

Gerd Lüer und Uta Lass

Das Problem kognitiver Invarianten bei der Diagnose geistiger Leistungen

Die Suche nach quantifizierbaren Konstanten im psychischen Geschehen hat die wissenschaftliche Psychologie seit ihren Anfängen beschäftigt (vgl. Lüer & Lass, 2000). Beginnend mit den Arbeiten von Ernst Heinrich Weber aus dem Jahre 1834 über eine zahlenmäßig ausdrückbare Unterscheidungskonstante im Bereich von Wahrnehmungsleistungen und der von Gustav Theodor Fechner 1850 formulierten Gesetzmäßigkeit von Empfindungskonstanten hat dieser Forschungsansatz in später sehr unterschiedlichen Konzeptbildungen zur Begründung der Psychophysik geführt. Solche Parameter zur Kennzeichnung von Unterscheidungs- und Empfindungsleistungen haben zur Diagnose von modalitätsspezifischen Wahrnehmungsleistungen beigetragen. Die so ermittelten Ergebnisse in der Psychophysik haben auch bis in unser tägliches Leben hinein Eingang gefunden, wie z.B. in Lärmbelastigungsgrenzen oder in Prinzipien der Konstruktion von Hörgeräten.

Schon ein Vierteljahrhundert nach Gründung der Psychophysik der Wahrnehmung erfolgte ein Transfer des Gedankens von Konstanten zu solchen für höhere geistige Prozesse. Bei seinen Gedächtnisexperimenten entdeckte Ebbinghaus (1885) eine Kapazitätskonstante für das unmittelbare Behalten. Für sinnfreie Silben, die Ebbinghaus als Lernmaterial verwendete, legte er sich auf Grund seiner Experimente auf die Zahl Sieben fest. Gleichzeitig konzidierte er, dass es in seltenen Fällen auch acht sein könnten und gelegentlich auch nur sechs Silben richtig reproduziert werden würden.

In der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts definierten die amerikanischen Forscher George Miller (1956) und Herbert Simon (1974) die Behaltenskonstanten im Kontext von Kapazitätsgrenzen des Kurzzeitgedächtnisses. Sie zählten nicht mehr die Silbenanzahl, sondern definierten als Behaltenseinheit sogenannte *Chunks*, die als kognitive Sinneinheiten verstanden wurden. Die vier Zahlen 4-7-1-1 behalte ich nicht einzeln, sondern als Chunk, weil ich sie als Sinneinheit 47 11 behalten kann. Die von Miller überaus bekannt gewordene Arbeit aus dem Jahre 1956 „The magical number seven, plus or minus two...“ hat sich bei Gedächtnispsychologen geradezu als Chunk im Wissen eingegraben. Aber auch dieses Faktum musste schon bald wieder korrigiert werden. Herbert Simon fragte im Jahre 1974 in seiner Arbeit „How big is a chunk?“ und gab zur Antwort, dass die Millerschen Angaben zu dieser Konstanten auf die Werte 5 plus/minus 2 herunterkorrigiert werden müssten. Darüber hinaus äußerte Simon schon damals Zweifel, ob ein Konzept kognitiver Konstanten, das allein empirisch definiert und nicht theoretisch abgeleitet war, für die Psychologie überhaupt angemessen sei. Als Alternative schlug er Zeitkonstanten für die Informationsverarbeitung vor, für die Sternberg (1966), Baddeley (1997; Baddeley, Thomson & Buchanan, 1975) und Geissler (1992) interessante Vorschläge erarbeiteten und auch experimentell überprüften.

Halten wir bis hierher fest: An einigen wenigen Beispielen, die keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit erheben, konnte gezeigt werden: (1) die in der Gedächtnispsychologie definierten kognitiven Konstanten weisen nicht nur eine schon von Ebbinghaus beschriebene Varianz auf, sie mussten auch (2) auf Grund experimenteller Überprüfungen in ihrer absoluten Größe verändert werden. Der Begriff von Invarianten in kognitiven Prozessen ist damit – zu mindestens im Bereich der höheren kognitiven Leistungen des menschlichen Gedächtnisses – für die bisher beschriebenen Leistungsbereiche nicht mehr aufrecht zu erhalten.

Ein neuer Ansatz für kognitive Invarianten: Kombination von Konstanten

Wenn sich aus einem einzelnen Parameter, wie berichtet, keine eindeutige Konstante definieren lässt, so könnte vielleicht die Kombination solcher Parameter als eine zusammengesetzte Größe die Erfordernisse einer kognitiven Konstante erfüllen. Einen solchen kombinierten Parameter C hat Cavanagh (1972) vorgeschlagen und an Beispielen empirisch überprüft. Diese Größe C wollen wir an experimentell gewonnenen Daten genauer analysieren und auf ihre Gültigkeit überprüfen:

$$C = z_j \times g_j.$$

In die kombinierte Größe C nach Cavanagh gehen zwei Einzelparameter ein: g als Wert für die Gedächtnisspanne und z als eine Zeitkonstante nach Sternberg. Der Wert g ist identisch mit jenen Parametern, um die sich schon Ebbinghaus, Miller und Simon bemüht hatten. Der Wert z beschreibt als Zeitkonstante die Dauer des Suchprozesses für eine im Kurzzeitgedächtnis repräsentierte Einheit. Sie beträgt nach Sternberg (1966) 38 ms und besagt, dass ich z.B. für den Vergleich einer aktuell vorgegebenen Prüffiffer mit einer zuvor dargebotenen Ziffernsequenz 38 ms pro repräsentiertem Item benötige, um zu entscheiden, ob die Prüffiffer in der Itemsequenz enthalten war oder nicht. Für eine Sequenz von 5 Items würde dieser Prozess also 5 x 38 ms in Anspruch nehmen, für eine Sequenz von 6 Items 6 x 38 ms. (Der Suchprozess im Kurzzeitgedächtnis wird demnach als eine erschöpfende Suche charakterisiert.) Die Größe dieser Zeitkonstante ist, wie auch g als Gedächtnisspanne, materialabhängig. Das bedeutet, dass für das Behalten von Ziffern und von Wörtern unterschiedliche Werte zu veranschlagen sind, und zwar jeweils für beide Parameter. In der angeführten Gleichung steht daher j für ein bestimmtes Reizmaterial.

C soll nach Cavanagh als eine materialunabhängige Konstante gelten, die als Dauer einer Gedächtnisspur im Kurzzeitgedächtnis zu interpretieren ist. Als repräsentativen Wert für C, also als kognitive Konstante, gibt Cavanagh den Wert von 234 an, den er aus einer Vielzahl von Ergebnissen aus zuvor publizierten Daten ableitete. Welcher Varianz jedoch auch dieser Parameter unterliegt, zeigt die Tabelle 1. Hier sind neben den von Cavanagh publizierten C-Werten, die aus unseren eigenen Experimenten mit deutschen und chinesischen Probanden gewonnenen C-Werte zusammengestellt worden (vgl. Lass, Lüer, Becker, Fang & Chen, 2004). Zur Beurteilung der Varianz des C-Wertes wurde als Abweichungsmaß die Größe Δ_{\max} berechnet. Sie berücksichtigt pro Reizmaterialart die jeweils größte Differenz zwischen den vorkommenden Werten, relativiert an dem Maximalwert.

Anhand Tabelle 1 lassen sich über die Größe C von Cavanagh (1972) verschiedene Aussagen machen. Die schon von Puckert und Kausler (1984) geäußerte Vermutung, dass der C-Wert interindividuell – d.h. zwischen verschiedenen Probanden – instabil ist, trifft zu. Das herausstechendste Beispiel liefert hier das Reizmaterial „verbale Bezeichnungen für geometrische Figuren“, wenn

man die Ergebnisse der deutschen und chinesischen Probanden miteinander vergleicht. Die chinesischen Probanden verfügen mit $C = 296$ in diesem Fall über eine viel bessere Gedächtnisleistung als die deutschen Probanden mit $C = 190$. Diese Kulturabhängigkeit in den Daten lässt sich mit dem Ergebnis einer Varianzanalyse statistisch belegen, die über die Daten von 96 deutschen und 96 chinesischen Probanden gerechnet wurde, welche nach relevanten Kriterien wie Alter und Bildung völlig vergleichbar waren und deren Gedächtnisleistungen unter den gleichen experimentellen Bedingungen erhoben wurden. Es konnte ein statistisch signifikanter Haupteffekt für den Faktor Kultur – deutsch versus chinesisch – nachgewiesen werden, der mit den Charakteristika der verwendeten Sprache zusammenhängt. In dem angesprochenen Fall beispielsweise, den verbalen Bezeichnungen für geometrische Figuren, verwenden Chinesen spontan die Strategie, die zu merkenden Wörter anhand nur eines Schriftzeichens, das entspricht einer Sprachsilbe, zu memorieren.

Quelle	Ziffern	Zahlwörter	Farben	Buchstaben	Farbwörter	Geometrische Figuren	Bezeichnungen für geom. Figuren	Zufallsfiguren	Delta max.
Cavanagh (1972)	257		270	255		265		258	6 %
Lass et al. (2004)									
– Deutsche Probanden	252	252	239		212	354	190	206	46 %
– Chinesische Probanden	247	229	214		218	328	296	183	44 %

Tab.1: C-Werte für verschiedenen Reizmaterialien (ganzzahlig gerundet)

Tabelle 1 zeigt außerdem für die von uns erhobenen Daten eine erhebliche Variation in den C-Werten bei verschiedenen Reizmaterialien, erkennbar an der Größe Δ_{\max} . In der oben bereits angesprochenen Varianzanalyse ließ sich auch für das verwendete Reizmaterial ein statistisch signifikanten Haupteffekt nachweisen.

Die hier getroffenen Aussagen zeigen, dass die von Cavanagh (1972) aufgestellte Erwartung, nach der sein Kombinationsmaß als Produkt aus Gedächtnisspanne und dem Zeitparameter zur Durchsuchung des Kurzzeitgedächtnisses, die Anforderung einer universalen und materialunabhängigen Konstante nicht erfüllt.

Auf der Suche nach Gründen, weshalb in der Originalpublikation von Cavanagh (1972) die Variationen von C mit $\Delta_{\max} = 6\%$ relativ gering sind, obwohl der Autor sich auch auf eine große Anzahl publizierter Ausgangswerte stützt, fällt folgendes methodisches Vorgehen auf. Cavanagh zog aus den einzeln veröffentlichten Experimenten jeweils Werte für die Gedächtnisspanne und für den Zeitparameter heraus. Dieses waren gemittelte Werte für die jeweilige Stichprobe, aus der sie erhoben worden waren. Die Mittelwerte wurden für jedes Reizmaterial zusammengestellt und nun auch noch über die Stichproben der Einzelexperimente hinweg erneut gemittelt. Es ist unmit-

telbar einsichtig, dass durch ein solches Vorgehen die in den Messdaten vorhandenen Varianzen artifiziell minimiert wurden.

Unsere bisherigen Analysen und Überlegungen haben zu keinen überzeugenden Argumenten geführt, Invarianten für kognitive Prozesse beim Menschen anzunehmen. Auf jeden Fall sind sie bisher auf empirischem Wege nicht überzeugend nachgewiesen worden. Sollte es sich beim Konzept solcher empirischen Invarianten möglicherweise um einen inadäquaten theoretischen Ansatz für höhere kognitive Leistungen handeln? Herbert Simon hat im Jahre 1990 eine Arbeit publiziert, die sich mit dieser Frage auseinandersetzt. Er bezweifelt die Existenz kognitiver Invarianten und schlägt als Alternative ein Konzept vor, in dessen Mittelpunkt adaptiv veränderliche Prozesse stehen, die unser kognitives Geschehen besser beschreiben sollen.

Psychische Phänomene als adaptive Prozesse

Abgesehen von dem begrifflichen Widerspruch, der im gleichzeitigen Gebrauch von Varianz und Invariante liegt, muss nun überlegt werden, wie es in der Psychologie zu diesem Gegensatz der „variierenden Invarianten“ kommen konnte.

Seit ihrer Verwissenschaftlichung im 19. Jahrhundert hat sich die Psychologie in ihrer Forschung primär auf die Ontogenese ausgerichtet. Dabei soll nicht übersehen werden, dass es auch in der Psychologie bedeutende Forschung zur Phylogenese gegeben hat, wie sie z.B. von Friedhart Klix (1983, 1992) vorangebracht worden ist. Die ontogenetische Ausrichtung der Psychologie ist jedoch immer dominant gewesen und bis heute geblieben. Sie hat den Mainstream geradezu rücksichtslos beherrscht. Daraus entstanden ist eine Psychologie der Lebensspanne, zeitlich eingeschlossen zwischen Geburt und Tod. Ontogenetische Forschung fokussiert auf aktuell beobachtbares Verhalten, das am lebenden Menschen direkt registrierbar und messbar ist. Für evolutionäre Betrachtungsweisen bleibt bei solchen Forschungsparadigmen kein Raum.

Aus der Berücksichtigung nur kleiner Zeitperioden in der Lebensspannen-Psychologie ergeben sich unvermeidbare Konsequenzen. Wenn Menschen auf gleicher ontogenetischer Stufe untersucht werden, resultiert daraus eine relativ veränderungsarme Psychologie, die die noch verbleibenden Unterschiede zwischen Menschen in interindividuelle Varianzen aufzuspalten versucht. Bedingungen solcher interindividuellen Varianzen werden vornehmlich äußeren Einflüssen wie z.B. der sozialen Umwelt oder der Erziehungs- und Bildungsgenese zugeschrieben. Unbeantwortet bleiben Fragen nach psychischen Veränderungen über die individuelle Lebensspanne hinaus. Beide Forschungsperspektiven, die ontogenetische und die phylogenetische Sichtweise, lassen sich aber nicht nahtlos miteinander verschränken, weil ihnen sehr unterschiedliche Denkungsweisen zugrunde liegen: Berücksichtigt eine evolutionsorientierte Psychologie vornehmlich Gesichtspunkte wie „Anpassung durch Veränderung“, die vor allem unbewussten psychischen Prozessen zuzuschreiben sind, konzentriert sich im Vergleich dazu eine Psychologie der Lebensspanne auf intelligente Fähigkeiten als bewusste Anpassungen an neue Anforderungen. Allerdings sollte nicht übersehen werden, dass auch in ontogenetischer Forschung in der Psychologie unbewusste Prozesse bekannt geworden und einbezogen sind, wie z.B. die Entstehung von Expertentum aus langen Zeiträumen des Lernens und Einübens. Hierzu ein wörtliches Zitat von Simon (1990): „Adaptation may be quite unconscious and unintended, as in Darwinian evolution, or it may contain large components of conscious intention, as in much human learning and problem solving.” (S.2)

Daraus ergibt sich, dass wir es bei psychischen Leistungen mit zweierlei Anpassungsprozessen zu tun haben: mit unbewussten und unbeabsichtigten einerseits wie auch mit bewussten und geplant herbeigeführten andererseits. Die einen sind beiläufige psychische Anpassungsprozesse und evolutionsbedingt, die anderen mit Absicht herbeigeführte Anpassungen, herbeigeführt durch mentale Prozesse.

Aus der Konfrontation unbewusster versus bewusster Anpassungsvorgänge scheint klarer zu werden, was es mit der Varianz so genannter Invarianten auf sich hat. Wenn zwei sehr unterschiedliche Anpassungsprozesse im psychischen Geschehen wirksam sind, die auch noch auf sehr unterschiedlichen Prinzipien basieren, kann daraus wohl nicht eine einzige kognitive Konstante oder Invariante als unveränderlicher Parameter entstehen. Damit rückt das Konzept von psychischen Invarianten ohne Schwankungsbreite in den Bereich von Kunstprodukten. Pointiert ausgedrückt handelt es sich dabei um die Vorstellung von einer rigiden Mechanik mit fest vorgegebenen Einstellungen. Simon (1990) hat die Korrektur solcher Vorstellungen mit Nachdruck angemahnt: „Psychology does not much resemble classical mechanics, nor should it aim to do so. Its laws are, and will be limited in range and generality and will be mainly qualitative. Its invariance are and will be of the kinds that are appropriate to adaptive systems. Its success must be measured not how closely it resembles physics but by how well it describes and explains human behavior.” (S.2)

Simon zieht auch die Parallele zur biologischen Forschung heran. Invarianten mit weitreichendem Gültigkeitsanspruch gibt es in der Biologie nur auf einem sehr hohen Abstraktionsniveau. Als Beispiele nennt Simon evolutionäre Veränderungen und Anpassungen, wie z.B. die Prinzipien von Fitness und vom Überlebenskampf, denen ein anpassungsfähiges biologisches System mit adaptiven Systemeigenschaften unterliegt. Verstehen wir den Menschen als anpassungsfähiges biologisches System, so kommt in diesem Fall als weitere Systemeigenschaft das bewusste Planen und Handeln hinzu. Für beide Formen der Anpassung gelingt es nach Simon nur auf einem sehr hoch angesetzten Abstraktionsniveau, gültige Prinzipien der Invarianz aufzudecken. Mit seiner Theorie der *Bounded Rationality* hat Simon den Versuch unternommen, Invarianten des menschlichen kognitiven Systems auf hohem Abstraktionsniveau zu benennen. Hierzu zählt er die sogenannten approximativen Methoden beim Problemlösen, mit denen die explodierende Vielfalt vorkommender Lösungsmöglichkeiten dennoch mental bewältigt werden kann. Als ein Beispiel für eine Invariante in diesem Sinne benennt er die Mittel-Ziel-Analyse, mit der ein gegebener Problemzustand schrittweise in einen gewünschten Zielzustand überführt werden kann. Als weitere Invariante führt er das sogenannte *Satisficing* an als Methode zur Abschätzung der Güte einer gefundenen Problemlösung oder der Beurteilung der Möglichkeit, überhaupt eine Lösung für ein Problem herausfinden zu können. Wenn also z.B. uns Autoren jemand fragt, ob wir die chemische Formel für Aspirin aufschreiben können, antworten wir ohne langes Nachdenken sofort mit Nein, weil wir „wissen“, dass wir das nicht zustande bringen werden.

Analogien zu den beschriebenen biologischen Anpassungsprozessen lassen sich auch auf neurophysiologischer Ebene finden. Die von Donald Hebb im Jahre 1949 spekulativ beschriebene Lernregel organischer Anpassungsprozesse, heute als Hebbsche Lernregel allgemein bekannt, lässt sich inzwischen als beobachtbarer neuronaler Anpassungsprozess erklären. Sie ist in theoretischer Hinsicht in programmierbaren neuronalen Netzwerken untersuchbar geworden und in ihren Anpassungsfähigkeiten darstellbar. Auch hier geht es um Anpassungs- und Veränderungsprozesse, die mit klassischen Invarianten nicht zu beschreiben sind.

Als Fazit unserer Überlegungen lässt sich eine ganz sicherlich unvollständige Aufzählung von Dimensionen angeben, die in zukünftiger psychologischer Forschung zu berücksichtigen sind. Da

geht es zum einen um den Übergang von eher mechanistisch gedachten Konzeptualisierungen für psychische Prozesse hin zu adaptiven Prozessen. Dazu sind längere Betrachtungszeiträume einzu- beziehen als nur die Lebensspanne. Eine zweite Dimension hebt die Bedeutung entwicklungsge- schichtlicher Ebenen hervor und wird damit zu einer bisher nicht intensiv genug genutzten evolutionären Sichtweise. Eine dritte Dimension betrifft ein interdisziplinär ausgerichtetes Bemü- hen um die Aufklärung struktureller Grundlagen und Prozesseigenschaften für adaptive Systeme. Dazu können sehr unterschiedliche Wissenschaften beitragen, die Neurowissenschaften ebenso wie die Informatik und natürlich die Psychologie.

Literatur

- Baddeley, A. D. (1997): Human memory. Theorie and practice. Hove: Psychology Press
- Baddeley, A. D., Thomson, N. & Buchanan, M. (1975): Word length and the structure of short- term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 575-589
- Cavanagh, J. P. (1972): Relation between the immediate memory span and the memory search ra- te. *Psychological Review*, 6, 525-530
- Ebbinghaus, H. (1885): Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie. Leipzig: Duncker & Humblot. (Neudruck erschienen 1971, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft)
- Fechner, G. Th. (1860): Elemente der Psychophysik. 2 Bde. Leipzig: Breitkopf & Härtel
- Geissler, H.-G. (1992): New magical numbers in mental activity: On a taxonomic system for crit- ical time periods. In H.-G. Geissler, S. W. Link & J. T. Townsend (Eds.), *Cognition, informa- tion processing and psychophysics: Basic issues* (pp. 293-322). Hillsdale, N. J.: Erlbaum
- Hebb, D. O. (1949): The organisation of behavior. New York: Wiley
- Klix, F. (1983): *Erwachendes Denken*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Klix, F. (1992): *Die Natur des Verstandes*. Göttingen: Hogrefe
- Lass, U., Lüer, G., Becker, D., Fang, Y. & Chen, G. (2004): Encoding and retrieval components affecting memory span; Articulation rate, memory search and trace reintegration. In C. Ka- ernbach, E. Schröger & H. Müller (Eds.), *Psychophysics beyond sensation. Laws and invari- ants of human cognition* (pp. 349-370). Mahwah, N. J.: Erlbaum
- Lüer, G. & Lass, U. (2000): Was erklärt die Varianz sogenannter psychischer Invarianten? Der Wandel von psychophysischer Konstanz zu psychobiologischer Adaptabilität. *Zeitschrift für Psychologie*, 208, 340-356
- Miller, G. A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97
- Puckert, J. M. & Kausler, D. H. (1984): Individual differences and models of memory span: A role for memory search rate? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Co- gnition*, 10, 72-82
- Simon, H. A. (1974): How big is a chunk? *Science*, 183, 482-488

Simon, H. A. (1990): Invariants of human behavior. *Annual Review of Psychology*, 41, 1-19

Sternberg, S. (1966): High-speed scanning in human memory. *Science*, 153, 652-654

Weber, E. H. (1934): *De pulsu, resorptione, auditu et tactu. Anotationes anatomicae et physiologicae*. Leipzig: Koehler

[23.01.12]

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Dr. Gerd Lüer
Georg-August-Universität Göttingen
Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie
Gosslerstr. 14
D – 37073 Göttingen
gluer@uni-goettingen.de