sich auf der Basis der Intervallanalyse bestimmte Wellenformen eines Frequenzbereichs nicht voneinander differenzieren, z. B. normale Alphawellen, Arkadenrhythmen, Lambdawellen (s. COBB, 1963), denen möglicherweise bei den beobachteten EEG-Effekten eine differentielle Bedeutung zukommt.

Zusammenfassend kann über die EEG-Veränderungen im Alphafrequenzbereich 8,5–12,5 Hz folgendes festgestellt werden: Die Tätigkeitseffekte hängen von individuellen Faktoren ab, insofern als sie eine Funktion der reliablen individuellen Wellenhäufigkeiten unter Ruhebedingungen darstellen. Sie sind des weiteren abhängig vom Ort der Ableitung und von aufgabespezifischen Faktoren. Der unterschiedliche Grad der Aufmerksamkeitsbeanspruchung der Tätigkeiten spielt demgegenüber eine mehr untergeordnete Rolle.

Individuelle Unterschiede in den Veränderungen der Alphaaktivität bei perzeptiven und kognitiven Versuchstätigkeiten, insbesondere auch „Alpha-Blockierer“ und „Alpha-Aktivierer“ wurden von verschiedenen Autoren beschrieben (TOMAN, 1942; WERRE, 1957; KREITMAN u. SHAW,

1965; und andere). Die Natur dieser individuellen Differenzen bleibt jedoch unklar. Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigten sich konsistente individuelle Differenzen. Im occipitalen Alphabereich z.B. reagierten etwa ein Drittel der Vpn. mit Verminderung und ein Drittel mit Vermehrung der Alphawellen bei allen Tätigkeiten (entsprechende Amplitudenenänderungen gingen parallel). Diese interindividuellen Differenzen ließen sich im wesentlichen auf Unterschiede in den Wellenhäufigkeiten unter Ruhebedingungen zurückführen. Vpn. mit relativ vielen Alphawellen während der Ruhephase zeigten ausgeprägte Blockierungseffekte bei Tätigkeit, Vpn. mit relativ wenigen Alphawellen während der Ruhephase verminderten zentral die Wellenhäufigkeit nur geringfügig und zeigten occipital deutliche Aktivierungseffekte.

Ob mit dieser Beziehung zwischen Ausgangswert und Reaktion auch die Tatsache zusammenhängt, daß Alpha-Aktivierungen während Leistungssituationen in erster Linie bei geöffneten Augen beobachtet wurden, wo die Wellenhäufigkeiten unter sonst vergleichbaren Ruhebedingungen deutlich unter denen bei geschlossenen Augen liegen, muß offenbleiben. SIMONOVA u. LEGEWIE (1968) untersuchten im Anschluß an die vorliegende Studie gleiche oder vergleichbare Aufgaben bei geschlossenen Augen unter Tätigkeits- und Ruhebedingungen und fanden — im Gegensatz zu unserer Untersuchung mit offenen Augen — occipital überwiegend Verminderungen der Alphawellen bei Tätigkeit. Ferner wären in diesem Zusammenhang die Befunde von MORRELL (1966) zu diskutieren, nach denen sich die Veränderung der Alpha-Aktivität bei optischen Reizen und bei zugeordneten motorischen Reaktionen als Funktion des „pre-stimulus-EEG“ erweist (Vermehrung nach vorhergehender geringer, Verminderung nach vorhergehender starker Alpha-Aktivität).

Die physiologische Bedeutung der Abhängigkeit tätigkeitsbedingter Desynchronisierung oder Synchronisierung vom Ruhestatus, d.h. ihre Zurückführung auf zentralnervöse Hemmungs- und Erregungsprozesse, ist ein offenes Problem.

Schaltet man die Abhängigkeit des Tätigkeitseffektes vom Ausgangsniveau durch Regressionstransformation aus, so sind zwischen den individuellen EEG-Veränderungen der beiden Ableitungen keinerlei korrelative Beziehungen mehr festzustellen; ein Hinweis dafür, daß im zentralen und occipitalen Alphafrequenzbereich unterschiedliche (unabhängige) Aspekte des Tätigkeitseinflusses zum Ausdruck kommen. Das bestätigt Befunde über eine selektive Beeinflußbarkeit zentraler und occipitaler Rhythmen (s. die unten genannten Autoren). Es bleiben ferner in beiden Ableitungen signifikante Unterschiede zwischen den durchschnittlichen EEG-Veränderungen der einzelnen Versuchstätigkeiten nachweisbar. Diese sind nicht oder nicht in erster Linie durch unterschiedliche Aufmerksamkeitsbeanspruchung der Versuchstätigkeiten zu erklären, wie die insignifikanten Korrelationen mit den Urteilen über die Aufmerksamkeitsanspannung zeigen (vgl. auch MULHOLLAND u. RUNNALS (1962), KREITMAN u. SHAW (1965), GLASS (1966), die keine Beziehung zwischen

dem Schwierigkeitsgrad einer Versuchsaufgabe und den Veränderungen der Alpharhythmen fanden). Sie müssen vielmehr auf andere aufgabenspezifische Faktoren zurückzuführen sein.

Im präz.-zentralen Alphafrequenzbereich heben sich besonders die beiden Rechenaufgaben (mit nur gelegentlichen motorischen Akten) durch vergleichsweise geringfügige Verminderungen der Wellenhäufigkeit von allen kontinuierlichen visuomotorischen Tätigkeiten ab. Dieser differentielle Befund unterstützt die Auffassung, daß die Blockierungseffekte der Rolandischen Region im wesentlichen mit der motorischen Aktivität und deren Reafferenz zusammenhängen (GASTAUT, 1952; KLASS u. BICKFORD, 1957; CHATRIAN, PETERSEN u. LAZARTE, 1959; IVANOVA, 1963; GILDEN, VAUGHAN u. COSTA, 1966). Für die unterschiedliche Ausprägung der Desynchronisation bei den einzelnen visuomotorischen Versuchstätigkeiten könnten Differenzen in der Detailliertheit der motorischen Aufmerksamkeitszuwendung und in der Bedeutung kinaesthetisch-taktiler Bewegungsafferenzen für die Bewegungsdurchführung verantwortlich sein.

Im occipitalen Alphafrequenzbereich ist insbesondere das Nachfahren des Linienmusters in Normalsicht durch deutliche Vermehrung der Wellenhäufigkeit von allen anderen Versuchsaufgaben unterschieden. Da man als auslösendes Moment der individuellen Tätigkeitsreaktionen im occipitalen Alphafrequenzbereich (neben kognitiver Aktivität) in erster Linie visuelle Vorgänge in Betracht ziehen muß, ist an eine spezifische visuelle Aktivität bei der Tracking-Aufgabe A<sub>1</sub> zu denken, mit der die Alpha-Aktivierungsphänomene in Verbindung stehen. Diese könnte in der sukzessiven visuellen Detailverfolgung eines Reizmusters zu suchen sein (die bei Normalsicht stärker ausgeprägt ist als bei Spiegelsicht, wo die Bewegung häufig längere Zeit auf der Stelle kreist). Auch MULHOLLAND u. RUNNALS (1962) fanden bei Aufgaben, die kontinuierlich eine differenzierte perzeptive Aktivität verlangten, Aktivierungen des occipitalen Alpharhythmus. Die bekannte occip. Alphablockierung wurde nur als kurzfristige Reaktion auf externe Signale hin beobachtet. Da das aufmerksame Verfolgen eines gut beleuchteten visuellen Reizmusters („scanning movements over a patterned field“) eine günstige Bedingung für die Aktivierung von Lambdawellen darstellt (ROTH u. GREEN, 1953; GREEN, 1957), ist auch an die Beteiligung dieses Faktors zu denken.

Die EEG-Veränderungen im Frequenzbereich 12,5–16,0 Hz, der den Übergang zwischen Alpha- und Beta-Aktivität darstellt (s. COBB, 1963), sind nur occipital statistisch bemerkenswert. Ca. zwei Drittel der Vpn. erhöhen die Wellenhäufigkeit bei allen acht Aufgaben des Versuchs. Die reliablen individuellen Reaktionen sind im Gegensatz zum Alphafrequenzbereich nur wenig vom Ausgangsniveau abhängig. Zwischen ihnen und

den anderen Reaktionswerten bestehen keine Zusammenhänge. Es ist naheliegend, die Aktivierung dieser Wellen als Komponente eines generellen arousal-Phänomens zu interpretieren. Visuelle Vorgänge werden dabei eine Rolle spielen, wie der signifikant geringere Effekt bei der Schreibhandlung ohne visuelle Kontrolle gegenüber der gleichen Schreibhandlung mit visueller Kontrolle vermuten läßt. Unwahrscheinlich, aber doch nicht völlig auszuschließen, ist ein Einfluß von Muskelpotentialen.

### Literatur

- BAHRICK, H. P., and M. E. NOBLE: Motor behaviour. In: *Experimental methods and instrumentation in psychology* (Ed. by J. B. SIDOWSKI). New York: McGraw-Hill 1966.
- BARTENWERFER, H., L. KÖTTER u. W. SICKEL: Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung. II. Teil: Verfahren zur graduellen Beurteilung der psychischen Beanspruchung in der Industrie. *Forsch. Ber. d. Landes Nordrhein-Westfalen*. Köln-Opladen: Westdeutscher Verlag 1963.
- CHATRIAN, G. E., M. C. PETERSEN, and J. A. LAZARTE: The blocking of the rolandic wicket rhythm and some central changes related to movement. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **11**, 497 (1959).
- COBB, W. A.: The normal adult E.E.G. In: *Electroencephalography* (Ed. by D. HILL and G. PARR). London: Macdonald 1963.
- CREUTZFELDT, O., G. GRÜNEWALD, O. SIMONOVA, and H. SCHMITZ: Changes of the basic rhythms of the EEG during performance of mental and visuomotor tasks. In: *Symposium on attention* (Ed. by C. R. EVANS and T. B. MULHOLLAND). London: Butterworth 1968 (im Druck).
- DÜKER, H., and G. A. LIENERT: Konzentrationsleistungstest (KLT). Göttingen: Hogrefe 1959.
- FAHRENBERG, J.: *Psychophysiologische Persönlichkeitsforschung*. Göttingen: Hogrefe 1967.
- FERGUSON, G. A.: *Nonparametric trendanalysis*. Montreal: McGill University Press 1965.
- GASTAUT, H.: Étude électrocorticographique de la réactivité des Rhythmes rolandiques. *Rev. neurol.* **87**, 176 (1952).
- GIANNITRAPANI, D.: Electroencephalographic differences between resting and mental multiplication. *Perceptual Motor Skills* **22**, 399 (1966).
- GILDEN, L., H. G. VAUGHAN, and L. D. COSTA: Summated human EEG potentials with voluntary movement. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **20**, 433 (1966).
- GLASS, A.: Mental arithmetic and blocking of the occipital alpha rhythm. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **16**, 595 (1964).
- Comparison of the effect of hard and easy mental arithmetic upon blocking of the occipital alpha rhythm. *Quart. J. exp. Psychol.* **18**, 142 (1966).
- GREEN, J.: Some observations on lambda waves and peripheral stimulation. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **9**, 691 (1957).
- GRÜNEWALD, G.: Dynamik und Steuerung der Schreibmotorik. In: *Jahrbuch 1966 des Landesamtes für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen*. Köln-Opladen: Westdeutscher Verlag 1966.
- , u. E. ZUBERBIER: Störung der Schreibhandlung bei Ausschaltung der visuellen Kontrolle. *Arch. ges. Psychol.* **117**, 155 (1965).
- IVANOVA, M. P.: Changes in EEG during performance of muscular work. *Psychol. Abstr.* Nr. 7515 (1964).

- JASPER, H. H.: The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **10**, 371 (1958).
- JUNG, R.: Neurophysiologie und Psychiatrie. In: *Psychiatrie der Gegenwart*, Bd. I/1A, S. 325. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1967.
- KLASS, D. W., and R. G. BICKFORD: Observations on the rolandic arceau rhythm. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **9**, 570 (1957).
- KREITMAN, N., and J. C. SHAW: Experimental enhancement of alpha activity. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **18**, 147 (1965).
- LIENERT, G. A.: Über die Anwendung von Variablen-Transformationen in der Psychologie. *Biometr. Z.* **4**, 145 (1962).
- LINDER, A.: *Statistische Methoden*. Basel-Stuttgart: Birkhäuser 1964.
- MORRELL, L. K.: Some characteristics of stimulus-provoked alpha activity. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **21**, 552 (1966).
- MULHOLLAND, T. B.: Occurence of the electroencephalographic alpha rhythm with eyes open. *Nature (Lond.)* **206**, 746 (1965).
- , and S. RUNNALS: Increased occurence of EEG alpha during increased attention. *J. Psychol.* **54**, 317 (1962).
- MUNDY-CASTLE, A. C.: The electroencephalogram and mental activity. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **9**, 643 (1957).
- OSWALD, J.: *Sleeping and waking*. Amsterdam: Elsevier 1962.
- ROTH, M., and J. GREEN: The lambda wave as normal physiological phenomenon in the human EEG. *Nature (Lond.)* **172**, 864 (1953).
- SCHWARZER, F., u. H. REETZ: Technische Auswertehilfen für das EEG. Vortrag anlässlich d. 12. Jahrestagung der Deutschen EEG-Gesellschaft 1964.
- SIMONOVA, O., u. H. LEGEWIE: EEG-Veränderungen in verschiedenen Leistungssituationen. Vortrag 14. Jahrestag. d. Deutschen EEG-Gesellschaft, Münster 1968. Erscheint in *Zbl. ges. Neurol. Psychiat.*
- TOMAN, J. E. P.: The E.E.G. during mental effort. *Fed. Proc.* **2**, 49 (1943).
- TORGERSON, W. S.: *Theory and methods of scaling*. New York: Wiley 1965.
- WERRE, P. F.: *Relations between E.E.G. an psychological data in normal adults*. Leiden: Leiden University Press 1957.

Prof. Dr. G. GRÜNEWALD  
Klinisch-Psychologische Abteilung der  
Psychiatrischen Universitäts-Klinik  
4 Düsseldorf, Bergische Landstr. 2

Doz. Dr. O. D. CREUTZFELDT  
Dr. O. SIMONOVA  
Deutsche Forschungsanstalt für  
Psychiatrie  
Max-Planck-Institut für Psychiatrie  
8 München 23, Kraepelinstr. 2