

Fragestellung

Gibt es im EEG zuverlässige Indikatoren, mit deren Hilfe die Effizienz von Lernprozessen bereits im Verlauf der Lernphase vorhergesagt werden können?

Begründung der Fragestellung

Lernen benötigt Aufmerksamkeit und ist eng mit verschiedenen Gedächtnisprozessen verbunden. Zahlreiche ältere EEG-Studien berichten über erhöhte Anteile langsamer Frequenzanteile im EEG-Spektrum in Phasen erhöhter mentaler Beanspruchung. Lang u.a. (1987) wiesen darauf hin, dass gute Leistungen in einer Lernaufgabe (Erlernen einer besonderen Art von Morsealphabet) mit erhöhter Power im EEG-Theta während der Lernphase einher gingen. EEG-Theta wird als Anzeichen dafür interpretiert, dass Merkmale von Lernitems im Gedächtnis aktiv gehalten werden (Pennekamp u.a., 1994). Dies kann auch unter anderen Bedingungen, die eine genaue Instruktionsbeachtung erfordern, beobachtet werden (z.B. Bösel, 1993). EEG-Theta wird daher als Indikator für kontrollierte Gedächtnissuche („top-down“; vgl. Bösel, 2001a) aufgefasst. Die Verbindung zwischen Theta-korrelierter Gedächtnisaktivierung und Lernen wird durch zahlreiche Befunde mit Hippocampus-Theta hergestellt (Überblick der älteren Arbeiten z.B. in Miller, 1991; Bösel, 1993; Doppelmayr u.a., 2000; Grön u.a., 2001; Mayes u.a., 2003). Theta allein erklärt jedoch die Repräsentation von Lernitems zusammen mit den Lernkontexten noch nicht hinreichend.

Gute Leistungen unter kognitiven Anforderungen sind neben EEG-Theta auch von EEG-Alpha1 begleitet (das sind die langsamen Anteile im Alpha-Band), so z.B. unter länger aufrechterhaltener Aufmerksamkeit in working-memory-Aufgaben (Gevins u.a., 1979), in Vigilanz-Aufgaben (Gale u.a., 1978; Pennekamp u.a., 1994) und vor sogenannten Aha-Erlebnissen (Trefzer, 1989, in der Interpretation von Bösel, 2001b, S. 508; Jung-Beeman u.a., 2004). Effekte dieser Art wurde mit der Kapazitätsbegrenzung im Kurzzeitspeicher (Bösel, 2001a) und mit Konzeptneubildung (Bösel u.a., 1990; Bösel, 1992) bzw. chunking (Bösel, 2001b) in Verbindung gebracht. Die funktionelle Bedeutung von EEG-Alpha1 liegt jedenfalls darin, dass das Ausmaß aktivierter Gedächtnisteile reduziert wird. Pfurtscheller u.a. (1996) sprechen von einer Hemmung corticaler Areale. Gamma-Band-Variationen werden in Verbindung zu hippocampalen Funktionen gebracht (Fell u.a., 2003). Sie treten oft gekoppelt mit Alpha1-Variationen auf (Jung-Beeman u.a., 2004). Effektive Lernprozesse führen letztlich zu einer geringen corticalen Aktivierung bei der Aufgabenausführung (Graber u.a., 2003).

Vor allem die letztgenannten Studien legen die Vermutung nahe, dass EEG-Alpha1 (ca. 9-10 Hz) ein neuartiges Zusammenbinden verschiedener Merkmale vorbereitet. Es ist zu untersuchen, ob und welchem Ausmaß dieser Prozess durch Theta-korrelierte Gedächtnissuche vorbereitet und durch Gamma-korreliertes Binding gefolgt sein muss, um Lernerfolg zu gewährleisten.

Schulrelevanz

Schon sehr früh wurden wir mit der Tatsache konfrontiert, dass es für Schüler der 10.-12. Klasse z.B. kein wesentliches Problem bedeutet, Textaufgaben mit komplizierten Sätzen zu verstehen. Wohl aber gibt es Probleme beim Nichtbeachten irrelevanter Angaben zu Rechenbeispielen (z.B. Bösel, 1977). Das zu beobachtende Problem lässt sich als effektive Lenkung der selektiven Aufmerksamkeit beschreiben. Versteht man selektive Aufmerksamkeit als gezielte Inhibierung von irrelevanten Teilen des aktivierten Gedächtnisses, so besteht erfolgreiches Lernen im wesentlichen im Nichtbeachten

lernhinderlicher Informationen in Gegenwart aktiven Gedächtnis-Kontexte, die lernförderlich sind.

Im naturwissenschaftlichen Unterricht bedeutet Konzeptbildung vielfach die Neurepräsentation einer Finderegel, also z.B. Formeln und Merksätze (Dreisatz und andere Analogieschemata). Das praktische Problem ist, ob bei Lernern der „Sinn“ verstanden wurde, das heißt, dass die Finderegel auch unter suboptimalen Bedingungen (veränderte Vorgaben Reihenfolge, Distraktorinformation) angewendet werden kann.

Lehrstrategien könnten bei Vorliegen entsprechender Indikatoren der neuronalen Verarbeitung im Vorfeld daraufhin geprüft werden, ob sie in entsprechenden Laboranordnungen Verarbeitungsprozesse begünstigen, die ihrerseits einen hohen Lernerfolg gewährleisten. Der Schwerpunkt wird auf der Bildung von Konzepten im Bereich der Naturwissenschaften und der Mathematik liegen.

Kognitive Anforderung

Die zu untersuchenden kognitiven Anforderungen lassen sich als Auswahl von Enkodierungsstrategien beschreiben (z.B. inneres Wiederholen, Merkmalsunterdrückung und Chunking, assoziative Verknüpfung unterschiedlicher Verarbeitungstiefe). Im EEG kann der Ort der Verarbeitung beobachtet werden (z.B. posteriore Gedächtnisareale oder anteriore Kontrollareale), die Art der Verarbeitung (z.B. interpretiert als Aufladung oder Weiterleitung) Zeitverlauf oder zumindest Latenzen, sowie die Frequenz, die mögliche Auskünfte über die statistische Synchronisation und damit Bindung von verteilten Prozessen gibt, aber auch über die Größe von rezeptiven Feldern (z.B. interpretiert als kontrollierte Gedächtnisaktivierung, Inhibierung oder passive Ruheaktivität) und über die Lateralisation (z.B. interpretiert als direct access oder coarse-coding).

Diese Indikatoren können helfen, Enkodierungs-Prozesse zu differenzieren und insbesondere die Trennung von variaten und invariante Anteilen zu beobachten, sowie Existenz und Aufwand von Gedächtnisaktivierungen (z.B. episodischen Rekonstruktionen, auch bei false memories) nachzuweisen, die letztlich den Lernerfolg begünstigen.

Bezüge zu anderen Teilbereichen der Psychologie

Aufmerksamkeit hängt stets eng zusammen mit anderen Arbeitsspeicher-Funktionen, unter Umständen mit exekutiven Erfordernissen, Erlebensprozessen und Fehlerentdeckung. Im Vordergrund soll hier jedoch der Zusammenhang mit implizitem Lernen und Automatisierung stehen. Motivationale Faktoren kommen insbesondere über Cueing ins Spiel, das Gegenstand der Bedingungsvariation sein wird.

Darüber hinaus sind makroskopische Bedingungsvariationen vorgesehen. Diese sollten eine Variation potentiell lernförderlicher Bedingungen beinhalten, im ersten Schritt vorzugsweise die konzentrationsfördernde Wirkung eines leichten Geräuschpegels oder von leichter körperlicher Aktivierung. Die mit Gedächtnistests zu erhebende Lernleistung ist ein wichtiges Merkmal post hoc zur Bewertung der Enkodierungs-Prozesse.

Zielgruppe

Als Zielgruppe kommen zunächst junge, gesunde Erwachsene in Frage. Validierungsstudien sollten aber sehr bald an älteren Jugendlichen (d.h. nachpubertär, ab 10. Schulstufe) durchgeführt werden. Erst mittelfristig kann an Untersuchungen an Zielgruppen gedacht werden, die seitens der neurobiologischen Voraussetzungen eher als kritischen anzusehen sind (jüngere Kinder und ältere Erwachsene).

Neuropsychologische Methode

Es ist eine Mehrebenen-Erhebung vorgesehen (intellektuelle Voraussetzungen & Interessen, im Verlauf Leistungsmaße und EEG, Nachbefragung über erlebte Strategien). Die EEG-Methode wird bevorzugt, um aktualgenetische Prozesse im Zeitverlauf zu untersuchen. Zusammenhänge zwischen EKPs und Lernerfolg wurden bereits mehrfach dokumentiert (z.B. Fernandez u.a., 1998; Kopp & Wolff, 2000). Die EKP-Methode eignet sich gut zur Beschreibung evozierter EEG-Anteile. Die sogenannten induzierten Prozesse (spätestens nach der P300) sind in ihrem mikrogenetischen Prozessverlauf nur unzureichend abzubilden. Dies kann besser mit der zeitaufgelösten Frequenzanalyse erfolgen. Als EEG-Methode soll die S-Transformation gewählt werden (Tamm u.a., 2004). Sie gewährleistet insbesondere, dass sie die mit verschiedenen Verfahren unter geringfügiger Variation der Methodik bisher gewonnenen Ergebnisse (gefensterte Fourier-Transformation, ERD, Wavelet-Analyse; teilweise baseline-bezogen) in vergleichbarer Weise abbildet werden (vgl. z.B. Klimesch u.a., 1996).

Die EEG-Messung soll ereigniskorreliert erfolgen, d.h. nach Darbietung der zu beurteilenden Items bzw. vor der Abgabe der Wahlantwort. Für den praktischen Einsatz und als wichtiges hypothesengenerierendes Instrument soll ein baseline-freies EEG-Online-Monitoring, basierend auf der zeitaufgelösten Frequenzanalyse, entwickelt werden.

Operationalisierungen und Bedingungsvariationen

Die zu untersuchenden Lernparadigmen sollten vor dem Hintergrund der Referenzliteratur im weitesten Sinne dem Bereich des Konzeptlernens zuzuordnen sein. Wegen der vorgesehenen EEG-Methode ist eine zeitliche Eingrenzung des Beobachtungszeitraums auf wenige Sekunden erforderlich, wobei die Schranken (z.B. Reiz-Onset, Reaktions-Abgabe) gut definiert sein müssen.

Insofern werden mikrogenetische Prozesse untersucht. Die Paradigmen erfordern eine vor einem Gedächtnisstandard zu vollziehende, komplexe (d.h. mehr als eine Operation umfassende) Urteilsabgabe in Wahlreaktionen. Der Gedächtnisstandard besteht aus routinisiertem Wissen, das in ungewohnter Kombination abgerufen werden muss. Die Operationalisierung soll so gewählt werden, dass sie überprüfbare Annahmen über den zeitlichen Verlauf von Aufmerksamkeitsprozessen erlaubt. Erst kürzlich wurde der Verlauf von EEG-Alpha1 in einer Wahlreaktions-Anordnung zur Beurteilung „Symbolanzahl größer/kleiner als Symbolwert“ in Abhängigkeit von vermuteten Aufmerksamkeitsschwankungen mit Erfolg untersucht (Saw u.a., 2002).

Um die Qualität des Enkodierungsprozesses beurteilen zu können, sollte in einem ersten Schritt versucht werden, die Ergebnisse von Trefzer (1989) und Jung-Beeman u.a. (2004) mit der Methode der S-Transformation zu wiederholen. Im zweiten Schritt könnte dann die Rekonstruktion eines gezeigten Lösungsweges analysiert werden. Auf Grund der EEG-Parameter soll vorhergesagt werden, wie gut diese Rekonstruktion nach einem längeren Retentionsintervall gelingt.

Hypothesen

Wir erwarten, dass sich im Lernverlauf Variationen der langsamen EEG-Frequenzen (<10Hz) ergeben und dass dabei in zeitlicher Nachbarschaft Veränderungen im Gamma-Bereich auftreten. Das Ausmaß von EEG-Theta- und Alpha1-Power ist für die Phasen des größten Lernzuwachses indikativ.

Literatur

- Bösel R (1977) Der Einfluss von Informationsqualitäten in einer Aufgabenstellung auf die Problemlösegröße. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 24, 144-153.
- Bösel R (1992) Langsames Alpha im EEG-Powerspektrum als Indikator für konzeptuelle Beanspruchung. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* 39, 372-395.
- Bösel R (1993) Die cerebrale Theta-Rhythmicität unterstützt kontextabhängige Diskriminationsleistungen. *Kognitionswissenschaft* 3, 83-94.
- Bösel R (2001a) Aufmerksamkeitswechsel und Konzentration: von den Funktionen zum Mechanismus. *Zeitschrift für Psychologie* 209, 34-53.
- Bösel R (2001b) Denken. Göttingen: Hogrefe.
- 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-Raphaëlian M, Stolpe R (1993) Evozierte Frequenzen: Neue Indikatoren in der Aufmerksamkeitsforschung. In Beckmann J, Strang H, Hahn E (Hrsg) *Aufmerksamkeit und Energetisierung*, 211-228. Göttingen: Hogrefe.
- Doppelmayr M, Klimesch W, Schwaiger J, Stadler W, Röhm D (2000) The Time Locked Theta Response Reflects Interindividual Differences in Human Memory Performance. *Neuroscience Letters*, 141-144.
- Fell J, Klaver P, Elfadil H, Schaller C, Elger CE, Fernandez G (2003) Rhinal-hippocampal theta coherence during declarative memory formation: interaction with gamma synchronization? *European Journal of Neuroscience* 17, 1082-1088.
- Fernandez G, Weyerts H, Tendolkar I, Smid HG, Scholz M, Heinze HJ (1998) Event-related potentials of verbal encoding into episodic memory: dissociation between the effects of subsequent memory performance and distinctiveness. *Psychophysiology* 35, 709-720.
- Gale A, Davies R, Smallbone A (1978) Changes in the EEG as a subject learns to recall. *Biological Psychology* 6, 363-376.
- Gevins A, Zetlin G, Yingling C, Doyle M, Dedlon R, Schaffer J, Rozmasset J, Yeager C (1979) EEG patterns during cognitive tasks. Methodology and analysis of complex behaviors. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 47, 693-703.
- Grabner RH, Stern E, Neubauer AC (2003) When intelligence loses its impact: neural efficiency during reasoning in a familiar area. *International Journal of Psychophysiology* 49, 89-98
- Grön G, Bittner D, Schmitz B, Wunderlich AP, Tomczak R, Riepe MW (2001) Hippocampal Activations during Repetitive Learning and Recall of Geometric Patterns. *Learning & Memory* 8, 336-345.
- Jung-Beeman M, Bowden EM, Haberman J, Frymiare JL, Arambel-Liu S, Greenblatt R, Reber PJ, Kounios J (2004) Neural activity when people solve verbal problems with insight. *Plos Biology* 2, 0500-0510.
- Kopp B, Wolff M (2000) Brain mechanisms of selective learning: Event-related potentials provide evidence for error-driven learning in humans. *Biological Psychology*, 51, 223-246.
- Klimesch W, Schimke H, Doppelmayr M, Ripper B, Schwaiger J, Pfurtscheller, G (1996) Event-related Desynchronization (ERD) and the Dm Effect: Does Alpha Desynchronization During Encoding Predict Later Recall Performance? *International Journal of Psychophysiology*, 47-60.

- Lang M, Lang W, Diekmann V, Kornhuber HH (1987) The frontal theta rhythm indicating motor and cognitive learning. In Johnson JrR, Rohrbaugh JW, Parasuraman R (Eds) *Current Trends in Event-Related Potential Research*, 322-327. Amsterdam: Elsevier.
- Mayes A, Montaldi D, Spencer T, Kemnitz V, Mundy M, Roberts N (2003) Recall activations in different brain regions both linearly and non-linearly to level of learning and recall practice. Poster presented at the Annual Meeting of the CNS 2003.
- Miller R (1991) *Cortico-Hippocampal Interplay and the Representation of Contexts in the Brain*. Berlin: Springer.
- Pennekamp P, Bösel R, Mecklinger A, Ott H (1994) Differences in EEG-theta for responded and omitted targets in a sustained attention task. *Journal of Psychophysiology* 8, 131-141.
- Pfurtscheller G, Stancak A, Neuper C (1996) Event-related synchronization (ERS) in the alpha band - An electrophysiological correlate of cortical idling: A review. *International Journal of Psychophysiology* 24, 39-46.
- Saw A-L, Tamm S, Bösel R (2002) Slow rhythmic EEG, abstract concepts, and slow reaction times. Poster am 43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie: Berlin 22.-26. Sept. 2002.
- Tamm S, Möller D, Bösel R (2004) Time-frequency analysis of EEG data from a perspective-taking task using S-transform. Poster auf der 30. Arbeitstagung Psychophysiologische Methodik: Freiburg i. Br. 10.-12. Juni 2004.
- Trefzer S (1989) *Elektroencephalographische Korrelate bei "spontanen" Erkenntnisvorgängen*. Dissertation an den medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin.