

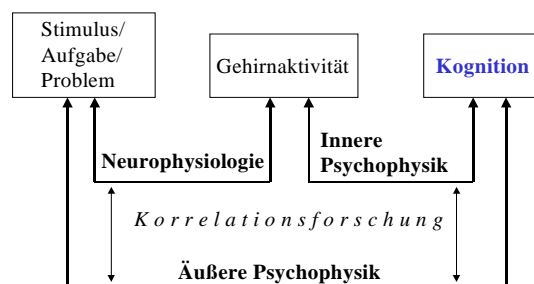


Erdmute Sommerfeld

Kognitive Psychophysik – ein interdisziplinärer Forschungsansatz

Kognitive Psychophysik

Gustav Theodor Fechner ist der Begründer der Psychophysik (Fechner, 1860). Es wird zwischen Äußerer und Innerer Psychophysik unterschieden. Gegenstand der Äußeren Psychophysik sind funktionale Beziehungen zwischen Reiz und Empfindung. Die Innere Psychophysik forscht nach Beziehungen zwischen Erregung (neuronaler Aktivität) und Empfindung. Die klassische Psychophysik G.Th. Fechners wurde weiterentwickelt und darauf basierend die **Kognitive Psychophysik** begründet (Luce, Stevens, Borg, Sokolow, Lockhead, Link, Klix, Anderson, Parducci, Scheerer, Marks, Teghtsoonian, Baird, Algom, Townsend, Sarris, Haubensak, Petzold, Geißler, Colonius, Scharf, Lebedev, Ross, Potts, Pliske, Smith, Petrusic, Krause, Ward, Vickers, Ehrenstein, Weiler, Zellner, Marley, Uttal u.a.). In der folgenden Abbildung ist das Konzept der Kognitiven Psychophysik skizziert (in Anlehnung an die moderne Konzeption der klassischen Psychophysik nach Ehrenstein & Ehrenstein, 1999).



Konzeption der **Kognitiven Psychophysik**

Die Kognitive Psychophysik ist ein relativ junger Zweig (vgl. z.B. Algom, 1992). In Deutschland initiierte F. Klix mit seinen wegweisenden Ideen und Experimenten zur Verbindung zwischen Psychophysik und kognitiver Psychologie die Psychophysik kognitiver Prozesse (vgl. z.B. Klix, 1971).

Kognitive Parameter, die Grundbausteine für funktionale Zusammenhänge in der Kognitiven Psychophysik darstellen, betreffen interne (mentale) Repräsentationen und kognitive Operationen sowie generelle kognitive Wirkprinzipien, durch die Anwendungen von Operationen gesteuert werden. Um exakte Aussagen über solche Zusammenhänge machen zu können, ist es erforderlich, adäquate formale Beschreibungsmittel für diese Parameter zu entwickeln. Eine Voraussetzung dafür

kann mit der Systematisierung, Formalisierung und Bewertung kognitiver Operationen zur Ausbildung und Transformation interner Repräsentationen geschaffen werden.

Systematisierung und Formalisierung kognitiver Operationen und ihre Bewertung durch den kognitiven Aufwand: Wechselwirkung zwischen *Psychologie* und *Mathematik*

Es wurde ein Ansatz zur Systematisierung, Formalisierung und Bewertung kognitiver Operationen entwickelt. Die Grundbausteine für die Systematik sind elementare kognitive Operationen bei der Ausbildung und Veränderung interner Repräsentationen auf der Basis extern gegebener Information. Es wurden *Vollständigkeitsbetrachtungen* unter den folgenden zwei Aspekten durchgeführt und miteinander kombiniert. Der erste Aspekt der Systematisierung betrifft die Veränderung der Information selbst, der zweite Aspekt die Veränderung des Trägers der Information. Da wir es im allgemeinen mit der Übertragung *struktureller Information* zu tun haben, ist der interne Träger dieser Information eine *kognitive Struktur*. Die kognitiven Operationen sind somit kognitive Strukturtransformationen - systematisiert unter dem Aspekt der Veränderung der *Information* und der Veränderung der *Struktur*. Für die *Systematisierung* von Änderungen der strukturellen Information wurde vom Grundgedanken der *Strukturellen Informationstheorie* von Leeuwenberg (1968) ausgegangen und ein Ansatz zur Bestimmung des strukturellen Informationsgehaltes entwickelt, der von der Interpretation der gegebenen Struktur abhängt und Aussagen über spezifische Relationen zwischen den Elementen der Struktur macht (Sommerfeld, 1994). Zur *Formalisierung* der Strukturtransformationen ist die *Graphentheorie* verwendet worden. Der *Nachweis der psychologischen Relevanz* des Ansatzes wurde zum einen durch den experimentellen Beleg für einen großen Teil der theoretisch bestimmten kognitiven Strukturtransformationen erbracht (vgl. z.B. Krause, 2000) und zum anderen durch Einordnung psychologisch relevanter Operationen von Modellansätzen aus der Literatur in die Systematik.

Hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Informationsverarbeitungsprozess ist eine *Bewertung* kognitiver Operationen erforderlich, z.B. bezogen auf die Lösungsgüte, die Entscheidungssicherheit oder den zur Lösung erforderlichen kognitiven Aufwand. Bei unseren Untersuchungen im Rahmen der Kognitiven Psychophysik konzentrieren wir uns auf das Bewertungskriterium "*Kognitiver Aufwand*". Dabei geht es sowohl um den Aufwand, der erforderlich ist, um eine bestimmte Information im Gedächtnis zu behalten, als auch um Prozesskomponenten des kognitiven Aufwandes. Auf der Basis der Reduktion des kognitiven Aufwandes ist das Prinzip der *kognitiven Ökonomie* quantifizierbar. Die kognitive Ökonomie ist ein generelles Prinzip in der menschlichen Informationsverarbeitung und betrifft Vereinfachungsleistungen in der Verarbeitung und Speicherung von Information.

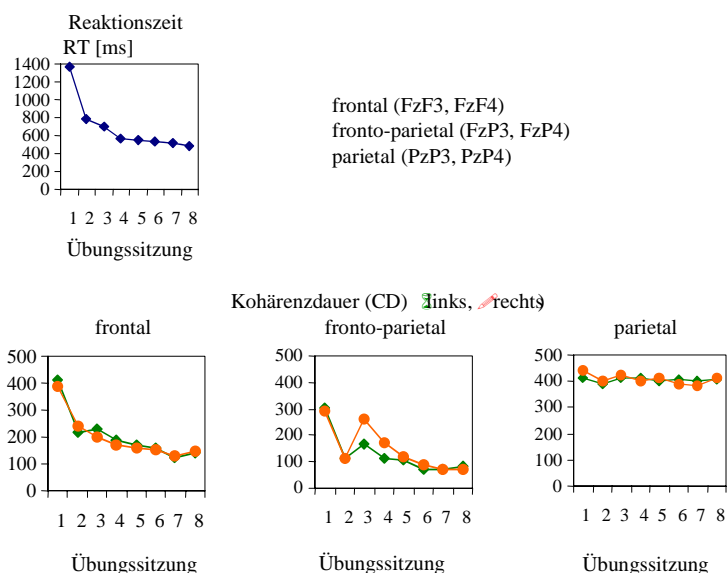
Es wurde ein Ansatz zur *Bewertung* kognitiver Strukturtransformationen auf der Basis des *kognitiven Aufwandes* entwickelt. Mit Bezug dazu konnten *experimentelle Belege* dafür erbracht werden, dass die Reduktion des kognitiven Aufwandes ein bereichsübergreifendes, personenspezifisches Wirkprinzip in der menschlichen Informationsverarbeitung ist (vgl. z.B. Sommerfeld, 1994; Krause, 2000). Dabei wurden sowohl die *effiziente Strukturierung neuer Information* als auch die effiziente anforderungsabhängige *Umstrukturierung von Fachwissen* experimentell nachgewiesen.

Auf der Basis einer Wechselwirkung zwischen Psychologie (Denkpsychologie) und Mathematik (Strukturelle Informationstheorie, Graphentheorie) konnte somit eine Systematisierung und Präzisierung von Parametern der Kognition erzielt werden. Das bildete eine *Basis* für den experimentellen Nachweis spezifischer *psychophysikalischer Zusammenhänge* im Rahmen der Kognitiven Psychophysik. Darauf wird im Folgenden Bezug genommen.

Kognitiver Aufwand und synchrone Aktivität von Hirnarealen: Wechselwirkung zwischen Psychologie und Neurowissenschaft

Mit neurowissenschaftlichen Methoden (EEG, MEG, bildgebenden Verfahren) besteht die Möglichkeit, Aktivierungen von Hirnarealen zu messen. Da kognitive Operationen auf einer parallelen und verteilten Informationsverarbeitung und der funktionalen Kopplung verschiedener Instanzen im Gehirn basieren, spielt dabei die **synchrone Aktivität** von Hirnregionen eine besondere Rolle. Als psychologischer Parameter stand der Kognitive Aufwand im Fokus der Analysen. In Experimenten zum gedächtnisbasierten Vergleich geordneter Stimuli untersuchten wir die **synchrone Aktivität** von Hirnregionen in Abhängigkeit von Parametern der Problemstellung, durch die Art und Höhe des **Kognitiven Aufwandes** zur Problemlösung beeinflusst werden (wie z.B. die **Komplexität** der Anforderung oder die **Übung** der Problemlösung).

Basierend auf gleichsinnigen und unterschiedlichen Verläufen der Reaktionszeit und der synchronen Aktivität von Instanzen im Gehirn (gemessen auf der Basis der EEG-Kohärenz, vgl. Schack et al., 1999) konnten in den Experimenten Differenzen in der synchronen Aktivität spezifischer Hirnregionen als *Indikatoren (Messgrößen)* von Differenzen im Kognitiven Aufwand aufgedeckt werden. In der folgenden Abbildung sind exemplarisch einige Ergebnisse zur synchronen Aktivität von Hirnregionen, gemessen auf der Basis der Kohärenzdauer (Dauer hoher EEG-Kohärenz über einer definierten Schwelle), als Funktion der Übung (in Verbindung mit der Reaktionszeit-Funktion) dargestellt.



Reaktionszeit und Kohärenzdauer als Funktionen der Übung

Die Resultate zeigen den potentiellen Nutzen auf, den eine Wechselwirkung von Psychologie und Neurowissenschaft für die Identifizierung der bei kognitiven Prozessen beteiligten kortikalen Areale und ihrer synchronen Aktivität hat (vgl. auch Krause & Sommerfeld, 2000; Sommerfeld et al., 2001). Unter der Voraussetzung, dass sorgfältig mit der konzeptionellen Basis und der Interpretation der Resultate umgegangen wird, können solche Untersuchungen als ein Baustein zur Konstruktion einer Brücke zwischen *Äußerer* und *Innerer Kognitiver Psychophysik* dienen.

Insgesamt liefern die *interdisziplinär* in Wechselwirkung zwischen Psychologie, Mathematik und Neurowissenschaft durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen und die dabei gewonnenen Ergebnisse differenzierte Erkenntnisse über Grundbausteine des Denkens.

Literatur

- Algom, D. (1992). *Psychophysical Approaches to Cognition*. Amsterdam: Elsevier.
- Ehrenstein, W.H. & Ehrenstein, A. (1999). Psychophysical methods. In: U. Windhorst H. Johansson (Eds.) *Modern Techniques in Neuroscience Research*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1211-1241.
- Fechner, G.T. (1860). *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf & Härtel. (reprinted: [1964] Amsterdam: E.J. Bonset.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: DVW.
- Krause, W. (2000). *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Göttingen: Hogrefe.
- Krause, W. & Sommerfeld, E. (2000). Elementaranalyse von Denkprozessen mit psychophysikalischen und neurowissenschaftlichen Methoden. *Zeitschrift für Psychologie*, 208 (3-4), 322-339.
- Leeuwenberg, E. (1968). *Structural Information of Visual Patterns*. Paris: Mouton & Co.
- Schack, B., Grieszbach, G. & Krause, W. (1999). The sensitivity of instantaneous coherence for considering elementary comparison processing. Part 1: The relationship between mental activities and instantaneous EEG coherence. *International Journal of Psychophysiology*, 31, 219-240.
- Sommerfeld, E. (1994). *Kognitive Strukturen*. Münster, New York: Waxmann.
- Sommerfeld, E., Kompass, R. & Lachmann, Th. (Eds.) (2001). *Fechner Day 2001: The 200th Birthday of Gustav Theodor Fechner. Proceedings of the Seventeenth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*. Lengerich, Berlin: Pabst Science Publishers.

Anschrift der Verfasserin: Erdmute.Sommerfeld@t-online.de