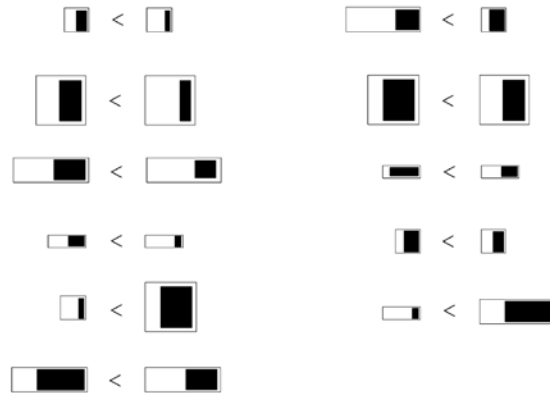


Neue Messgrößen für geistige Prozesse und Leistungen aus der Elementaranalyse der menschlichen Informationsverarbeitung

- kognitive Strukturen und kognitive Sequenzen -

Werner Krause

Eigenschaften kognitiver Strukturen



richtige Antwort:

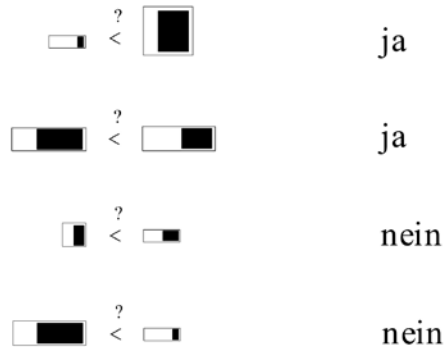


Abbildung 1

Versuchsmaterial für ein Ordnungsproblem zum Nachweis der Ausbildung unterschiedlich bewerteter kognitiver Strukturen im Denkprozeß. Das Material besteht aus 12 Mustern, die durch eine Relation („<“ bedeutet „steht links von“) miteinander verbunden sind. Alle direkt benachbarten Muster werden paarweise ungeordnet dargeboten. Das Material läßt die Klassifikationen zu, die jeweils unterschiedliche Mustermerkmale berücksichtigen. Die Anzahl der Merkmale, die eine Vp zur Klassenbildung heranzieht, geht in die Bestimmung der Bewertung ein (Sommerfeld, 1994). Unten: Zu beantwortende Fragen. Aus der Antwortzeit wird vermittels Symbol-Distanz-Effekt die Struktur bestimmt.

Abbildung 2

Korrelativer Zusammenhang zwischen der Reduktion kognitiver Komplexität beim Lösen eines Ordnungsproblems mit unbekannter Information und der Güte der komplexen Problemlöseleistung für jede Versuchsperson. Die einfachste Struktur ist diejenige mit der kleinsten notwendigen Anzahl zu behaltender Merkmale. Wir bezeichnen sie als effektiv. Die „Güte der komplexen Problemlöseleistung“ wird durch Zensuren für den Entwurf eines Justiertisches (für die Konstrukteurstudenten) und durch Noten in mathematischen Prüfungsfächern (für die Mathematikstudenten) ausgedrückt.

Abbildung 2 nachfolgend

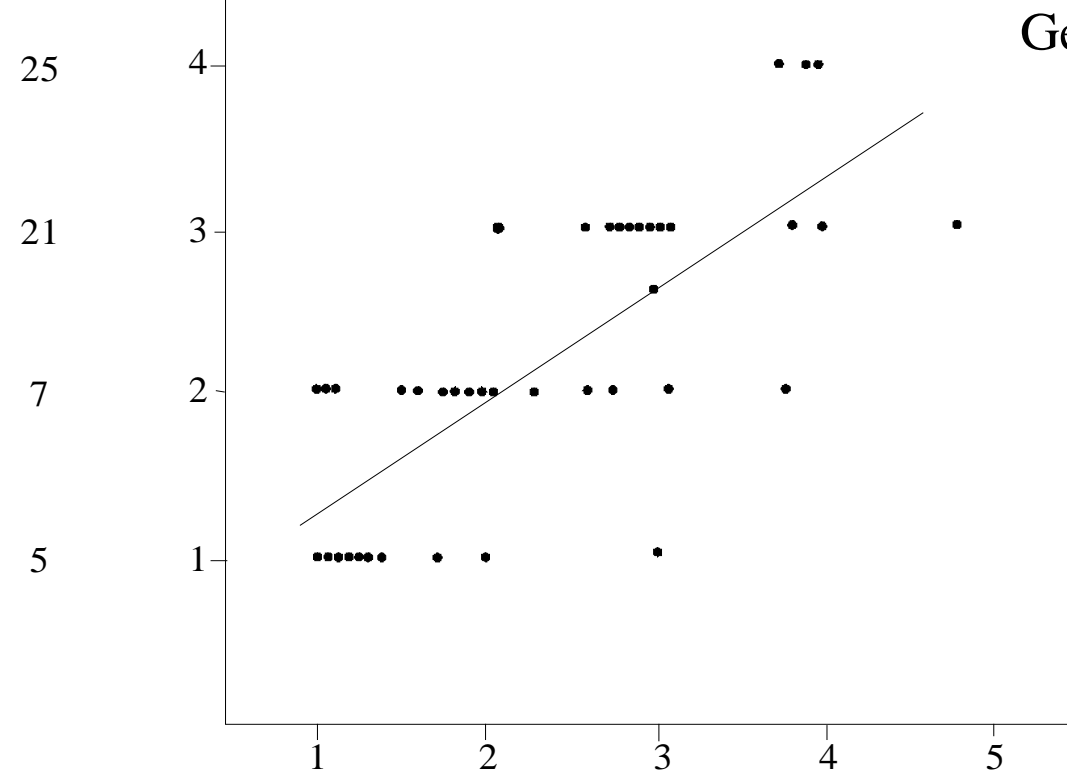
Merk-
mals-
anzahl

Rangplatz nach
kognitivem
Aufwand

40 Vpn

Studenten der
Mathematik und
Gerätetechnik

$r = 0,75$



Noten im großen
Beleg u. Mathem.-
Prüfung

Abbildung 2

Krause, Sommerfeld, Höhne, Sperlich;



Eigenschaften kognitiver Sequenzen

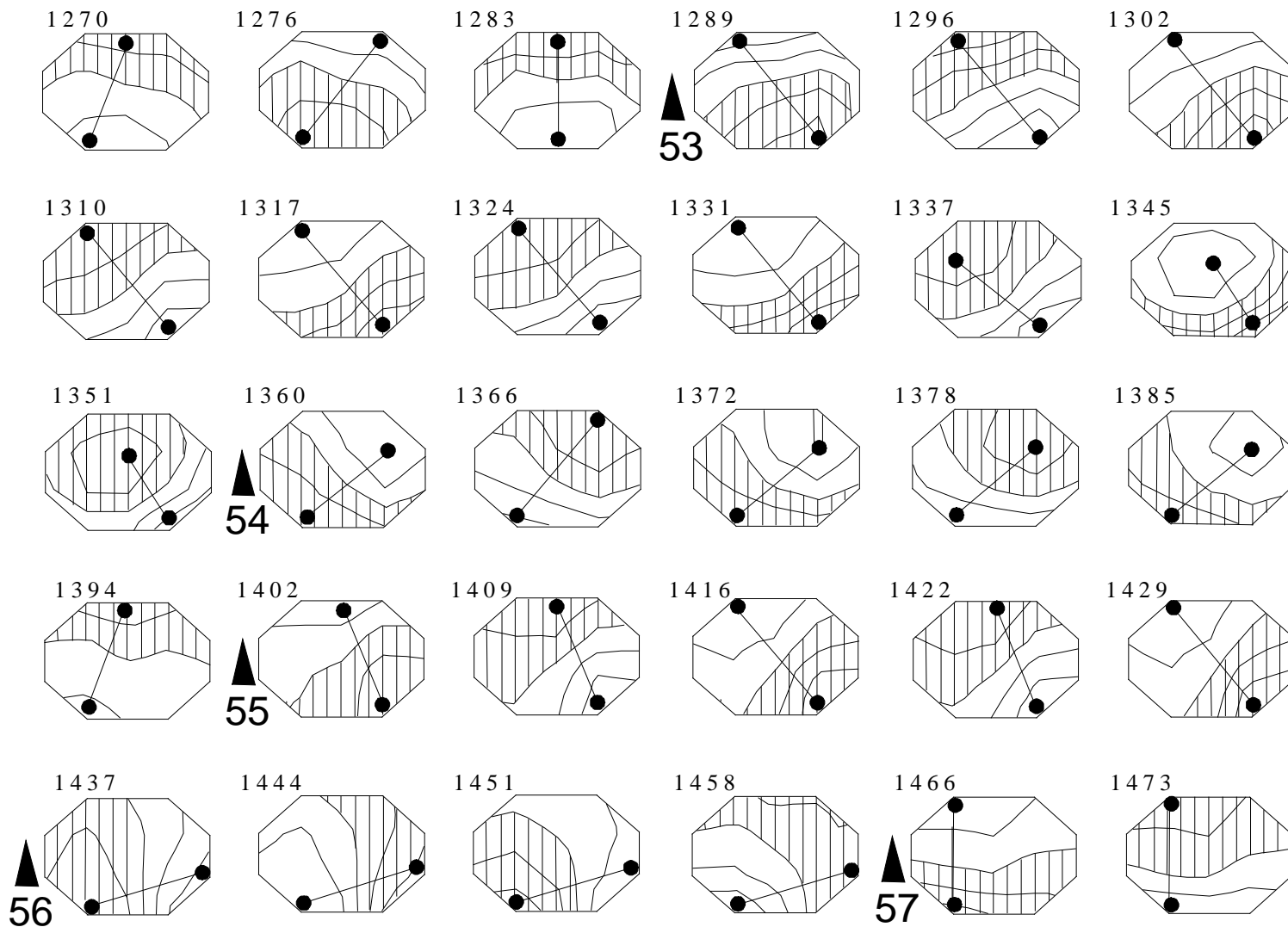


Abb. 3: Grundidee der EEG-Segmentierung nach Lehmann (1987). Die Maps zeigen zeitabhängige Isopotentiallinien des EEG. Die eingezeichneten Dipole verdeutlichen, wie lange eine Isopotentiallinienverteilung stabil ist. Damit wird die Dauer eines Segmentes bezeichnet.

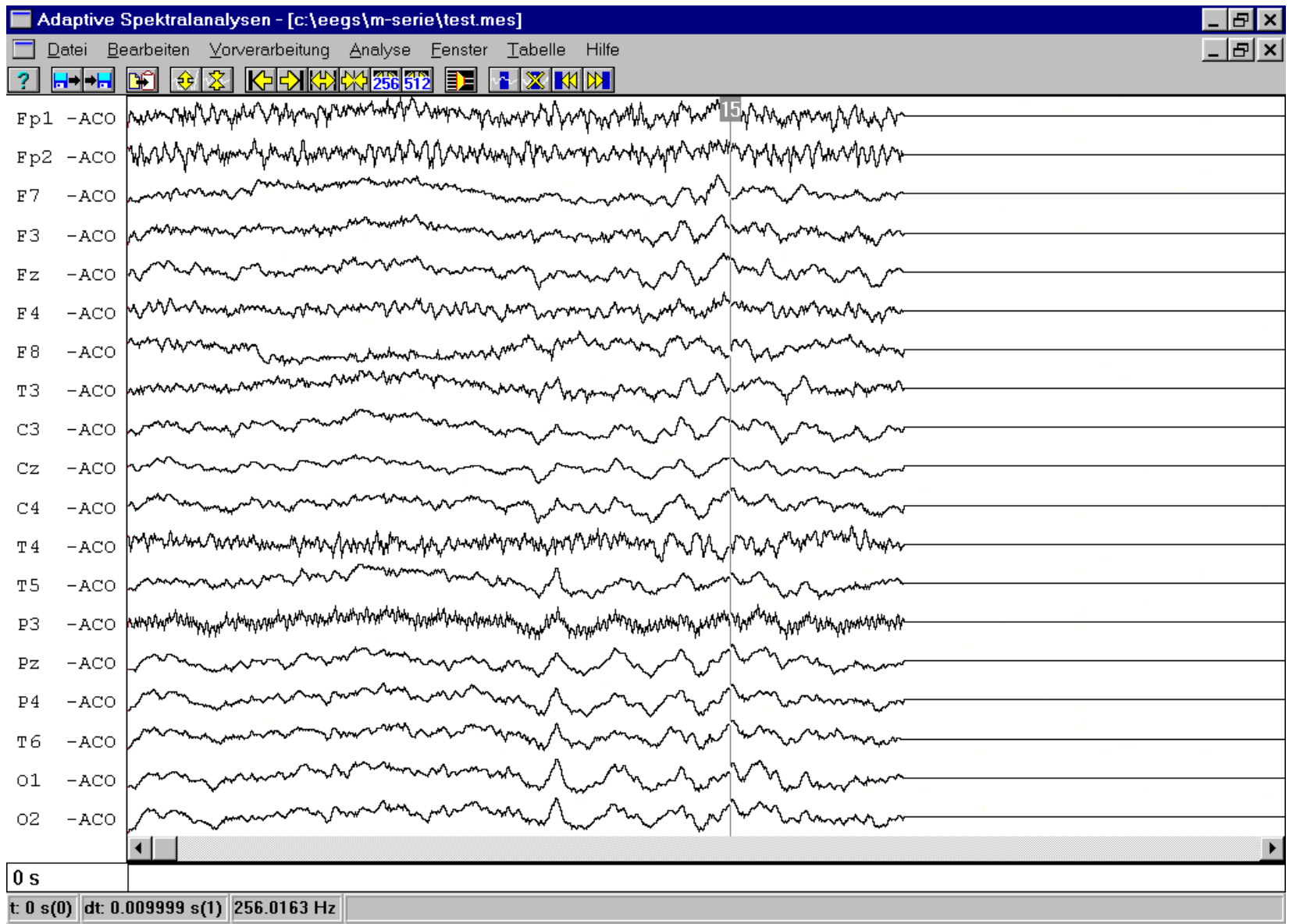


Abb. 4: EEG, beim Lösen eines mathematischen Problems, 10 Sekunden.

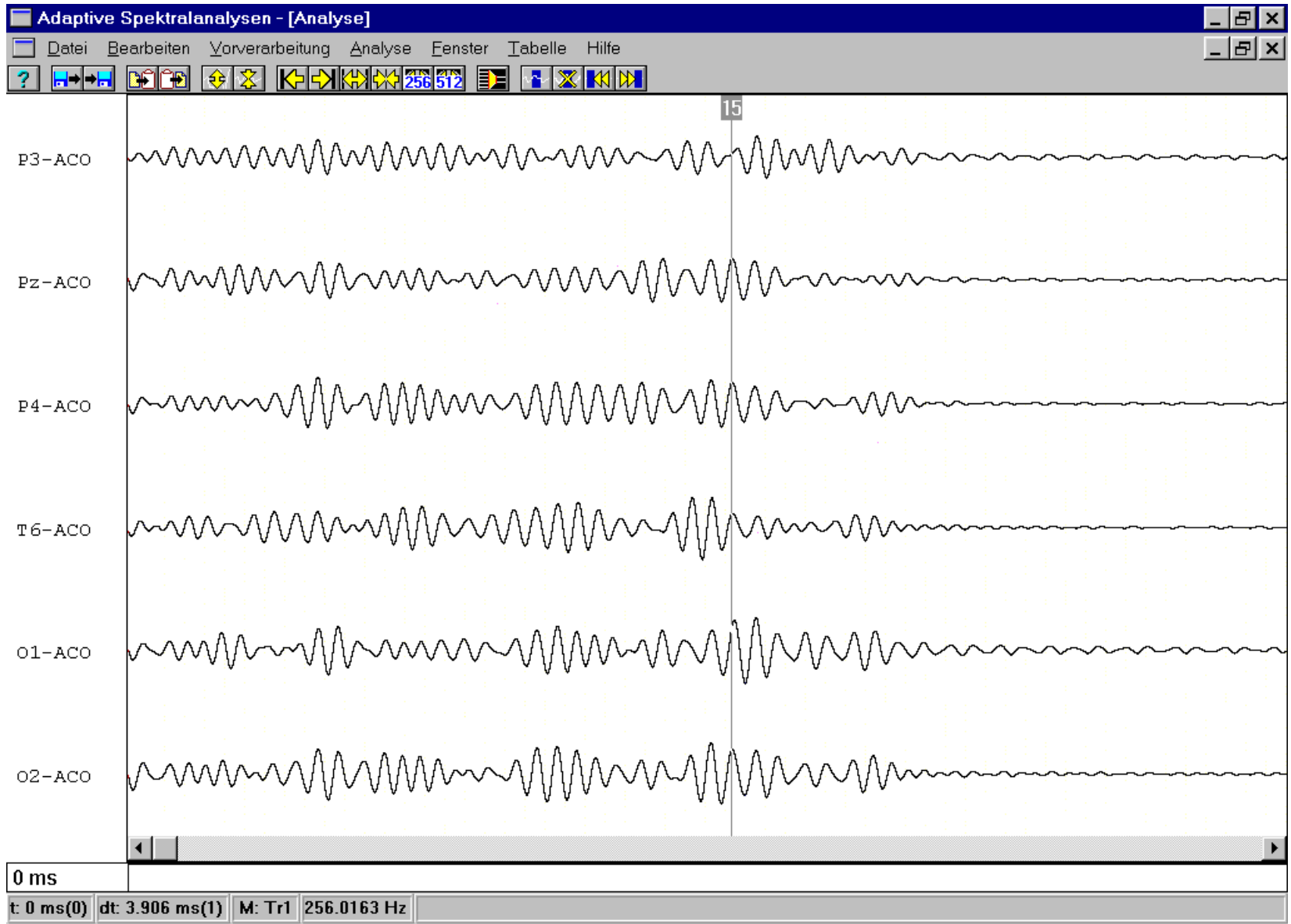


Abb. 5: EEG, gefiltert, 13 – 20 Hz.

Fragestellung:

EEG, (gefiltert, 13-20 Hz)

normalbegabt hochbegabt

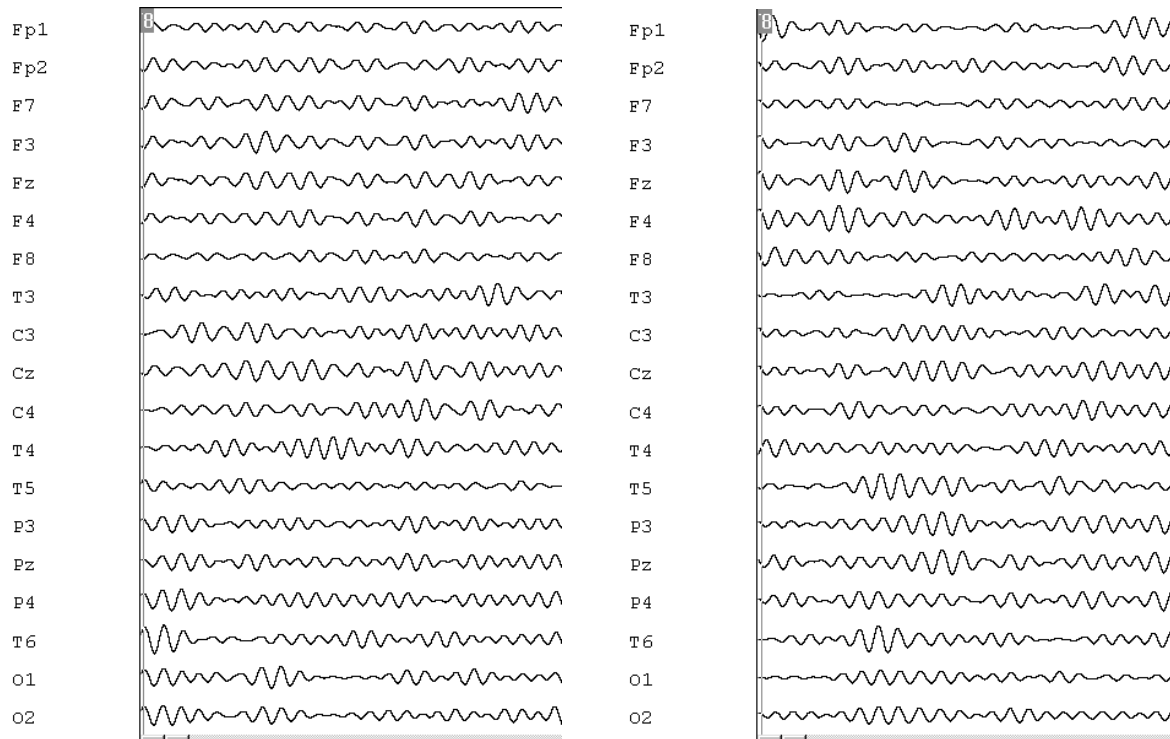


Abb. 6: EEG einer math. normal- und einer hochbegabten Vp, offensichtlich ist es schwierig, einen überzeugenden Unterschied auszumachen sehen.

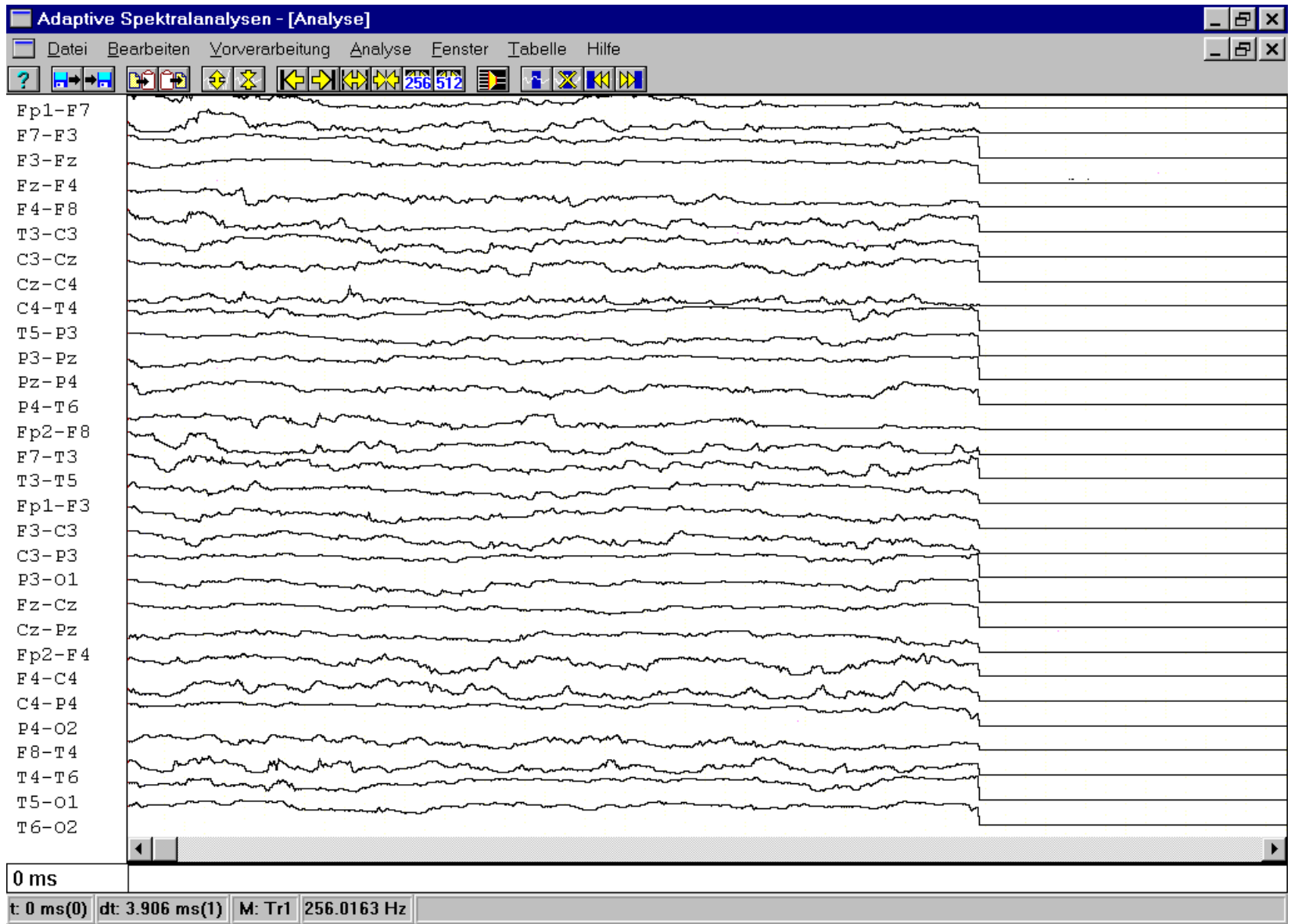


Abb. 7: EEG-Kohärenz paarweise benachbarter Elektroden beim Lösen eines math. Problems, 10 Sekunden.

1. EEG – Kohärenzanalyse (Schack, 1995)
Kohärenz: Grad der funktionalen Kopplung
zwischen kortikalen Arealen

Kohärenzmaps in hoher zeitlicher Auflösung

2. Segmentierung: Zusammenfassen ähnlicher
Kohärenzmaps

3. Clusterung: Zusammenfassen ähnlicher
Segmente

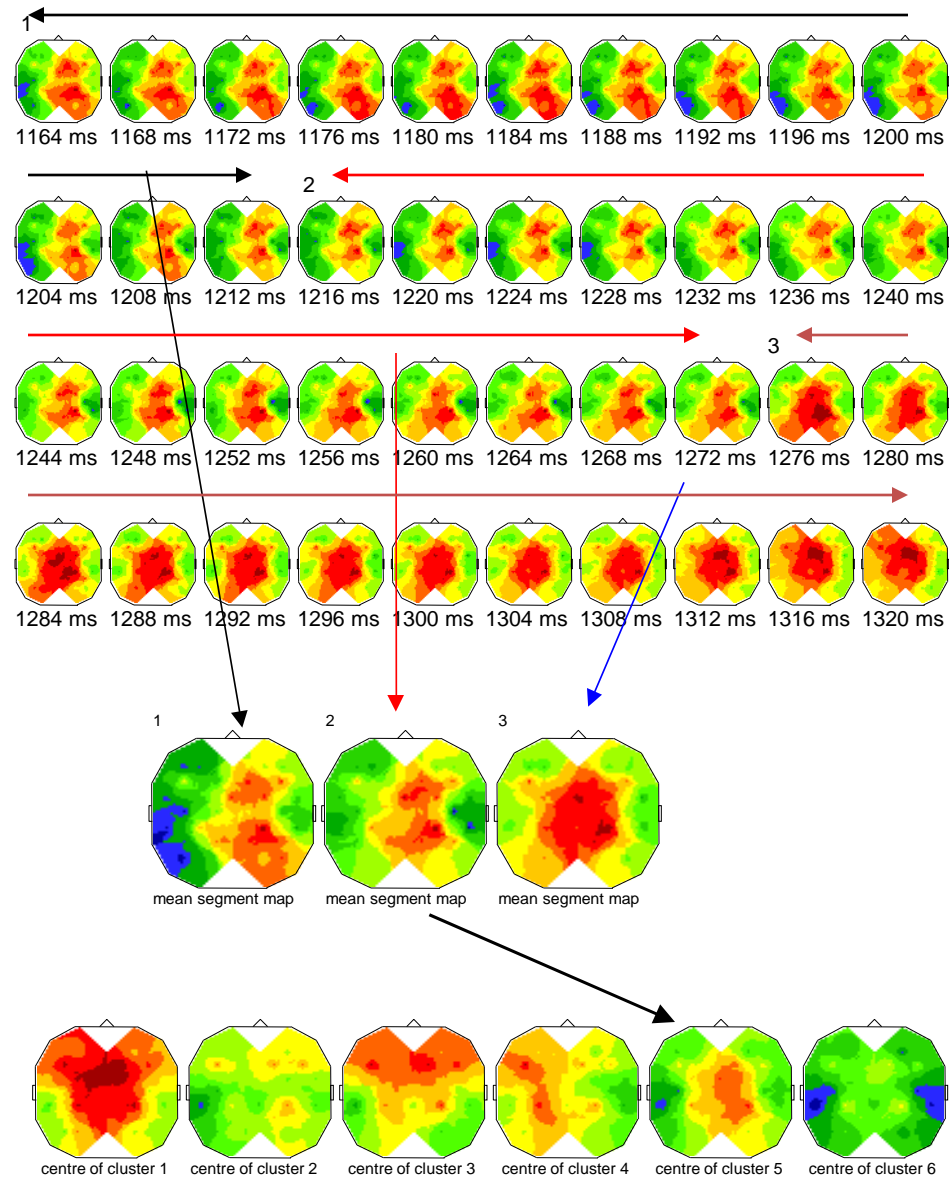


Abb. 8

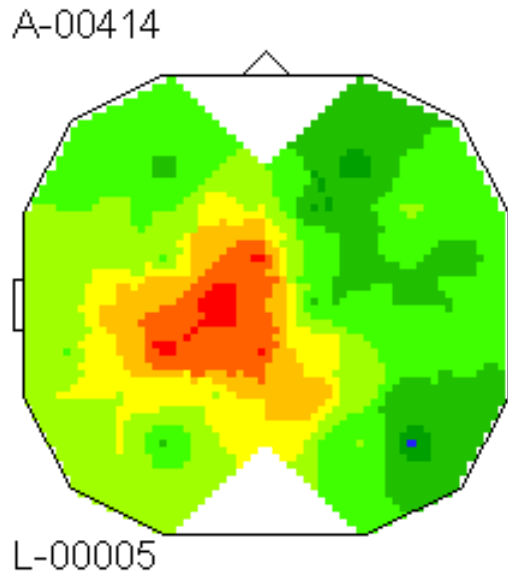


Abb. 9: EEG - Kohärenz - Mikrozustandssequenzen in Echtzeit,

HB, Mikrozustandssequenz ohne Eigenübergänge



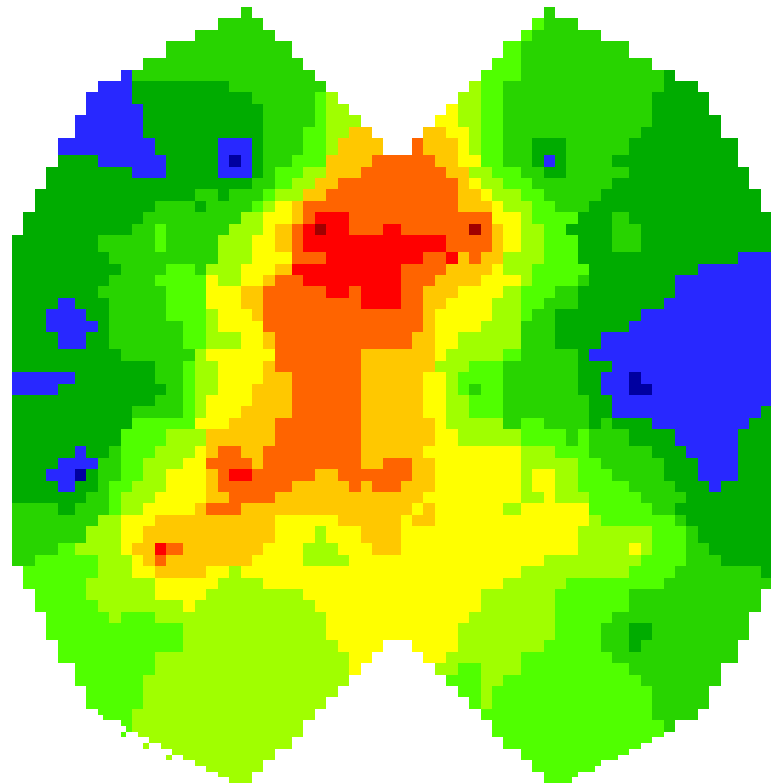


Abb.10: EEG-Kohärenz-Mikrozustandssequenzen ohne
Eigenübergänge

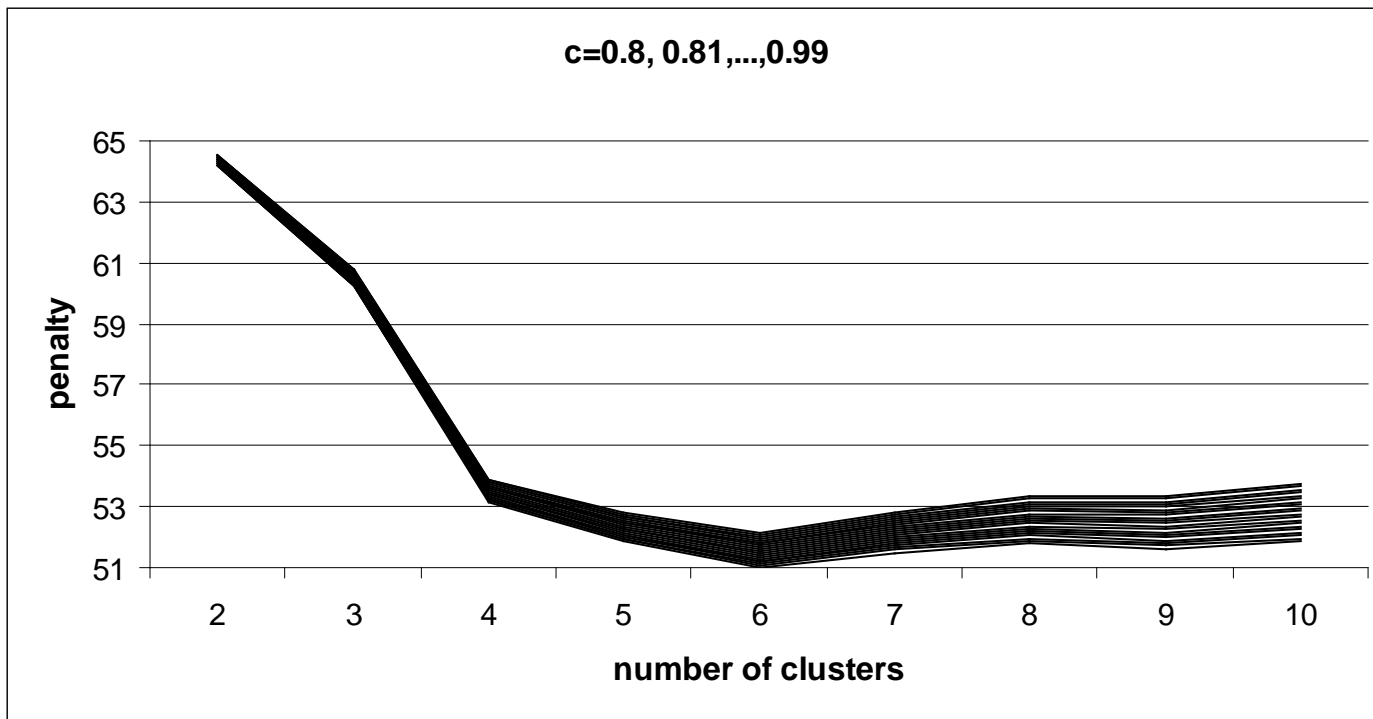


Fig. 11: The penalty term as a function of the number of clusters and weighted by the variable c . Schack, 1999.

6 Mikrozustände: A, B, C, D, E, F



6 Mikrozustände: A, B, C, D, E, F

Mikrozustandssequenzen

...EDABDADEFABDAEBEDACABDADCAFC.....

6 Mikrozustände: A, B, C, D, E, F

Mikrozustandssequenzen

normalbegabt:

...EDABDADEFABDAEBEDACABDADCAFC.....

hochbegabt:

...BEBEBECEBEBBCBEBEBEDCDEFEBEBEB....

Abb. 12: Zwei Mikrozustandssequenzen. Erläuterungen im Text

Entropiereduktion :

Im Falle einer Abhängigkeit der Mikrozustände ist der Zugewinn an Information durch den Vorgänger auf den Nachfolger als Entropiereduktion definiert (Schack, 1999).

$$H_{red} = H - \sum_{j=1, \dots, N} P(i) \cdot H(i) \quad (1)$$

Die Entropiereduktion reflektiert die sequentielle Eigenschaft der Mikrozustandssequenzen.

$$H = - \sum_{j=1}^N P(j) \cdot \log_2(P(j)) \quad j=1, \dots, N \text{ (Anzahl der Mikrozustände)} \quad (2)$$

$$H(i) = - \sum_{j=1}^N P(j/i) \cdot \log_2(P(j/i)) \quad i=1, \dots, N \text{ (Anzahl der Mikrozustände)} \quad (3)$$

Anforderungen

Beispiele mathematischer Anforderungen:

eine Modalitätsstrategie

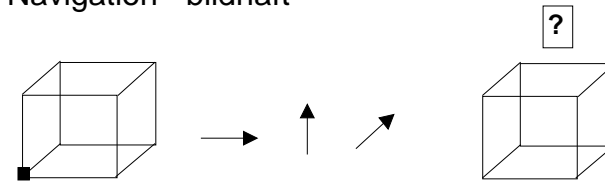
Addition einstelliger Summanden – begrifflich

$$3 + 4 = \quad ?$$

$$5 + 3 + 9 = \quad ?$$

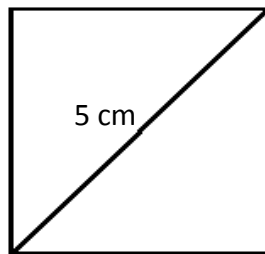
$$2 + 7 + 4 + 5 = \quad ?$$

mentale Navigation - bildhaft

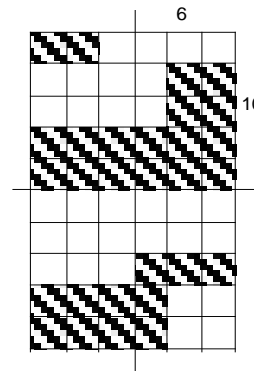


zwei Modalitätsstrategien

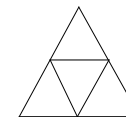
Die Diagonale eines Quadrates ist 5 cm lang. Durch Verdoppeln des Flächeninhaltes dieses Quadrates entsteht ein neues Quadrat. Wie groß ist dessen Seitenlänge?



Nimmt der dunkle oder der helle Anteil mehr Fläche ein?



Aus Streichhölzern kann man interessante Figuren legen, z.B. gleichseitige Dreiecke verschiedener Größen (hier von Größe 2).



Wieviele Kleinstdreiecke hat ein Dreieck der Größe 25 ?

Abb. 14

Stichprobe:

mathematisch (Hoch)begabte:

12 Abiturienten des Carl–Zeiss–Gymnasiums Jena (Spezialschulteil)

Durchschnittsalter: 18,5

3 weiblich, 9 männlich

IQ (LPS – U3): 124

mathematisch Normalbegabte:

13 Abiturienten der Grete-Unrein Schule Jena (Gesamtschule)

Durchschnittsalter: 17,6

6 weiblich, 7 männlich

IQ (LPS – U3): 106

Abb. 15

Tabelle : Werte für verbal-IQ, nonverbal-IQ, Cavanagh-Konstante, Gedächtnisspanne, mentale Repräsentation und Arbeitsgedächtniskapazität beim Vergleich von Hoch- und Normalbegabten (HB/NB). In den untersten beiden Zeilen sind die mittleren Lösungszeiten für die zwei Problemklassen mit angegeben.

	HB	NB	
verbal IQ	112	105	$Z = -1, p = .34$
nonverbal IQ	124	106	$Z = -2.8, p < .01$
Cavanagh-K. (ms)	274	247	$Z = -0.82, p = .44$
Ged.-spanne für Ziffern	7.36	6.03	$Z = -3.45, p < .001$
mentale Rotation	16.6	14.2	$Z = -1.32, p = .19$
Arbeitsged.-kap.	3.22	2.27	$Z = -3.45, p < .001$
Lösungszeiten (ms):			
2 Mod.-Strat.	56855	100974	$Z = -3.95, p < .001$
1 Mod.-Strat.	802	926	$Z = 0, p = 1$

Abb. 16: Schichtung,
Seidel, 2004

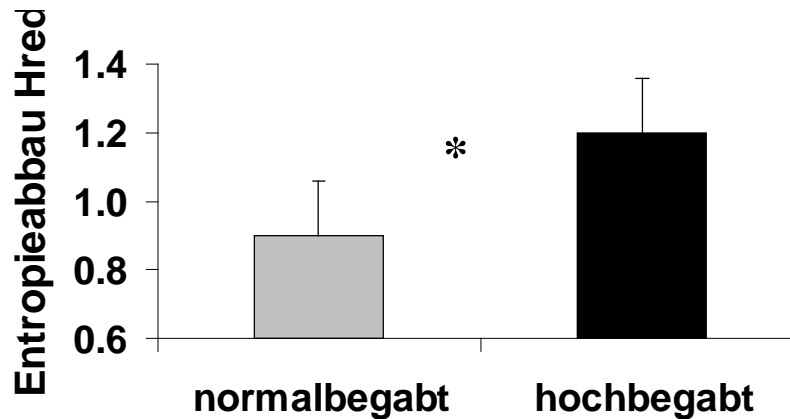
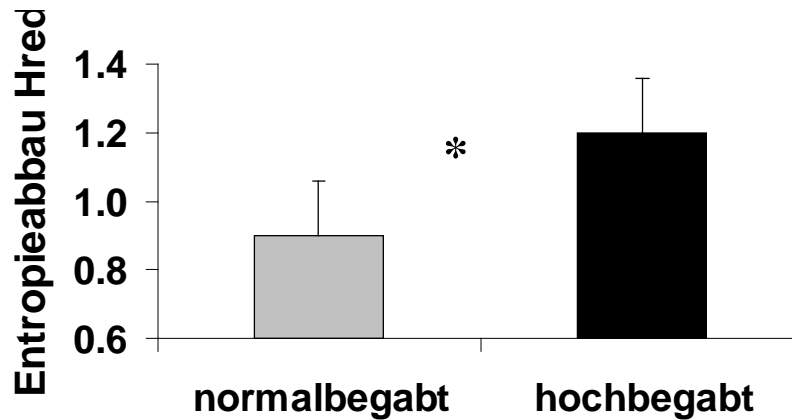
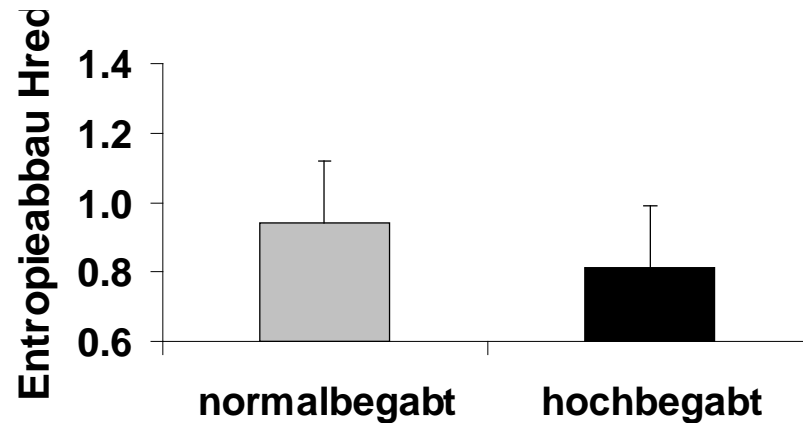


Abbildung 17: Entropiereduktion H_{red} für mathematisch normalbegabte und mathematisch hochbegabte Versuchspersonen in den ersten 10 Sekunden beim Lösen eines mathematischen Problems (Zwei-Modalitätsstrategieaufgaben). (Maximale Entropiereduktion $H_{red} = 2,56$; minimale Entropiereduktion $H_{red} = 0$), Seidel, 2004.



mittelschwere Matheaufgaben



einstellige Addition

Abbildung 18: rechte Seite: Entropiereduktion beim Lösen einer Aufgabe vom Typ „ $2 + 2 = ?$ “, (Ein-Modalitätsstrategieaufgaben). linke Seite : wie Abbildung 3: Mathematikaufgabe mittlerer Schwierigkeit (Zwei-Modalitätsstrategieaufgaben). Seidel, 2004.

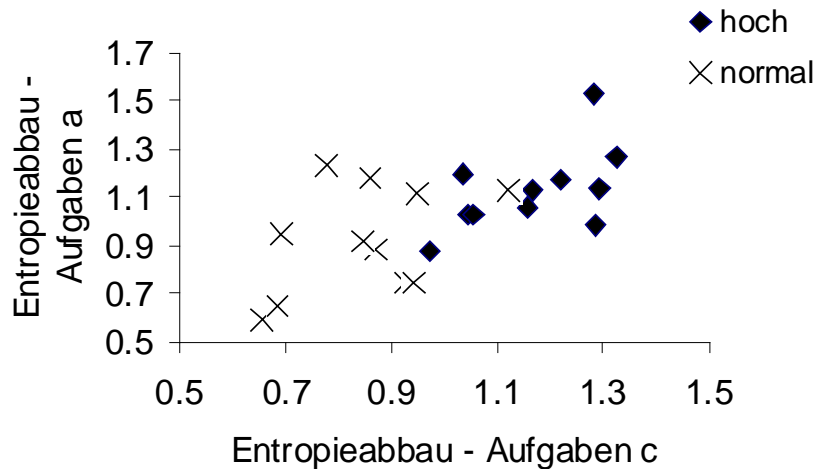


Abbildung 19: Entropiereduktion beim Lösen mittelschwerer (Aufgaben a) und sehr schwerer (Aufgaben c) Mathematikaufgaben für jeden einzelnen Hoch – und Normalbegabten.

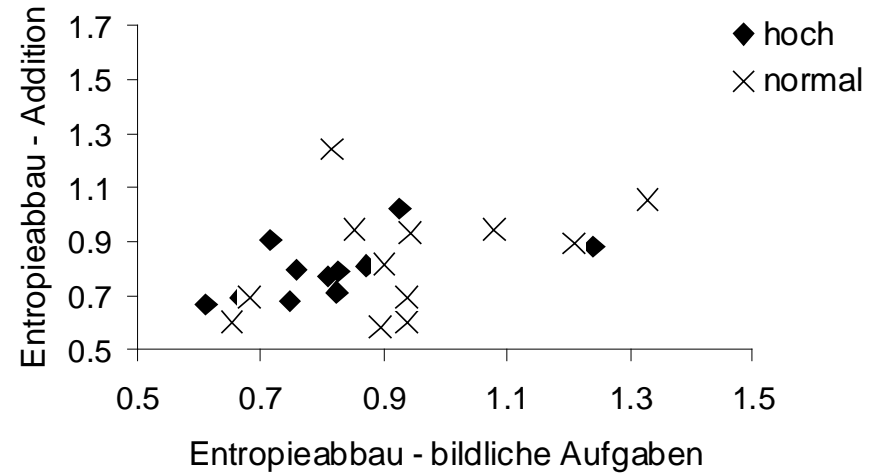
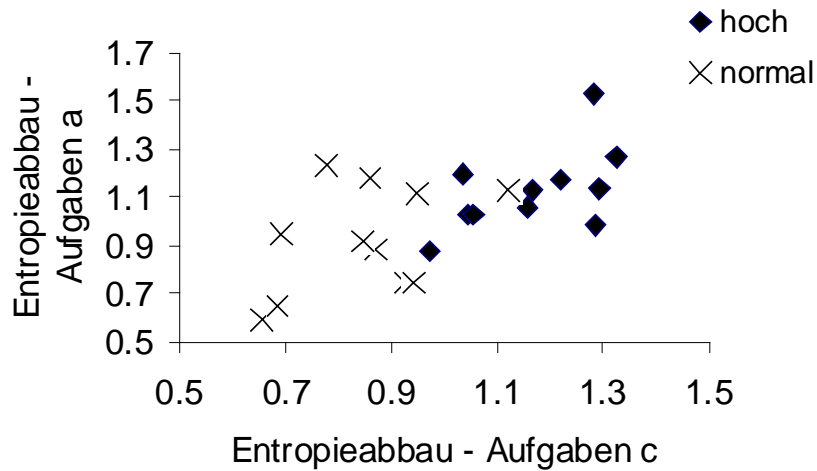


Abbildung 20: rechte Seite: Entropiereduktion beim Lösen einfacher Additionsaufgaben (Addition) und einfacher mentaler Navigationsaufgaben (bildliche Aufgaben) für jeden einzelnen Hoch – und Normalbegabten. Linke Seite: wie Abbildung 5.

Wir wollen Argumente auflisten, die die Aussage stützen, EEG-Kohärenz-Mikrozustandssequenzen bilden kognitive Prozesse ab:

- Unterschiede im Denkprozess schlagen sich in Eigenschaftsdifferenzen der Mikrozustandssequenzen nieder, wie eben gezeigt wurde.
- Die Dauer der Mikrozustände liegt zwischen 30 Millisekunden und etwa 240 Millisekunden. Die Zeitverteilung ist quasi diskret (Tietze, 1996). Solche Zeitdauern sind von Klix und seiner Forschergruppe für kognitive Operationen gefunden worden.
- Die Mikrozustände können derzeit kognitiven Operationen noch nicht zugeordnet werden. Die Arbeiten der schweizer Forschergruppe von der Universität Bern Kindler, Hubl, Strik, Dierks und König (Kindler u.a., 2011) zeigen aber, dass die inhaltliche Interpretation der Mikrozustände grundsätzlich möglich ist.

- Die gemessenen Mikrozustände basieren auf der Kohärenz zwischen elektromagnetischen Schwingungen über Elektrodenpaaren, die über kortikalen Arealen mit einer entsprechenden Distanz angebracht sind. Hohe Kohärenz zwischen den Elektrodenpaaren bedeutet hohe Synchronisation über den Paaren, d.h., zu gleichen Zeiten gleiche Polaritäten über den Paaren und damit über dem kortikalen Areal. Nach allem, was die Neurowissenschaften (Kandel, Schwartz und Gesell, 1995) herausgefunden haben, ist das synchrone Feuern von Zellverbänden eine wichtige Eigenschaft bei der Informationsübertragung.

- Lassen Sie mich noch einen spekulativen Gedanken anführen, der sich für unsere Thematik aus dem Vortrag von Helmut Moritz mit dem Thema „Über G. Chaitin – von der Metamathematik zur Metabiologie“ ergibt (Moritz, 2011). Die biologischen oder besser die Lebenswissenschaften sind auf der Suche nach einer neuen Mathematik (Hoffmann, 2011). Dabei spielen Sequenzen – wie Helmut Moritz gezeigt hat – eine wichtige Rolle. Wenn seine Analogie:

Lebewesen -> DNA (Basen A,G,C,T) -> binäre Folgen (Elemente 0,1)
erlaubt ist, dann sollte diese Analogie auch für die EEG-Kohärenz-Mikrozustandssequenzen

Lebewesen -> DANN (Basen A,G,C,T) -> binäre Folgen (Elemente 0,1) (13)

H.Moritz (2011), „ Über Chaitin – von der Metamathematik zur Metabiologie“
Vortrag am 13.10.2011 in der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin

erlaubt sein. Wenn also gezeigt werden könnte, dass Aussagen über Binärfolgen auch für Folgen mit 4 Elementen gelten könnten, dann sollte das auch für Folgen mit 6 Elementen möglich sein. Wenn das so ist und wenn Denkprozesse in kognitive Sequenzen abbildbar sind, dann hieße das : So wie die Evolution nicht vorausberechenbar ist, sind auch Denkprozesse im allgemeinen nicht vorausberechenbar. Ich darf daran erinnern: bislang hatten wir an der Forderung nach Vorausberechenbarkeit festgehalten und uns damit weitestgehend auf die Problemklasse mit abgeschlossenem Problemraum beschränkt. Mit der Messung solcher kognitiver Sequenzen lassen wir die Forderung nach Vorausberechenbarkeit fallen und können dennoch vermittels der Eigenschaften solcher Sequenzen in begrenzten Zeitabschnitten geistige Leistungen individuell als Ordnungsbildung für beliebige Problemklassen messen.

Wir bewegen uns damit aber nach wie vor auf einer strukturellen Ebene. Die Frage nach individuellen Denkprozessen im Bereich der Semantik, also der Verarbeitung von Begriffen, Aussagen, Wertvorstellungen und Handlungsorientierungen, wie sie Herbert Hörz (2011) in seinem Diskussionsbeitrag zum Vortrag von Lothar Kolditz (2011) über „Deterministisches Chaos und Gesellschaft“ zu Recht fordert, muss dabei vorerst offen bleiben.

Was ist zu tun? Wir haben uns eingangs auf zwei Basiskomponenten beschränkt, jedoch zugleich verdeutlicht, dass neue Technologien weitere Basiskomponenten erfordern. Mit den 4 Basiskomponenten des Denkens und den kognitiven Strukturen und Sequenzen ergeben sich 8 Problemfelder, die hinsichtlich solcher Eigenschaften kognitiver Strukturen und Sequenzen zur Messung von kognitiven Prozessen und Leistungen untersucht werden müssen. Erst für zwei dieser 8 Problemfelder ist in Tabelle 1 jeweils ein Vorschlag unterbreitet worden.

	Kompl.red	Multimod	Analogie	Inf.suche
Strukturen	X			
Sequenzen		X		

Tabelle 1: Acht Problemfelder zukünftiger Forschung, wenn die Eigenschaften kognitiver Strukturen und Sequenzen in den vier Basiskomponenten zur Messung geistiger Prozesse und Leistungen genutzt werden sollen.

Die Ergebnisse wurden zusammen mit

Gerd Grießbach,
Frank Heinrich,
Günther Höhne,
Uwe Kotkamp,
Bärbel Schack,
Gundula Seidel,
Erdmute Sommerfeld und
Horst Sperlich

über viele Jahre hin erarbeitet.