

## Langsames Alpha im EEG-Powerspektrum als Indikator für konzeptuelle Beanspruchung

Rainer Bösel

Psychologisches Institut der Freien Universität Berlin<sup>1)</sup>

Frühere Ergebnisse (Bösel et al., 1990) ließen vermuten, daß das Generieren von Hypothesen in einer Konzeptlernaufgabe mit einer Erhöhung der Signalenergie im Alpha-Band (7.5—10 Hz) des Spontan-EEGs einhergeht. An 16 Personen wurde nun über fünf verschiedene Problemlöseaufgaben hinweg geprüft, ob eine entsprechende EEG-Variation auftritt, wenn bei der Aufgabenbearbeitung konzeptuelle Beanspruchung erwartet wurde. Dazu wurden post hoc die Bedingungen für erfolgreiche und nicht erfolgreiche Bearbeitung verglichen. Vier weitere Aufgaben, bei denen gemäß bisheriger Studien Theta-Effekte erwartet wurden, dienten als Kontrollaufgaben. Die erwartete Alpha-Variation trat ein, und zwar insbesondere bei Aufgaben, die rekonstruktiven Abruf oder die Einstellung auf ein neues Rezenschema erforderten. Sie traten zudem bei einer Rangordnungsaufgabe und bei einer räumlichen Orientierungsaufgabe auf, und zwar mit hoher Varianzaufklärung ( $\eta^2 = 34$  bzw. 33%), aber nur in einem Teilband (7.5—8.5 Hz) des Alpha-Bandes. Beim Erkennen von Teilfiguren und bei einem Diskriminationsproblem (Buddhist monk problem) wurde erhöhte Theta-Aktivität beobachtet. Abbildung 1 zeigt Beispiele für Frequenz-Zeit-Diagramme, die die Prozeßdynamik im EEG erkennen lassen.

### Einleitung

Menschliches Problemlösen ist durch die Fülle an Hintergrundwissen charakterisiert (Dreyfuß, 1979), das zahlreiche Schemata bereitstellt, so daß sensorische Daten mit ihrer Hilfe geordnet und damit in einer konzeptuell gesteuerten Verarbeitung reduziert werden können (Labov, 1973; Wessels, 1984). Die Herstellung geeigneter Repräsentationen, die sich dann etwa für Experten und Novizen erheblich unterscheiden dürften (Dejong & Fergu-

---

1) Für die Durchsicht des Manuskripts und für wertvolle Anregungen bedanke ich mich bei den Dres. A. Mecklinger und W. Schwarz, für die Unterstützung beim technischen Design bei Dipl.-Ing. R. Stolpe.

son-Hessler, 1986), ist jedoch nicht allein durch die Anwendung gespeicherter Schemata, sondern auch von der Art der aktuellen Konzept-Neubildung abhängig (Wolff, Mitchell & Frey, 1984). Der Prozeß der Konzeptbildung ist dabei als Teilklassenbildung (Klix, 1971) zu verstehen, in der eine Zusammenfassung von Objektrepräsentationen mit invarianten Merkmalen zu einer Merkmalschablone (template) erfolgt. In Netzwerkmodellen wird dieser Prozeß als „competitive learning“ beschrieben (Rumelhart & Zipser, 1985; Grossberg, 1987).

Neben den klassischen Konzeptlernaufgaben (Klix, 1971) gibt es eine Reihe von gut untersuchten Paradigmen, in denen trotz vergleichbaren Aufgabenwissens individuelle strategische Differenzen beim Aufbau geeigneter Repräsentationen zu erheblichen Performanz-Unterschieden führen. Einige davon (s. Tab. I) werden in der im folgenden zu berichtenden Studie für ein Experiment zur Validierung elektrophysiologischer Indikatoren untersucht.

Der Rückschluß auf einen stattgehabten, extensiven Aufbau von Merkmalschablonen im mentalen Prozeß ist sicherlich zulässig, wenn die richtige Lösung nur aufgrund einer Verknüpfung von analogem und propositionalem Wissen gefunden werden kann. Von den Aufgaben, die zu dieser Aufgabenklasse zählen, wurden in der vorliegenden Studie folgende ausgewählt: (1) Bildung einer Rangordnung: Hier sind zwei oder mehr propositionale Vorgaben, in der Regel mit Hilfe von analogem Denken, miteinander zu verknüpfen (Potts, 1978). (2) Rekonstruktiver Abruf: Analoge Bilder werden häufig beim Abruf mit den propositionalen Schemata der Instruktion verknüpft (Hanawalt & Demarest, 1939). (3) Räumliche Orientierung: Hier wurde für das Experiment eine Aufgabe konstruiert, bei der propositional gelerntes Material in eine analog aufzubauende Repräsentation integriert werden sollte. Diese Aufgaben wurden (4) um eine Einstellungsaufgabe ergänzt: Nach Einstellung auf ein vorgegebenes Rechenschema soll ein anderer Rechenalgorithmus gefunden werden (Luchins, 1942; Luchins & Luchins, 1959). Im folgenden wird davon ausgegangen, daß die erfolgreiche Bearbeitung von Aufgaben dieser Aufgabenklasse mit „konzeptueller Beanspruchung“ einhergeht.

Von solchen Aufgaben läßt sich eine andere Aufgabenklasse abgrenzen, bei der datengesteuerte Verarbeitung (Wessels, 1984) im Vordergrund steht. Auch hier handelt es sich um eine nichtautomatische Verarbeitung, wenn zunächst ein „Mismatch“, also eine fehlende Übereinstimmung von Reiz und Erwartung, vorausgesetzt wird. Diese Art von extensiver Komponentenanalyse, die durch besondere Gedächtnissuch-Prozesse gestützt wird, ist auch gemeint, wenn von biologisch motivierten Autoren von „Orientierung“ als wichtigster Operation der Orientierungsreaktion gesprochen wird (vgl. z.B. Bösel, 1986; MacFarland, 1989). Nicht die Einordnung von Analyseprodukten der späteren Verarbeitungsniveaus, sondern die Merkmalsana-

Tabelle 1 Übersicht über die verwendeten  
Aufgaben (Literaturangaben siehe Text)

---

Konzeptuelle Beanspruchung („Explorationsaufgaben“)

- (1) Bildung einer Rangordnung
  - (2) Rekonstruktiver Abruf
  - (3) Räumliche Orientierung
  - (4) Einstellungsaufgabe
- 

Kontrollaufgaben („Orientierungsaufgaben“)

- (5) Geometrische Analogie
  - (6) Wiedererkennen von Teilfiguren
  - (7) Buddhist monk problem
  - (8) Anforderungs-/Kapazitäts-Einschätzung
- 

Alternativaufgabe

- (9) Risikowahl-Entscheidung
- 

lyse wird durch das Gedächtnis gestützt (vgl. Bösel et al., 1992; Bösel, in Vorbereitung). Als Kontrollaufgaben im folgenden Experiment wurden verwendet: (5) eine geometrische Analogie-Aufgabe: Erst nach einer extensiven Komponentenanalyse, wie sie z.B. von Sternberg (1977) angenommen wird, kann eine geeignete Transformationsregel zum Lösen der Analogie-Aufgabe hergestellt werden (Novick & Tversky, 1987). (6) Wiedererkennen von Teilen geometrischer Figuren: Nur eine Komponentenanalyse visueller Merkmale oder das Merken verbaler Codes ermöglicht das Wiedererkennen, wobei deren Komplexität oder Umfang die Wiedererkennung erschwert (Reed, 1974; Palmer, 1977). (7) Das „Buddhist monk problem“: Das Problem ist nur durch eine geeignete detailreiche, analoge Problem-Repräsentation (bzw. wissenschaftliche, nach Larkin, 1983) zu lösen (vgl. Matlin, 1989); solche Repräsentationen wären imstande, eine Komponentenanalyse zu unterstützen und damit zur Lösung zu führen. Diese Aufgaben wurden um eine für das Experiment konstruierte ergänzt, bei der (8) eine Anforderungs-/Kapazitäts-Einschätzung gefordert war: Die positive Antwort setzt die subjektive Verfügbarkeit von Kontextwissen zum Aufbau eines Lösungsschemas voraus.

Schließlich wurde (9) eine Risikowahl-Entscheidung gefordert, bei der die Antwortwahl einen Rückschluß auf datengesteuerte oder konzeptuelle Verarbeitung zulassen sollte (Bösel, 1986).

Wenn einzelne Phasen der Problemlösung bei Aufgaben dieser Art eine vergleichbare mentale Beanspruchung voraussetzen, so sollte hier auch eine Entsprechung im zeitsynchronen Elektroenzephalogramm (EEG) zu finden

sein. Nach der vorliegenden Literatur (Mecklinger, 1992; Bösel et al., 1992) ist anzunehmen, daß erhöhte Aktivität im Theta-Band des Spontan-EEGs bei Komponentenanalyse auftritt. Die folgenden Befunde lassen vermuten, daß konzeptuelle Beanspruchung mit erhöhter Aktivität im Alpha-Band des Spontan-EEGs einhergeht.

Der Alpha-Rhythmus gehört zu den am häufigsten beobachteten Phänomenen im kortikalen EEG. Er entsteht im Rückmeldekreis thalamo-kortikaler Bahnen und gilt als Barriere gegenüber sensorischen Impulsen (Andersen & Andersson, 1963; Creutzfeldt, 1983). In Situationen mentaler Beanspruchung kann daher das Auftreten von Alpha-Wellen als Zeichen von Entspannung (Weickmann et al., 1979) oder Unaufmerksamkeit (im Sinne minimaler Ressourcen-Allokation), aber auch als Abkopplung der mentalen Tätigkeit vom Reizinput verstanden werden.

Es gibt mehrere Studien, die bei mentaler Beanspruchung, v. a. beim Kopfrechnen, eine Verringerung der Signalenergie im Alpha-Bereich feststellen (Literatur-Übersicht bei Zeller, 1986). In einigen Arbeiten wird dieser Effekt innerhalb des Alphabereichs genauer lokalisiert und dann als Effekt vor allem des langsameren Alpha beschrieben (Vogel, Broverman & Klaiber, 1968; Kawabata, 1974; Rösler, 1975). Eine Zweiteilung des Alpha-Bandes in einen hoch- und einen niedrigfrequenten Anteil ist in mehreren faktorenanalytischen Studien gefunden worden (Literatur s. Mecklinger & Bösel, 1989). In der Literatur bleibt offen, ob das niedrigfrequente Alpha eher mentale Tätigkeiten anzeigt, die zwar vom sensorischen Input abgekoppelt erscheinen (Zeller, 1986), aber als eine Art konzeptueller Beanspruchung zu verstehen sind, oder ob es als Zeichen „kortikaler Inhibition“ (Vogel, Broverman & Klaiber, 1968; Gale, Davies & Smallbone, 1977) interpretiert werden kann und dann mit der Unterdrückung irrelevanter Information einhergeht. Letzteres wurde von Schacter (1977) nach Durchsicht der Literatur mit der Aktivität im Theta-Band assoziiert. In einer eigenen Studie (Bösel, Mecklinger & Stolpe, 1990) fanden wir eine Erhöhung der Alpha-Power 500—250 ms vor der Wahlreaktion in einer Konzeptlernaufgabe, die angibt, ob das eben gezeigte Beispiel zu dem zu entdeckenden Oberbegriff gehört oder nicht. Dies deuteten wir als Hinweis auf konzeptuelle Beanspruchung („Exploration“).

Die vorliegende Studie untersucht nun über eine Klasse von Problemlösungsprozessen hinweg, ob erhöhte Alpha-Power regelmäßig im Spontan-EEG in bestimmten Phasen des Problemlöseverhaltens beobachtet werden kann. Es wird angenommen, daß dies der Fall ist, wenn für die Informationsverarbeitung aufgrund von Instruktion, Meßzeitpunkt und Antwort-Typ erhöhte konzeptuelle Beanspruchung stattfindet.

## Methode

### *Stichprobe*

Am Experiment nahmen 26 Berliner Studierende der Psychologie teil (Alter von 20 bis 50 Jahren; Mediän bei 26), davon 14 Frauen und 12 Männer. Eine EEG-Ableitung erfolgte bei 16 Personen (8 Frauen, 8 Männer, Durchschnittsalter 28,6 Jahre).

### *Versuchsordnung*

Jeder Proband hatte neun über Bildschirm dargebotene Problemlöseaufgaben interaktiv zu lösen. Die Aufgaben wurden in Blöcken zu je drei Aufgaben in wechselnder Reihenfolge gestellt. Jeder Block begann mit einer Rechen- oder Ordnungsaufgabe, enthielt dann eine umfangreichere Textaufgabe und schloß mit einer graphischen Aufgabe.

Die Instruktion zu jeder Aufgabe wurde in mehreren Teilschritten, aber in festgelegter Reihenfolge gegeben, wobei der Beginn einer neuen Aufgabe und die Bearbeitung der Teilinstruktionen jeweils nach Betätigen einer Taste selbstgetaktet erfolgen konnte. Dadurch wird eine zeitliche Dehnung der Instruktions-Bearbeitung erreicht, die gleichzeitig eine Eingrenzung des Zeitpunkts der Bearbeitung relevanter Hinweisreize erlaubt. Die Aufforderung zur Beantwortung einer Lösungsfrage wurde stets angekündigt und die Lösungsfrage selbst konnte ebenfalls durch Tastendruck selbstgetaktet abgerufen werden. Die Antwort sollte „möglichst rasch“ gegeben werden, jedoch ohne Zeitlimit. Der Aufbau der meist kurzgefaßten Lösungsfrage auf dem Bildschirm und die durch Tastendruck erfolgende Antwort stellen die wichtigsten chronometrischen Fixpunkte dar.

### *Die Aufgaben*

1. Bildung einer Rangordnung (Beispiel aus Krause et al., 1984). Die Vorgaben lauten: Jan ist größer als Tom; Paul ist kleiner als Tom. Nach einer selbstgetakteten Überlegungszeit wird gefragt: Ist Jan größer als Tom? Und als kritische Frage: Ist Jan größer als Paul? — 2. Rekonstruktiver Abruf (Material nach Carmichael, Hogan & Walker, 1932). Drei mehrfach interpretierbare Figuren werden gezeigt. Nach folgenden Begriffen wird gefragt (in Klammern die erwarteten Antworten): Steuerrad (ja), Ziffer 4 (ja), Schildkröte (nein), Haus (nein), Brille (ja), Gebirge (nein), Sonne (ja), Handtel (ja), Buch (nein), Ziffer 7 (ja). — 3. Räumliche Orientierung mit dem Merksatz: BEI AMPELN IMMER LINKS ABBIEGEN. Beschreibung von Straßenzügen eines fiktiven Basarviertels und Aufforderung zur anschauli-

chen Imagination. Die Aufgabe, einen vereinbarten Treffpunkt zu finden, ist nur bei Berücksichtigung des Merksatzes möglich. Die kritische Frage betrifft die Einschätzung, sich im Falle des Falles zurechtzufinden. — 4. Einstellungsaufgabe (Material von Luchins, 1942). Fünf Subtraktionsaufgaben müssen nach dem gleichen Rechenschema gelöst werden. Die sechste, kritische Rechenaufgabe erfordert ein anderes Rechenschema, die siebente und achte können auf verschiedene Arten gelöst werden und die neunte erfordert eine Rückkehr zum alten Rechenschema. Sechste, siebente und achte Rechenaufgabe wurden mit dem Hinweis „Bitte aufpassen!“ versehen, um explorierendes Verhalten zu forcieren. --5. Geometrische Analogie (Aufgabe nach Novick & Tversky, 1987, in der Fassung nach Matlin, 1989). - 6. Wiedererkennen von Teilen einer geometrischen Figur (verwendet wurden die von Anderson, 1988, ausgewählten Figuren von Reed, 1974, und Palmer, 1977). Von der ersten Figur wurden das Vollbild und drei Teilfiguren und von der zweiten das Vollbild und vier Teilfiguren gezeigt, wobei hier die dritte, weil schwierigste, als kritische galt. — 7. Buddhist monk problem (nach Koestler, 1964). Eine Erzählung über einen Mönch, der an einem Tag einen Berg besteigt und am anderen Tag wieder herunterkommt, soll anschaulich imaginiert werden. Das Problem besteht darin, ob es einen Wegpunkt gibt, an dem der Mönch beide Male zur selben Tageszeit vorbeikommt. — 8. Anforderungs-/Kapazitätseinschätzung. Das Problem besteht aus einer Mischungsaufgabe (mit einem Krug wird zuerst aus einem Weinfaß in ein Wasserfaß und dann Gemisch wieder zurückgeschöpft). Nach Art eines Lernprogramms wird die benötigte Formel und ihre Anwendung erklärt. Die kritische Frage betrifft das Zutrauen zur erfolgreichen Anwendung dieses Wissens bei der Lösung des eingangs gestellten Problems. — 9. Risikowahl-Entscheidung (nach Bösel, 1986). Vorgaben von rechnerisch gleichen Leistungsanforderungen: In Fall A sind 63kg zu heben, dafür kann man sich bis zu 7 s Zeit lassen. In Fall B ist innerhalb von nur 2 s ein Gewicht von 18 kg hochzuheben. Kritische Frage: Was ist schwieriger?

#### *Prozedur und Versuchssteuerung*

Jede Versuchsperson konnte bis zu zwei Begleitpersonen zur Untersuchung mitbringen. Nach ausführlicher Besichtigung des Untersuchungsraums und der Meßanordnung und nach Befestigung der Elektroden unter Mithilfe der Begleitpersonen wurden diese um Passivität gebeten. Die Probanden erhielten in einer Instruktion Hinweise auf eine entspannte Sitzhaltung mit einem Augenabstand von 50—70 cm von einem Bildschirm und über die Benutzung eines Tastenfeldes, damit sie die Aufgaben selbstgetaktet bearbeiten und die eingebauten Fragen mit Hilfe der bei den jeweiligen Tasten positionierten Fingern zügig beantworten konnten. Jede Aufgabe be-

gann mit einer kurzen Pause von 10 s Dauer. Die Bearbeitung aller Aufgaben dauerte etwa 20 bis 30 Minuten.

Das EEG wurde nicht kontinuierlich, sondern für einzelne Bearbeitungsphasen registriert (insgesamt 30 pro Person). In der Regel wurde die EEG-Aufzeichnung einer 4-s-Epoche 500 ms vor dem Erscheinen der jeweils kritischen Frage oder des relevanten Hinweisreizes auf dem Bildschirm begonnen. Dies wurde so realisiert, daß der vom Probanden zur Fortsetzung des Programms abgegebene Tastendruck dieses zunächst für weitere 500 ms stoppte und zugleich über die Schnittstelle des Aufgabenrechners einem zweiten Erfassungsrechner das Startsignal zur Erfassung der Daten aus dem dort angeschlossenen EEG-Signalwandler übermittelte. Nach dem Aufbau eines kritischen Instruktionsteils wurde vom Aufgabenrechner stets eine Messung der Bearbeitungszeit bis zum nächsten Tastendruck des Probanden vorgenommen (Genauigkeit 10 ms). Bearbeitungszeiten, bei Wahlreaktionen der Antworttyp und Personendaten wurden für jeden Probanden in einem vom Aufgabenrechner erstellten Protokoll gesammelt.

#### *EEG-Registrierung*

Das EEG wurde bipolar von P3 und P4 mit der Referenz FCz' bzw. FCz'' gegen eine Nullelektrode am ipsilateralen Mastoid abgeleitet. FCz ist ein zwischen Fz und Cz interpolierter Ableiteort über dem supplementären motorischen Cortex (vgl. Bösel, in Vorbereitung). Die bipolare Ableitung wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der Vorstudie (Bösel et al., 1990) durchgeführt. Sie erschwert zwar topographische Aussagen, minimiert aber den Einfluß nicht nur von externen, sondern auch von cranialen Artefaktquellen. Die vertikalen Augenbewegungen wurden durch Elektroden über und unter dem rechten Auge kontrolliert. Die mit einer Ag-AgCl-Legierung gesinterten Elektroden wurden mit Kollodium an die mit Isopropylalkohol entfettete Kopfhaut geklebt und mit Elektrolyt gefüllt. Das Signal wurde etwa 20 cm vom Ableiteort entfernt vorverstärkt und schließlich Gleichspannungs-verstärkt (Tiefpaß bis 37.5 Hz bei 3 dB) über eine PCM-Telemetrie (Fa. Volland) zur Registrier-Einrichtung gesendet. Das wieder decodierte Signal wurde schließlich mit einer Abtastrate von 256 Hz digitalisiert und mit einer 2 x 12-Bit-Auflösung in den Aufzeichnungsintervallen für alle drei Kanäle in den Arbeitsspeicher des Datenerfassungsrechners geschrieben. Im Anschluß an die Untersuchung erfolgte die Abspeicherung auf einen Datenträger. Die EEG- und EOG-Aufzeichnungen aller Epochen wurden mit einem Plotprogramm visuell inspiziert. EEG-Epochen mit Lid-schlägen wurden nicht korrigiert, sondern für die weitere Auswertung eliminiert. Die Behandlung der verbleibenden EOG-Einflüsse wird im Zusammenhang mit dem Auswertungsdesign beschrieben.

### *Datenanalyse*

Für die Antwortwahlen der 26 Personen wurden die relativen Häufigkeiten und für die Bearbeitungszeiten die Verteilungskennwerte berechnet. Darüber hinaus wurden für die Performanz-Variablen Effekte der Aufgabenreihenfolge (die allerdings hier nicht weiter berichtet werden), des Einflusses von Antworttyp auf Antwortzeit, der Tageszeit und von geschlechtstypischen Unterschieden geprüft.

Die Auswertung der EEG-Signale erfolgte über die Powerspektralanalyse. Zur Verfügung standen für jede der 16 Versuchspersonen 30 Bearbeitungsphasen mit je 4 s langen EEG-Aufzeichnungen. In jeder Aufgabe wurde mindestens eine Bearbeitungsphase gemessen, bei manchen Aufgaben mehrere (z. B. Aufgabe 2). Im Ergebnisbericht werden nur Daten aus den Bearbeitungsphasen berichtet, für die Hypothesen vorlagen, andere werden in der Diskussion erwähnt.

Zur Herstellung der Frequenz-Zeit-Diagramme wurden für jede der interessierenden Bearbeitungsphasen je 40 einander überlappende Epochen mit einer Epochendauer von 1000 ms gebildet, die gegeneinander um 100 ms verschoben waren (Methode der gleitenden Zeitfenster, vgl. Bösel et al., 1992). Über jede dieser Epochen wurde ein Cosinusfenster (zur Betonung der Information zur Epochen-Zentrumszeit) gelegt und Fast-Fourier-Transformationen mit Bandgrenzen bei 4 und 18 Hz gerechnet (Faltungsfrequenz bei 128 Hz, Frequenzauflösung von 1 Hz). Die Absolutwerte der Signalenergie für die Frequenzpunkte (die Frequenzschätzer) wurden an der Gesamtpower des betrachteten Bandes relativiert. Die so erhaltenen Zeitverlaufs-Frequenzspektren wurden nach einer gleitenden Glättung (3. Ordnung) für jede Versuchsperson visuell inspiziert. Anschließend wurden die Relativwerte für jeden Frequenzpunkt über alle zusammengehörigen Versuchspersonen gemittelt. Mittelungen innerhalb von Versuchspersonendaten wurden nicht vorgenommen.

Für die Teile der Bearbeitungsphasen, in denen differenzierende Prozesse zu erwarten waren („Episoden“ nach Bösel et al., 1990), wurden außerdem für die statistische Prüfung über die gleichen Rohdaten Powerspektren über Epochen mit 2 s Dauer (und einer Frequenzauflösung von 0.5 Hz) gerechnet. Auch hierbei wurde die jeweilige Epochenmitte durch ein Cosinusfenster stärker gewichtet. Die weitere Verrechnung der Frequenzschätzer erfolgte dann aber aufgrund der ungeglätteten Absolutwerte, um mögliche Relativierungsartefakte auszuschließen.

*Versuchsplan und Auswertungsdesign*

Die Zuordnung zu Experimental- und Kontrollgruppe erfolgte für jede Versuchsperson und Aufgabe post hoc nach Performanz-Kriterien (vgl. dazu u.a. Krause et al., 1984, oder Matlin, 1989). Dies gewährleistete eine enge Verbundenheit im Vergleich der sonstigen Bedingungen und war eindeutig vorzunehmen, da zur Bearbeitung der Aufgaben fast ausschließlich nur Alternativwahlen getroffen werden mußten. Bei Aufgabe (1) wurde innerhalb der richtigen Antworten nach kurzer vs. langer Bearbeitungszeit getrennt; bei Aufgabe (2) wurden nur die Antwortwahlen im zweiten (kritischen) Durchgang, jedoch für alle Targets gesondert berücksichtigt; bei Aufgabe (5), wo fünf Antwortalternativen möglich waren, wurde die einzig richtige den übrigen gegenübergestellt; bei Aufgabe (6) wurde ebenfalls nur der zweite Durchgang und hier nur die Daten der kritischen, dritten Teilfigur berücksichtigt. Bei Aufgabe (4) wurde innerhalb der Aufgabe Kontrolldurchgang (erste Rechnung) und kritischer Durchgang (Schemawechsel) verglichen, bei Aufgabe (6) innerhalb der Aufgabe Einprägen und Wiedererkennen.

Für einen Vergleich der EEG-Daten wurde in der Regel das Intervall nach Präsentation der kritischen Frage herangezogen, da hier die jeweils differenzierende Bearbeitungsperiode zu erwarten war. Die genaue zeitliche Lage der kritischen EEG-Epochen im Ablauf der Aufgabenbearbeitung ist der Tabelle 2 zu entnehmen. Der Ergebnisbericht bezieht sich auf die Daten nur einer Hemisphäre. Bei überwiegend sprachgebundenen (1,2) und Rechenaufgaben (4) ist dies die linke und bei überwiegend geometrischen (5,6) und solchen Aufgaben, die eine anschauliche Orientierung in Raum und Zeit erfordern (3,7,9), ist dies die rechte. Auch für die Anforderungs-/Kapazitätseinschätzung (8), die sich auf das Formelfinden bezieht, werden die Ergebnisse für die rechte Hemisphäre berichtet.

Die statistische Auswertung der EEG-Daten erfolgte für jede Aufgabe gesondert in dem Vergleich zwischen kritischen und Kontrollepochen. Da in der berichteten Literatur die bislang beobachteten Alpha<sub>1</sub>-Effekte hauptsächlich in den langsamen Anteilen des Alpha<sub>1</sub>-Bandes auftraten, wurden alle Prüfungen für die Bänder Theta (5.5—7 Hz), Alpha<sub>1</sub> (7.5—8.5 Hz) und Alpha<sub>1</sub> gesamt (7.5—10 Hz) vorgenommen. Soweit gerichtete Hypothesen vorlagen, erfolgten die Tests einseitig, sonst durchweg zweiseitig.

Die Prüfungen für Vergleiche von EEG-Daten zwischen Personengruppen erfolgten wegen der teilweise sehr kleinen Stichprobengrößen mit dem U-Test nach Mann-Whitney, die Vergleiche innerhalb von Gruppen mit dem t-Test für abhängige Meßwertpaare. Die Manipulationsüberprüfung der Antwortwahlen erfolgte mit Chi<sup>2</sup>-, die der Antwortzeiten — nach überprüfter Varianzhomogenität — mit dem F-Test.

Tabelle 2  
Die zeitliche Struktur der Aufgaben und die Lage der kritischen Epochen. Die Angabe der minimalen

Aufgabe	Kritische Phase	Dauer d. krit. Ph.	EEG-Epochenmitte (Epochendauer 2 s)
1. Rangordnung	Instruktionstext; anschließend Inkubationsphase (ohne Textdarbietung)	5 s	nach 3 s
2. Rekonstr. Abruf	Präsentation mehrdeutiger Figuren und anschließende Deutungsabfrage; Phase ab Darbietungsbeginn des kritischen Targetbegriffs	min. 660 ms	nach 1.5 s
3. Räuml. Orient.	Instruktionstext; anschließend Inkubationsphase (ohne Textdarbietung)	5 s	nach 3 s
4. Einstellungsauf.	Phase ab Darbietungsbeginn der ersten Übungsaufgabe bzw. der kritischen, vom bisherigen Schema abweichenden Aufgabe	min. 2860 ms	nach 2.5 s
5. Geom. Analogie	Phase ab Darbietungsbeginn der kritischen Hauptaufgabe (Inkubation vor der Lösungsaufforderung)	10s	nach 7 s
6. Erk. v. Teilfig.	Phase ab Darbietungsbeginn der Vollfigur bzw. der kritischen Teilfigur	5 s bzw. min. 840 ms	nach 2.5 s
7. Buddh. Mönch	Instruktionstext und Gelegenheit zur Imaginierung der raum-zeitlichen Handlungsabfolge; Phase ab Darbietungsbeginn der kritischen Frage	min. 6690 ms	nach 2.5 s
8. Anforderungs-/Kapazitäts-Einsch.	Präsentation von Formelalternativen (Inkubation); anschließend Darbietungsbeginn der kritischen Frage zur Verwendbarkeit der Formeln	min. 12 090 ms	nach 3s (d.i. 7s nach Darbietungsbeginn der Formelaltern.)
9. Risikowahl	Instruktionstext und Gelegenheit zur Imaginierung der Wahlalternativen; Phase ab Darbietungsbeginn der kritischen Frage	min. 3000 ms	nach 2.5 s

als Indikator für konzeptuelle Beanspruchung

Um den Einfluß von Augenbewegungen auf die Frequenzkomponenten des EEGs zu kontrollieren, wurde das EOG ebenfalls einer Powerspektralanalyse unterzogen und die hier erhaltenen Frequenzschätzer in völlig analoger Weise wie die EEG-Variablen geprüft. Um den Beta-Fehler möglichst klein zu halten, wurde hier jedoch eine Irrtumswahrscheinlichkeit bis 20% berücksichtigt. Alle EOG-Analysen erwiesen sich als nicht signifikant, so daß ein Einfluß von vertikalen Augenbewegungen auf die EEG-Effekte ausgeschlossen wurde.

## Ergebnisse

### *Aufgabe 1 (Bilden einer Rangordnung)*

Die Kontrollfrage, die nur aus einer Umformulierung des ersten Merksatzes bestand, wurde zu 88% richtig beantwortet. Zur Prüfung der EEG-Hypothesen wurden bei der Auswertung nur solche Personen in der Experimentalgruppe belassen, die die kritische Frage richtig beantworteten und deren Antwortzeit dabei unterhalb des Medians (4.46 s) lag (vgl. Krause et al., 1984). Alle übrigen dienten als Kontrollgruppe. Der Tabelle 3 ist zu entnehmen, daß, wie erwartet, ein signifikanter Effekt im Alpha-Band auftritt. Dies ist aber nicht über alle Frequenzen dieses Bandes der Fall, sondern nur im langsamen Bereich.

### *Aufgabe 2 (Rekonstruktiver Abruf)*

Die drei zu merkenden Figuren wurden — neben vier Distraktorbegriffen — mit je zwei verbalen Etiketten abgefragt (1. Durchgang: Steuerrad, 4, Brille; 2. Durchgang: Sonne, Hantel, 7). Bei der Beantwortung des Begriffs „Hantel“ gab es einen Effekt für geschlechtstypische Beantwortung: Frauen erkannten die „Hantel“ nur zu 34% gegenüber 75% bei den Männern ( $\chi^2(1) = 4.01, p < .05$ ). Ansonsten lagen die Erkennungsraten der Targets im 1. Durchgang bei 77, 92 und 92% (für die Distraktoren bei 8 und 0%), im 2. Durchgang bei 85, 54 und 23% (für die Distraktoren bei 12 und 4%). Die mittleren Responsezeiten lagen zwischen 3.4 s (erstes Item) und knapp unter 1.9 s (letzter Distraktor). Insofern war die experimentelle Manipulation zufriedenstellend. Unterschiede in der EEG-Aktivität beim Beantworten von erkannten und nicht erkannten Begriffen wurden für alle drei Targets des zweiten Durchgangs geprüft, konnten aber nur beim ersten gefunden werden (Tabelle 3). Der dort aufgetretene Unterschied ist der erwartete Effekt im Alpha-Band beim erkannten Target. Zusätzlich ist jedoch kontralateral erhöhte Theta-Aktivität zu beobachten.

Tabelle 3

Ergebnisse für die Effekte konzeptueller Beanspruchung im Absolutwert der Signalenergie im Alpha-Band des ereignisbezogenen Spontan-EEGs. U-Test nach Mann-Whitney. Eta<sup>2</sup> beschreibt den Anteil der durch die unterschiedliche Beanspruchung in den Teilstichproben aufgeklärten Varianz der EEG-Variablen im parametrischen Einwegvergleich; der Wert wird nur angegeben, wenn dort  $p < .25$ . Bei Aufgabe 3 werden nur Daten von Frauen, die mit „Ja“ antworteten, und von Männern, die mit „Nein“ antworteten, berücksichtigt

Aufgabe	Hypothese für Alpha <sub>i</sub>	n <sub>1</sub> ,n <sub>2</sub>	U-Test Hemisph.	Theta (5.5—7)	Alpha <sub>l</sub> (7.5—8.5)	Alpha <sub>ges</sub> (7.5—10)
1. Rangordnung (Inkubation)	richtig & schnell > krit. sonst	4,6	L	n. s.	2 p < .025 eins. eta <sup>2</sup> = 34%	n. s.
2. Rekonstr. Abruf (erstes krit. Bild)	erkannt > nicht erkannt	10,3	L	n. s.	5 p < .10 eins.	4 p < .05 eins.
3. Räuml. Orient. (ausgewählte Daten)	ja > nein	6,3	R	n. s.	2 p < .05 eins. eta <sup>2</sup> = 33%	n. s.
4. Einstellungsauf. (krit. vs. Übungsauf.)	krit. > Übung	14 Beob.-Paare	L	n. s.	n. s.	1.85* p < .05 eins. eta <sup>2</sup> = 9%
9. Risikowahl (Bevorzugung von A)	A > B	9,7	R	n. s.	n. s.	14 p < .05 eins. eta <sup>2</sup> = 16%

Vergleiche für die jeweils kontralaterale Hemisphäre n. s., ausgen. Aufg. 2: Theta (2,  $p < .05$  zweiseitl.) und Alpha<sub>ges</sub> (5,  $p < .10$  eins.)

\* t-Wert für abhängige Paare

### *Aufgabe 3 (Räumliche Orientierung)*

Nach 3.5 bis 27.4 s (Mediän 10.0 s) Überlegungszeit entschieden sich 77% der Personen dafür, daß sie sich nach den Angaben räumlich zurechtgefunden hätten. Allerdings wurde die Frage von 93% der Frauen, aber nur von 58% der Männer bejaht ( $\text{Chi}^2(1) = 4.33, p < .05$ ). Der Vergleich der EEG-Aktivität zwischen Ja- und Nein-Antworten aller untersuchten Personen verlief negativ. Schließt man jedoch die Daten der mit „Ja“ antwortenden Männer von der Analyse aus, so kann man einen Alphas-Effekt in der erwarteten Richtung beobachten (Tabelle 3, Abbildung 1), jedoch nicht über alle Frequenzen dieses Bandes, sondern nur im langsamen Bereich (Alpha).

### *Aufgabe 4 (Einstellungsaufgabe)*

Bei dieser Aufgabe gab es teilweise sehr lange Bearbeitungszeiten, vor allem für die routinemäßig zu bearbeitenden Schemaaufgaben mit Medianen bei 43.4 und 46.4 s, wobei diese Aufgaben nur zu 54 bzw. 23% richtig gelöst wurden. Dagegen wurde die Aufgabe, die das erste Mal einen Schemawechsel erlaubte, bereits zu 35% mit dem einfachen Schema gelöst. Die kritischen Aufgaben, die nach verschiedenen Schemata erfolgreich zu bearbeiten waren, wurden sogar zu 46 und 42% gelöst. Der Schemawechsel wurde tendenziell von Männern häufiger (67%) als von Frauen (29%) vollzogen ( $\text{Chi}^2(1) = 3.77, p < .10$ ). Die Rückkehr zum alten Schema produzierte 69% Falschlösungen, wobei die richtige Beantwortung wesentlich längere Zeit

Abbildung 1

Frequenz-Zeit-Diagramme für die kritischen Phasen bei zwei Aufgaben. Oben: Räumliche Orientierung; unten: Lösen einer geometrischen Analogieaufgabe.

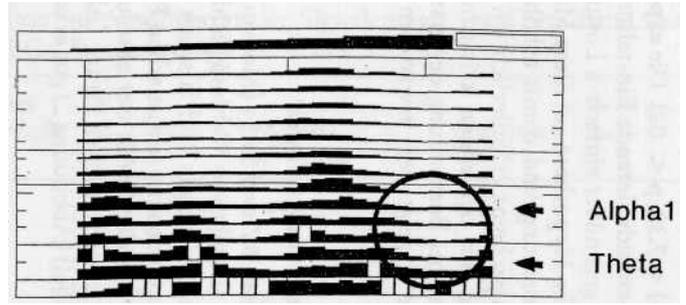
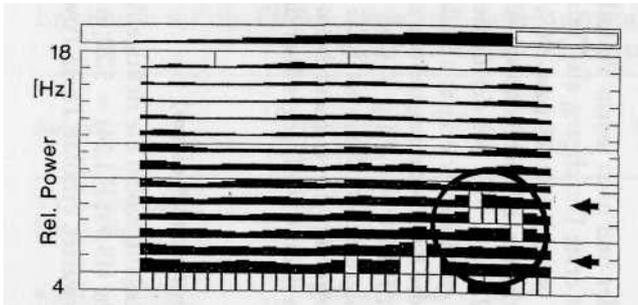
Die Diagramme zeigen Ergebnisse von Berechnungen der relativierten und über die Teilstichproben gemittelten Signalenergie des EEG-Powerspektrums mit gleitendem Zeitfenster (1s-Epochen) in einer P4-FCz-Ableitung. Die Frequenzauflösung (Ordinate) beträgt 1 Hz, die Zeitauflösung (Abszisse) 100ms. Die „Episoden“ mit dem für die richtige Bearbeitung erforderlichen Informationsverarbeitungsprozeß liegen stets in der 2. Hälfte der Phasen. Das Gebiet innerhalb der Kreismarkierung liegt im Zentrum der jeweiligen Episode über den langsamen Frequenzen. Weiße Quadrate kennzeichnen höchste Power-Werte.

Links die gemittelten Bilder für die post hoc gebildeten Experimentalgruppen (n = 6 bzw. 4), rechts für die Kontrollgruppen (n = 3 bzw. 6). Das Experimentalgruppenkriterium bei der Orientierungsaufgabe war die positive Antwort, bei der Analogieaufgabe die richtige Antwort. Außerdem unterscheiden sich bei der Orientierungsaufgabe die Gruppen auch hinsichtlich des Geschlechts (links Frauen, rechts Männer).

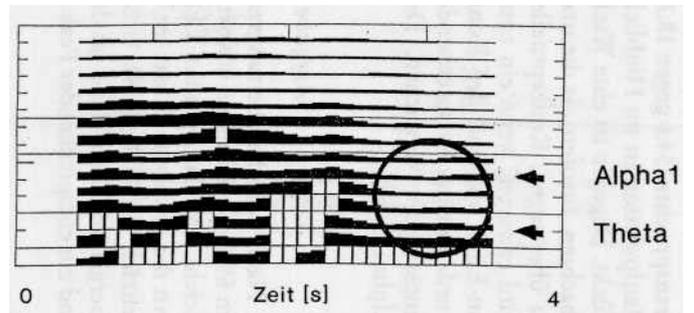
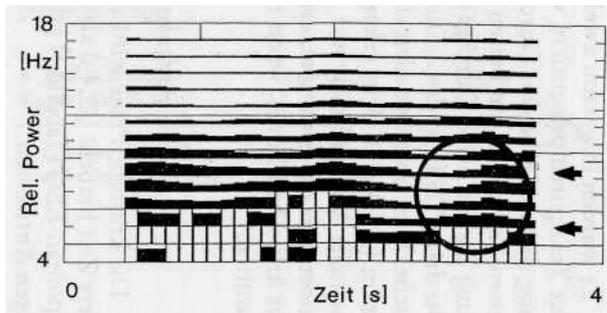
Bei der Orientierungsaufgabe wurde erhöhte Alpha-Aktivität als diskriminierendes Merkmal erwartet (als Indikator für konzeptuelle Beanspruchung). Die erfolgreiche Bearbeitung der geometrischen Analogieaufgabe ging mit erhöhter Theta-Aktivität einher (als Indikator für extensive Komponentenanalyse).

### Experimentalgruppen

### Kontrollgruppen



### Geometrische Analogie



als Indikator für konzeptuelle Beanspruchung

beanspruchte (54.6 gegen 18.7 s;  $F(1,24) = 7.39$ ,  $p < .02$ ). Die experimentelle Manipulation ist im Hinblick auf die zu induzierende Einstellung nicht gelungen. Dagegen ist eine Wachsamkeit gegenüber einfachen Lösungen zu beobachten. Insofern ist die ursprüngliche Hypothese auf diese Manipulation zu übertragen: Konzeptuelle Beanspruchung und damit erhöhtes Alpha wird erwartet, wenn ein neues Lösungsschema erforderlich ist. Das Spontan-EEG während der Konfrontation mit der ersten kritischen Aufgabe wurde mit der entsprechenden Epoche bei Bearbeitung der ersten Einstellungsaufgabe verglichen. Die Tabelle 3 zeigt den erwarteten Effekt im Alpha-Band.

#### *Aufgabe 5 (Geometrische Analogie)*

Nach einer Bearbeitungszeit zwischen 3.7 und 55.5 s (Mediän 16.1 s) treffen 69% die richtige Antwort bei fünf alternativen Wahlmöglichkeiten. Vergleicht man das Spontan-EEG zwischen richtigen und falschen Wahlen, so tritt der erwartete Effekt im Theta-Band nach der statistischen Prüfung tendenziell auf (Tabelle 4). Unabhängig von der Größe der absoluten Signalenergie im Theta-Band ist der Effekt in der relativen Power (Abbildung 1) und ein entsprechender Peak im Einzelfall (Abbildung 2) gut erkennbar.

#### *Aufgabe 6 (Wiedererkennen von Teilfiguren)*

Es wurden insgesamt zwei Vollbilder und nach jedem Vollbild drei bzw. vier Teilfiguren präsentiert, wobei der erste Durchgang als Trainingsdurchgang diente. In beiden Durchgängen wurden mit 85 bzw. 96% die jeweils ersten Teilfiguren am besten wiedererkannt. Die schlechteste Wiedererkennung lag für beide Durchgänge mit 23 bzw. 42% bei der dritten Teilfigur. Die dritte Teilfigur des 2. Durchgangs galt als schwierigste und daher als kritische. Hier unterschieden sich auch die Beantwortungszeiten zwischen erkannt (3.9 s) und nicht erkannt (2.1 s;  $F(1,24) = 6.07$ ,  $p < .03$ ). Die experimentelle Manipulation war also erfolgreich. Im Spontan-EEG (Tabelle 4) findet sich die erwartete, erhöhte Power im Theta-Band beim Betrachten des kritischen Bildes, wenn es wiedererkannt wird, gegenüber den nicht erkannten.

#### *Aufgabe 7 (Buddhist monk problem)*

Die kritische Frage wird von 62% bejaht, wobei die richtige Antwort längere Zeit braucht (21.4 s) als die falsche (15.9 s;  $F(1,24) = 5.22$ ,  $p < .04$ ). Das Spontan-EEG (Tabelle 4) zeigt, wie erwartet, erhöhte Theta-Power vor richtigen Antworten.

Tabelle 4  
 Ergebnisse für die Effekte extensiver Komponentenanalyse im Absolutwert der Signalenergie im Theta-Band des ereignisbezogenen Spontan-EEGs. Kennwerte wie in Tabelle 3

Aufgabe	Hypothese für Theta	n1,n2	U-Test Hemisph.	Theta (5.5—7)	Alpha1a (7.5—8.5)	Alpha1ges (7.5—10)
5. Geom. Analogie (Inkubation)	richtig > falsch	7,4	R	6 p < .10 eins. eta2 = 22%	n. s.	n. s.
6. Erk. v. Teilfig. (kritisches Bild)	Wiedererkennen > Einprägen	10,14	R	39* p < .05 eins. eta2 = 13%	n. s.	n. s.
7. Buddh. Mönch (kritische Frage)	ja > nein	10,5	R	8 p < .025 eins. eta2 = 22%	n. s.	n. s.
8. Anforderungs-/Kapazitäts-Einsch.	ja > nein	6,9	R	n. s.	n. s.	9** p < .05 zweis.

Vergleiche für die kontralaterale Hemisphäre n. s., ausgen. Aufg. 7: Theta (9, p < .05 eins.)

\* U-Test;  
 t-Test für abhängige Paare n. s. (kleineres n)  
 \*\* Richtung des Effekts umgekehrt:  
 Alpha höher bei „Nein“

*Aufgabe 8 (Anforderungs-IKapasitäts-Einschätzung)*

Alle Personen geben bei einer im Verlauf der interaktiven Bearbeitung der Mischungsaufgabe gezeigten Formel nach 4.4 bis 60.7 s Bearbeitungszeit (Mediän 19.9 s) an, sie zu verstehen. Dabei wenden Frauen mehr Zeit auf (24.5 s) als Männer (14.1 s;  $F(1,24) = 4.62$ ,  $p < .05$ ). Das Zutrauen für eine weitere, erfolgreiche Bearbeitung der Aufgabe besitzen schließlich aber nur 38% aller Probanden. Ein Vergleich des Spontan-EEGs nach Betrachten der Frage brachte den erwarteten Effekt im Theta-Band zwischen Ja- und Nein-Antworten nicht ( $U(6,9) = 29$ , n.s.). Statt dessen ist die Power im Alpha-Band bei „Nein“-Antworten erhöht (Tabelle 4).

*Aufgabe 9 (Risikowahl-Entscheidung)*

Die Probanden benötigten zwischen 3 und 114 s (Mediän 10.1 s), um sich in 54% der Fälle für die Alternative A zu entscheiden. Nach Bösel (1986) wäre wegen der dort gefundenen Regression von Gewichten bzw. Zeiten auf die Leistungsschätzungen eine Attribuierung von A als schwerere Aufgabe zu erwarten gewesen (dort waren 76% für A). In der vorliegenden Stichprobe blieb die Antwortwahl zufällig und die experimentelle Manipulation insofern unbefriedigend.

Bei Bösel (1986) wird jedoch außerdem berichtet, daß Männer unter Aktivierungs-Instruktion dazu tendieren, ihre Leistungsbereitschaft generell zu erhöhen (Parallelverschiebung der Regressionsgeraden), und Frauen unter Schonungs-Instruktion dazu tendieren, vor allem im Bereich großer Gewichte und langer Zeiten ihre Leistungsbereitschaft zu senken (Vergrößerung des Ordinatenabschnitts und geringere Steigung der Regressionsgeraden). Eine entsprechende Manipulation lag hier nicht vor, jedoch fand ein Teil der Experimente morgens, ein anderer nachmittags statt. Nimmt man an, daß das Morgen-Setting eher einen Schonungs-Effekt und das Nachmittags-Setting eher einen Aktivierungs-Effekt hervorruft, so müßten morgens untersuchte Frauen eher die Alternative B und nachmittags untersuchte Männer eher die Alternative A als schwerer beurteilen.

In der vorliegenden Untersuchung entschieden sich 4 von 6 morgens befragten Frauen (67%) für die Alternative B schwerer (gegenüber 4 zu 4 nachmittags). 5 von 6 nachmittags befragten Männern (83%) entschieden sich für die Alternative A schwerer (gegenüber 3 zu 3 vormittags). Die Daten weisen also in die erwartete Richtung, sind jedoch nach dem exakten Test für schwach besetzte 4-Felder-Tafeln nicht signifikant.

Im Spontan-EEG ist bei Bevorzugung der Antwort A über alle Probanden der erwartete Alpha-Effekt zu beobachten (Tabelle 3), nicht aber erhöhte Theta-Power vor der B-Wahl. Eine Selektion der Probandendaten nach Geschlecht oder Tageszeit bringt kein anderes Ergebnis.

## Diskussion

Die Vermutung, daß in den kritischen Phasen konzeptuell beanspruchender Aufgaben die Informationsverarbeitung mit einer Erhöhung der Power im Alpha-Band des Spontan-EEGs einhergeht, hat sich bestätigt. Als kritische Phasen dienten dabei die Epochen unmittelbar nach der Problemstellung, jeweils vor richtiger bzw. erwarteter Aufgabebearbeitung. Die hohe Varianzaufklärung dieses Indikators, die bereits früher (Bösel, 1991) berichtet wurde und die sich in dieser Untersuchung über verschiedene Aufgabentypen einer Aufgabenklasse hinweg wiederholt hat, bestätigt seinen diagnostischen Wert (vgl. Abbildung 2).

Bei den zusätzlich herangezogenen Kontrollaufgaben, für die eine extensive Komponentenanalyse erwartet wurde, blieb die Alpha-Aktivität mit einer Ausnahme unauffällig. Bei drei von vier Aufgaben, die eine differenzierte Repräsentation von Aufgabenkomponenten erforderten, wurde eine Erhöhung der Power im Theta-Band des Spontan-EEGs beobachtet, und zwar stets vor richtiger bzw. erwarteter Aufgabenbeantwortung. Die Theta-Aktivität kann man als Indikator für kontextabhängige Diskrimination ansehen (Bösel, in Vorbereitung).

Die Befunde lassen sich früheren Ergebnissen unserer psychophysiologischen Problemlöseforschung beordnen. Bösel (1986) fand in phasischen kardiovaskulären Parametern Anzeichen für „ungerichtetes Explorieren“ in den Phasen, wo sich Problemlöser unmittelbar vor dem Ende einer gedanklichen „Sackgasse“ befanden, und „orientierende Anstrengung“ in Phasen unmittelbar vor „Entscheidungen“. Im erstgenannten Fall wäre Konzeptneubildung, im zweiten eine Komponentenanalyse zu erwarten. Noch fehlen jedoch Untersuchungen, in denen phasische periphere Indikatoren und Variablen des phasischen Spontan-EEGs parallel erhoben werden.

Folgende Aufgaben können nach den vorliegenden Ergebnissen (Tabelle 3) als geeignet zur Untersuchung des Schablonenaufbaus gelten: Rangordnung, Rekonstruktiver Abruf und, wegen der geschlechtstypischen Differenzen mit Einschränkungen, die räumliche Orientierungsaufgabe. Zur Untersuchung der Komponentenanalyse sind folgende Aufgaben geeignet (Tabelle 4): Geometrische Analogie, das Buddhist monk problem und, bei Beschränkung auf schwierige Aufgaben, das Wiedererkennen geometrischer Teilfiguren.

Beim Buddhist monk problem war a priori nicht auszuschließen, daß das Problem auch mit Hilfe einer Konzeptbildung gelöst wird. Das war auch der Zweck der zweiten Instruktion, die aufforderte, sich zwei Mönche vorzustellen. Nach der eingangs zitierten Literatur sollte aber eine Lösungsfindung mit Hilfe detailreicher Imagination oder aber bei Experten durch direkten Schablonenabruf erfolgen. Im Falle einer Konzeptneubildung müßte

sie zeitlich vor einer Komponentenanalyse stattgefunden haben und hätte gegenüber dieser eine nur untergeordnete Bedeutung. Dies können die EEG-Daten bestätigen.

Die zur Anforderungs-/Kapazitätseinschätzung aufgestellte Hypothese, daß Zutrauen in eigene Fähigkeiten eine mit Gedächtnissuche verbundene Komponentenanalyse erfordere, war offenbar falsch. Die unerwartete Alpha-Zunahme vor ungünstiger Anforderungs-/Kapazitätseinschätzung scheint hier eher als Folge einer Überforderung aufzutreten. Darauf wird noch zurückzukommen sein.

Die Hypothesen für die Risikowahl-Aufgabe konnten nur zum Teil bestätigt werden. Die Antwortwahl B (geringes Gewicht in kurzer Zeit zu bewegen ist schwerer) setzt offenbar nicht voraus, daß einzelne, aufgabenrelevante Merkmale in größerem Umfang im Gedächtnis aktiv gehalten werden müssen als bei der Antwortwahl A. Dies war unter der Voraussetzung vermutet worden, daß bei Bevorzugung einer längeren Zeit (A ist leichter) die Vorstellung einer größeren Anzahl von Einzelmerkmalen der in Frage stehenden Tätigkeit erforderlich ist. Entweder ist aber eine geeignete Repräsentation von Prozeßkomponenten der Tätigkeit weniger aufwendig als vermutet oder sie ist bei der vorliegenden Aufgabe gar nicht erforderlich.

Bei der räumlichen Orientierungsaufgabe muß die Frage offenbleiben, welcher kognitive Prozeß einen Teil der Männer der Stichprobe zu einer positiven Antwort veranlaßt hat. Einige gaben bei gelegentlichen Nachfragen an, sie hätten die präsentierte Ortsbeschreibung als unzulänglich empfunden, aber im Zweifelsfall auf ihre Orientierungsfähigkeit vor Ort vertraut.

Die klassische Einstellungsaufgabe offenbarte in der geprüften Stichprobe Mängel bei der Manipulations-Überprüfung. Der berichtete Effekt ist aber jedenfalls nicht oder nicht nur auf die bei der kritischen Aufgabe erfolgte Aufforderung „Bitte aufpassen!“ zurückzuführen. Ein Testlauf mit einem Probanden, der diese Aufforderung bei der Übungs- statt bei der kritischen Aufgabe erhielt, zeigt — trotz geringer a-priori-Wahrscheinlichkeit einer Alpha-Variation — die Alpha-Zunahme in gleicher Weise bei der kritischen Aufgabe.

Der doch sehr deutliche, kontralaterale Theta-Effekt beim rekonstruktiven Abruf verweist darauf, daß zumindest hier die Informationsverarbeitung in mehreren Schritten verläuft. Komponentenanalyse und Schablonenaufbau wechseln einander häufig ab und können offenbar unter Umständen nahezu gleichzeitig ablaufen.

Zwei zusätzliche, bisher nicht berichtete Ergebnisse dürften die These stützen, daß im Verlauf eines Problemlösungsprozesses ein geeigneter Schablonenaufbau nachfolgende Diskriminationen unterstützt oder überhaupt erst ermöglicht. So wurde eingangs für die rasche und richtige Beantwortung der Rangordnungsaufgabe ein geeigneter Schablonenaufbau in der In-

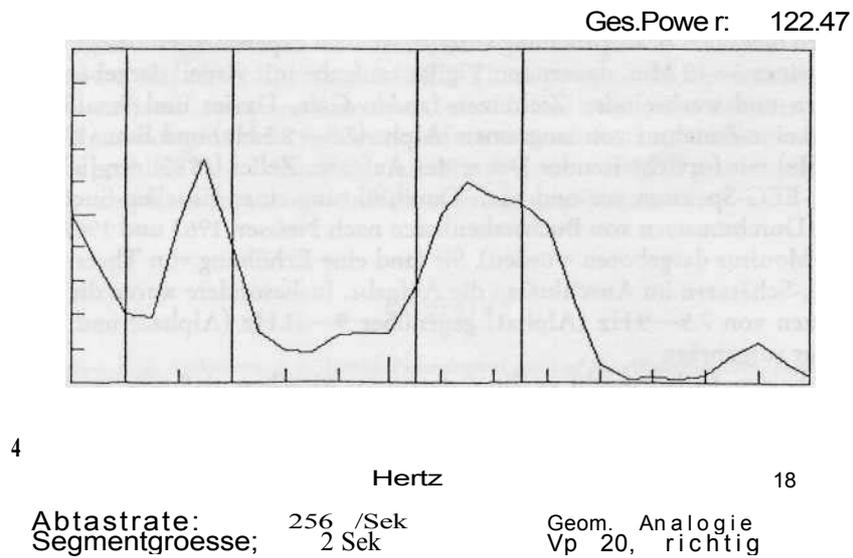
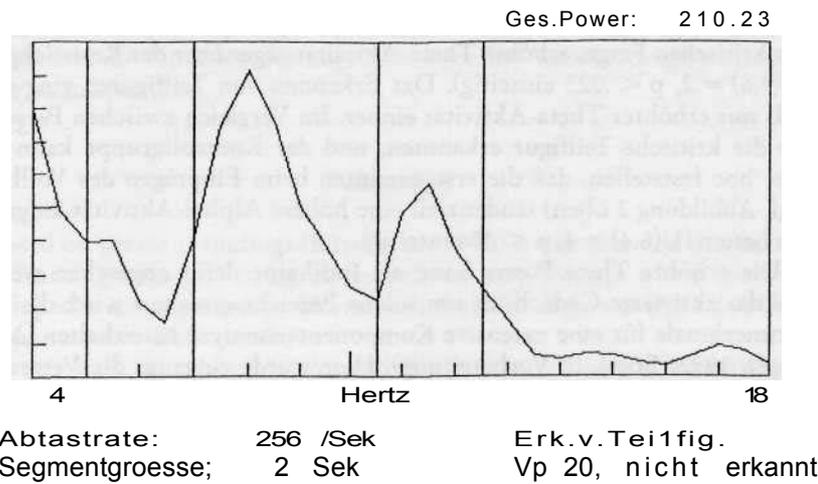


Abbildung 2

Diese Abbildung illustriert die Dynamik des Spontan-EEGs für je eine Phase konzeptueller Beanspruchung beim Einprägen einer geometrischen Teilfigur, bei der allerdings später die kritische Teilfigur nicht erkannt wurde (oben; Peak bei 8 Hz, Alpha), gegenüber einer erfolgreichen Komponentenanalyse beim Lösen einer geometrischen Analogieaufgabe (unten; Peak bei 6 Hz, Theta) innerhalb derselben Person (Vp 20). Außerdem sind in dieser Abbildung beide Gipfel des klassischen Alphabandes deutlich zu sehen. Beide Ableitungen erfolgten bipolar P4-FCz.

kubationsphase postuliert. Diese Personen zeigen später, vor Beantwortung der kritischen Frage, erhöhte Theta-Aktivität gegenüber der Reststichprobe ( $U(4,6) = 2$ ,  $p < .025$  einseitig). Das Erkennen von Teilfiguren ging ebenfalls mit erhöhter Theta-Aktivität einher. Im Vergleich zwischen Personen, die die kritische Teilfigur erkannten, und der Kontrollgruppe kann man post hoc feststellen, daß die erstgenannten beim Einprägen des Vollbildes (vgl. Abbildung 2 oben) tendenziell eine höhere Alphas-Aktivität aufgewiesen hatten ( $U(6,4) = 4$ ,  $p < .10$  einseitig).

Die erhöhte Theta-Power kann als Indikator dafür angesehen werden, daß das aktivierte Gedächtnis um solche Bereiche erweitert wird, die Kontextmerkmale für eine extensive Komponentenanalyse bereithalten (Mecklinger, 1992; Bösel, in Vorbereitung). Hier wurde eingangs die Vermutung geäußert, daß Alphas den Schablonenaufbau durch Merkmalszusammenfassung anzeigt. Insofern würde der von Alphas begleitete Prozeß imstande sein, die von Theta begleitete, zusätzliche Gedächtnisaktivierung zu reduzieren. Vermutungen dieser Art wurden in der Literatur bereits mehrfach geäußert (vgl. z. B. Darrow, 1947; Vogel et al., 1968). Die letztgenannten Autoren sprechen von einer Strukturierung, „vergleichbar der Einübung einer Verhaltenssequenz, die bis zum Punkt der Automatisierung gebracht werden kann“ (S. 172). Daß diese Funktion auch als Folge einer länger andauernden mentalen Beanspruchung auftritt, ist auch experimentell belegt:

In einer 5 x 16 Min. dauernden Vigilanzaufgabe mit visuell dargebotenen Ziffern und wechselnden Zielreizen fanden Gale, Davies und Smallbone (1977) eine Zunahme von langsamem Alpha (7.5—9.5 Hz) und Beta (13.5—19.5 Hz) mit fortschreitender Dauer der Aufgabe. Zeller (1980) verglich die Ruhe-EEG-Spektren vor und nach Durchführung einer visuellen Suchaufgabe (Durchmustern von Buchstabenlisten nach Neisser, 1963 und 1967, die über Monitor dargeboten wurden). Sie fand eine Erhöhung von Theta- und Alpha-Schätzern im Anschluß an die Aufgabe. Insbesondere waren die Frequenzen von 7.5—9 Hz (Alphas) gegenüber 9—11 Hz (Alpha2) und Beta stärker ausgeprägt.

In beiden Fällen macht es Sinn, davon zu sprechen, daß eine selektive Einengung des Arbeitsspeichers erfolgte, der zwar die für die Komponentenanalyse unumgänglich wichtigen Teile für die andauernde, spezielle Beanspruchung aktiviert hielt, ansonsten aber die Gesamtaktivierung reduzierte. Dies mag auch eine Erklärung dafür sein, daß Personen in Situationen dieser Art häufig berichten, müde aber angespannt zu sein (vgl. Zeller, 1980). Eine Erklärung dafür durch Prozesse der Informationsverarbeitung dürfte für den pädagogischen und den arbeitspsychologischen Bereich bedeutsam sein.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die Indikatoren im langsamen Frequenzbereich des Spontan-EEGs wichtige Analyseinstrumente in der

kognitiven Psychophysiologie darstellen. Es dürfte lohnen, ihre Anwendbarkeit und die Funktion der zugrundeliegenden Verarbeitungssysteme genauer zu untersuchen.

### Summary

Based on previous findings (Bösel et al., 1990) it was assumed that in concept learning tasks generating on hypotheses on a concept which has to be developed is accompanied by increases of the Alpha power (7.5—10 Hz) in the spontaneous EEG activity.

In this study 16 subjects performed five problem solving tasks with similar processing requirements. EEG data were analyzed by means of post hoc comparisons of subjects differing in Performance quality. Additionally, four control tasks were employed in which, based on previous studies, variations in the Theta frequency range were expected.

An effect in the Alpha frequency band was observed in tasks requiring reconstructive recall or testing the usefulness of a mathematical algorithm. The creation of a rank Order or mental map is accompanied by power increases in the lower portions of the Alpha frequency band (7.5—8.5 Hz). Moreover a high amount of controlled variance ( $\eta^2$  up to 34%) was obtained for this effect. Increases in EEG Theta power, which presumably indicate subjects' component analysis, were found before the subjects recognized parts of geometric figures or before relevant features in the „buddhist monk problem" were discriminated. The dynamics of EEG power over time is in examples of frequency/time plots in a figure, illustrated.

### Literatur

- Andersen, P. & Andersson, S.A. (1968). *Physiological Basis of the Alpha-Rhythm*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Bösel, R. (1986). *Biopsychologie der Emotionen*. Berlin: De Gruyter. Bösel, R., Mecklinger, A. & Stolpe, R. (1990). Changes in spontaneous EEG activity indicate a special kind of information processing in concept learning. *Biological Psychology*, 31, 257—269. Bösel, R., Mecklinger, A., Kranz-Raphaelian, M. & Stolpe, R. (1992). Evozierte Frequenzen: Neue Indikatoren in der Aufmerksamkeitsforschung. In J. Beckmann, H. Strang & E. Hahn (Hg.), *Aufmerksamkeit und Energetisierung*. Göttingen: Hogrefe. Bösel, R. (in Vorbereitung). *Der kortikale Theta-Rhythmus als Indikator für kontextabhängige Diskrimination*.
- Creutzfeldt, O. D. (1983). *Cortex cerebri*. Berlin: Springer. Darrow, C. W. (1947). Psychological and psychophysiological significance of the EEG. *Psychological Review*, 54, 157—168.

- Dejong, T. & Ferguson-Hessler, M. G.M. (1986). Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78, 279—288.
- Dreyfus, H. L. (1979). *What Computers can't do*. New York: Harper & Row.
- Gale, A., Davies, H. & Smallbone, A. (1977). EEG correlates of signal rate, time in task and individual differences in reaction time during a five-stage sustained attention task. *Ergonomics*, 20, 363—376.
- Grossberg, S. (1987). Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance. *Cognitive Science*, 11, 23—63.
- Hanawalt, N. G. & Demarest, I.H. (1939). The effect of verbal Suggestion in the recall period upon the reproduction of visually perceived forms. *Journal of Experimental Psychology*, 25, 159—174.
- Kawabata, N. (1974). Dynamics of the electroencephalogram during Performance of a mental task. *Kybernetik*, 15, 237—242.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Bern: Huber.
- Koestler, A. (1964). *The act of creation*. London: Hutchinson.
- Krause, W. & Wysotzki, F. (1984). Computermodelle und psychologische Befunde der Wissensrepräsentation. In F. Klix (Hg.), *Gedächtnis, Wissen, Wissensnutzung*, S.108—136. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Labov, W. (1973). The boundaries of words and their meanings. In C.-J.N.Bailey, R.W.Shuy (Eds.), *New Ways of Analyzing Varieties in English*. Washington DC: Georgetown University Press.
- Larkin, J. H. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Genter & A.L. Stevens (Eds.), *Mental models*, pp.75—98. Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving. *Psychological Monographs*, 54, 248.
- Luchins, A. S. & Luchins, E. H. (1959). *Rigidity of Behavior: A Variational Approach to the Effects of Einstellung*. Eugene OR: University of Oregon Press.
- McFarland, D. (1989). *Biologie des Verhaltens*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.
- Matlin, M.W. (1989). *Cognition*. New York: Holt, Rinehart & Winston, 2nd Ed.
- Mecklinger, A. (1992). *Gedächtnisprozesse. Eine Analyse ereigniskorrelierter Potentiale und der EEG-Spontanaktivität*. Weinheim: Psychologie Verlags-Union.
- Mecklinger, A. & Bösel, R. (1989). Veränderungen im EEG-Frequenzspektrum bei verschiedenen Phasen mentaler Belastung. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 36, 453—475.
- Neisser, U. (1963). Decision-time without reaction-time: Experiments in Visual scanning. *American Journal of Psychology*, 76, 376—385.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Novick, L.R. & Tversky, B. (1987). Cognitive constraints on ordering operations: The case of geometric analogies. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116, 30—67.
- Palmer, S. E. (1977). Hierarchical structure in perceptual representation. *Cognitive Psychology*, 9, 441—474.
- Potts, G.R. (1978). The role of inference in memory for real and artificial information. In R. Revlin & R. E. Meyer (Eds.), *Human Reasoning*, pp. 139—161. New York: Wiley & Sons.
- Reed, S.K. (1974). Structural descriptions and the limitations of Visual images. *Memory and Cognition*, 2, 329—336.
- Rösler, F. (1975). Die Abhängigkeit des Elektroencephalogramms von den Persönlichkeitsdimensionen E und N sensu Eysenck und unterschiedlich aktivierenden Situationen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 22, 630—667.
- Rumelhart, D.E. & Zipser, D. (1985). Feature discovery by competitive learning. *Cognitive Science*, 9, 75—112.
- Schacter, D. L. (1977). EEG theta waves and psychological phenomena: A review and analysis. *Biological Psychology*, 5, 47—82.

- Sternberg, R. J. (1977). *Intelligence, Information processing, and analogical reasoning*. Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Vogel, W., Broverman, D. & Klaiber, E. (1968). EEG and mental activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 24, 166—175.
- Weickmann, B., Gille, H.G., Otto, E. & Ullsperger, P. (1979). Ereignisbezogenes Auftreten von Alphawellen-Gruppen im EEG bei Lösen von periodisch projizierten Rechenaufgaben. *Zeitschrift für Psychologie*, 187, 326—339.
- Wessels, M. G. (1984). *Kognitive Psychologie*. New York: Harper & Row.
- Wolff, A. S., Mitchell, D. H. & Frey, P. W. (1984). Perceptual skill in the game of Othello. *Journal of Psychology*, 118, 7—16.
- Zeller, G. (1980). *Quantitative EEG-Untersuchungen zur Psychophysiologie visueller Suchprozesse*. Dissertation an der naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg.
- Zeller, G. (1986). Multivariate Beziehungsanalysen zu psychologischen Parametern und Veränderungen der Hirnelektrischen Wachaktivität im Rahmen visueller Suchprozesse. *Zeitschrift für Psychologie*, 194, 39—61.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Rainer Bösel, Psychologisches Institut der Freien Universität Berlin, Haselschwerdter Allee 45, 1000 Berlin 33.