SITZUNGSBERICHTE

LEIBNIZ-SOZIETÄT DER WISSENSCHAFTEN

Friedhart Klix

Naturwissenschaftler, Psychologe, Vordenker

1927-2004

Plenarveranstaltung der Leibniz-Sozietät:

Menschliche Informationsverarbeitung

- interdisziplinäre Analyse und Anwendung –

im Dezember 2017

anlässlich seines 90. Geburtstages

Herausgegeben von Werner Krause und Erdmute Sommerfeld

Mit Beiträgen von Gerhard Banse, Michael Berg, Jürgen Bredenkamp, Hans-Georg Geißler, Wilfried Gundlach, Herbert Hörz, Joachim Hoffmann, Bodo Krause, Werner Krause, Anna-Marie Metz, Heinz-Jürgen Rothe, Erdmute Sommerfeld



BAND 135

JAHRGANG 2018

Inhalt

Werner Krause, Erdmute Sommerfeld Vorwort	7
Gerhard Banse Eröffnung der Plenarveranstaltung	11
Herbert Hörz Kognitive Psychologie, neue Technologien und Philosophie – Friedhart Klix: Vordenker für eine komplexe Persönlichkeitstheorie	15
Werner Krause "Gesetz und Experiment in der Psychologie" – zum Gedenken an Friedhart Klix, der am 13.10.2017 90 Jahre geworden wäre	41
Wilfried Gundlach Kognition und Kommunikation – Zum Gedenken an Friedhart Klix	53
Bodo Krause Interdisziplinarität in der experimentellen Psychologie – Erinnerungen an Friedhart Klix	61
Erdmute Sommerfeld Die Klix-Operationen und -Prozeduren: anforderungsinvariant und mathematisch exakt	75
Joachim Hoffmann Anticipations in Perception and Action Control	99
Hans-Georg Geißler Was sind und welche funktionale Bedeutung haben universelle Invarianten der menschlichen Informationsverarbeitung?	111
Jürgen Bredenkamp Die Verknüpfung verschiedener Invarianzhypothesen in der Lern- und Gedächtnispsychologie	133

6	Inhali
Heinz-Jürgen Rothe	143
Mensch-Maschine-Systeme in der Industrie 4.0 –	
Zur Aktualität der ingenieurpsychologischen Arbeiten	
von Friedhart Klix	
Anna-Marie Metz	153
Psychophysiologie und menschliche Informationsverarbeitung	
Michael Berg	165
Experimentelles Denken in der Diagnostik kognitiver Funktionen	
Autorinnen und Autoren	1.70
Autorinien und Autoren	1/9

Werner Krause, Erdmute Sommerfeld

Vorwort

Eine "Psychophysik kognitiver Prozesse" wollte Friedhart Klix schaffen. Den Begriff "Theoretische Psychologie" hat er nie benutzt, obwohl alle seine Forschungsarbeiten einem solchen Fernziel zuzuordnen sind. Dabei ging es ihm nicht um Vorausberechnung. Klix ging es um die Rückführung des Komplexen auf das Einfache. Gleichsam axiomatisch stehen vor dem Hintergrund des Modularen elementare Prinzipien wie Vereinfachung und Invarianz im Fokus.

Anlässlich eines Ehrenkolloquiums zu seinem 90. Geburtstag haben sich Weggefährten zu Wort gemeldet. Wir haben ihre Beiträge in diesem Band zusammengestellt.

Sie geben Einblick in die Vielfalt des wissenschaftlichen Lebenswerkes von Friedhart Klix und repräsentieren zugleich die Mannigfaltigkeit der Weiterführung.

Herbert Hörz stellt das Lebenswerk von Friedhart Klix aus philosophischer Sicht dar und charakterisiert ihn als Vordenker für eine komplexe Persönlichkeitstheorie.

Wilfried Gundlach und Werner Krause werfen einen Blick auf seine wissenschaftliche Lebensgeschichte. Werner Krause zeigt, wie sich seine Betrachtungsweise verändert hat: von der spezifischen Anforderungsanalyse über eine Prozessanalyse bis hin zu anforderungsinvarianten Universalien des Denkens: Der menschliche Informationsverarbeitungsprozess ist modular, eine Sequenz von (relativ wenigen) "Einheiten". Die Vielfalt in der menschlichen Informationsverarbeitung steckt in der Kombinatorik, sowohl für die verschiedenen Anforderungsbewältigungen als auch für die interindividuellen Unterschiede. Im Jahre 1961 beschrieb Friedhart Klix Denken als Entropieabbau. Sechzig Jahre später wird eine Messmethode vorgelegt, die diese Vorhersage der Ordnungsbildung bestätigt.

Wilfried Gundlach betrachtet den kommunikativen Aspekt, diskutiert die Multimodalitätshypothese und skizziert das wissenschaftlich-organisatorische Lebenswerk von Friedhart Klix, das in der Einbindung der Psychologie in die

Internationale Dachorganisation der Naturwissenschaftlichen Gesellschaften (ICSU) gipfelt.

Bodo Krause zeigt für verschiedene Gebiete auf, wie die Sichtweise von Friedhart Klix zur Erweiterung des Methodenspektrums führte. Dabei betrachtet er unter anderem den faktorenanalytischen Aspekt und wendet die von ihm entwickelte Methode auf verschiedene von Klix bevorzugte Forschungsgebiete an.

Dem strukturellen Aspekt ist der Beitrag von *Erdmute Sommerfeld* gewidmet. Der Prozess der Transformation kognitiver Strukturen wird als Sequenz kognitiver Operationen, also als Sequenz von Modulen behandelt, wie sie Friedhart Klix beschrieben hat. Für die theoretisch bedeutsame Frage nach der Vollständigkeit, die empirisch nicht zu lösen ist, schlägt sie ein induktives Vorgehen vor.

Mit dem systemtheoretischen Aspekt befasst sich der Beitrag von *Joachim Hoffmann*, der die Bedeutung des Reafferenzprinzips für die Antizipation in der menschlichen Informationsverarbeitung herausarbeitet.

Hans Geißler gibt eine Einführung in den als Zeitquantenansatz bezeichneten Versuch, elementare Prinzipien der zeitlichen Organisation der menschlichen Informationsverarbeitung formal zu fassen. Er tut das aus der Sicht der ersten Phase der Entstehung des Ansatzes als Teil und im Schoß der von Klix angestoßenen multivalenten Forschungsarbeiten und vermittelt damit erstmals einen Eindruck von Geist und Atmosphäre dieser Entwicklungen.

Jürgen Bredenkamp befasst sich mit Invarianzeigenschaften und zeigt mittels einer in den Naturwissenschaften üblichen axiomatischen Vorgehensweise, wie – ausgehend von dem Postulat der Invarianz – die Lernkurve, die maximale Lernmenge und die Zeit für einen Merkmalsvergleich errechnet werden. Dass er ziemlich genau das Sechsfache des Geißler'schen Zeitquantes erhält, unterstreicht die Taktung und zugleich das Modulare in der menschlichen Informationsverarbeitung.

Der Beitrag von *Heinz-Jürgen Rothe* hat den arbeitspsychologischen Aspekt zum Gegenstand. Der Autor charakterisiert den Visionär Friedhart Klix: Er zeigt, wie Friedhart Klix vor dem Hintergrund einer Elementaranalyse der menschlichen Informationsverarbeitung bereits in den 70er-Jahren jene Eigenschaften des Mensch-Maschine-Systems benannt hat, die vierzig Jahre später als einzuhaltende Richtlinien für "Arbeit 4.0" benannt werden.

"Es ist unbestreitbar, dass alle psychischen Prozesse in den Funktionsprinzipien der hochorganisierten materiellen Strukturen des Nervensystems ihre Grundlage und ihre Entsprechung haben", Vorwort 9

schrieb Friedhart Klix im Vorwort seines 1971 erschienenen Buches "Information und Verhalten". Anna-Marie Metz hat sich in ihrem Beitrag den psychophysiologischen Aspekt zum Gegenstand gemacht, erinnert an die frühen Arbeiten dazu in unserem Kreis und stellt die Verknüpfung zwischen dieser Thematik und der Arbeitswelt her. Ihr Beitrag verdeutlicht, dass das Konzept der Interdisziplinarität sowohl zwischen Arbeitspsychologie und Psychophysiologie als auch zwischen Grundlagenforschung und Arbeitswelt bereits in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts in der Klixschule sehr erfolgreich praktiziert wurde. Die von ihr vorgelegten Befunde unterstreichen das. Vor diesem Hintergrund wird die heutige Entwicklungstendenz mit Sorge betrachtet.

Michael Berg befasst sich mit dem diagnostischen Aspekt. Vor dem Hintergrund der exakten Analyse des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses stellt er neue Verfahren zur Entwicklung von Messmethoden vor, die eine bessere Komponententrennung auf der Grundlage von Zeitdifferenzen ermöglichen. Er erinnert zugleich an das von Friedhart Klix 1980 beschriebene Vereinfachungsprinzip:

"Die höhere Qualität einer Denkleistung stellt sich dar in der größeren Einfachheit und Effektivität des Lösungsgewinns."

Dies war eine der Leitlinien des damaligen Psychodiagnostischen Zentrums.

*

Natürlich liegen Themenwahl und Gestaltung in der Verantwortung der Autoren.

So verschieden die Beiträge auch sind, die Elementaranalyse der menschlichen Informationsverarbeitung ist das einigende Band. Und dies gilt auch für die Applikation, die dadurch eine fundierte Begründung erfährt. Selbstverständlich ist das nur ein Bruchteil dessen, was der Visionär Friedhart Klix angeregt, diskutiert oder selbst bearbeitet hat.

Betrachtet man die Entwicklung der Psychologie im Ursprungsland Deutschland von Johann Friedrich Herbart über Ernst Heinrich Weber, Gustav Theodor Fechner, Herrmann Ebbinghaus, Otto Selz bis zu Wolfgang Köhler u.a., so ist die Entwicklung seiner "Psychophysik kognitiver Prozesse" nur folgerichtig, die Elementaranalyse der menschlichen Informationsverarbeitung die Konsequenz. Die Beiträge spiegeln diese Denkweise wider.

Wir gedenken mit diesem Band auch all derer, die diese naturwissenschaftliche Psychologie in den frühen sechziger Jahren mitbegründet haben, aber bereits verstorben sind oder aus Krankheitsgründen nicht mehr aktiv sein konnten. Unsere Gedanken sind bei *Hans-Jürgen Lander* und *Lothar Sprung*, die nicht mehr unter uns sind. Den Mitbegründern der Klixschule *Hubert Sydow* und *Klaus-Peter Timpe* war es aus gesundheitlichen Gründen nicht mehr vergönnt, diesen Band mitzugestalten.

Wir widmen diesen Band unserem Lehrer *Friedhart Klix*, aber auch seiner Frau *Annerose*, ohne die er all das nicht hätte schaffen können und – in die Zukunft blickend – widmen wir diesen Band zugleich den Menschen, die die naturwissenschaftliche Psychologie unterstützen und weiterentwickeln.

Gerhard Banse*

Eröffnung der Plenarveranstaltung

Liebe Mitglieder und Freunde der Leibniz-Sozietät, meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich begrüße Sie ganz herzlich zur Plenarveranstaltung des Monats Dezember d.h. zur letzten Plenarveranstaltung in diesem Kalenderjahr. Zu Ehren des 90. Geburtstages unseres im Jahr 2004 verstorbenen Mitglieds *Friedhart Klix* geht es heute um die Thematik "Menschliche Informationsverarbeitung – interdisziplinäre Analyse und Anwendung".

Zu dieser Veranstaltung begrüße ich zahlreiche Weggefährten, ehemalige Kollegen, Schüler und Freunde von Friedhart Klix, so aus

- dem damaligen Zentralinstitut f
 ür Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften,
- der RWTH Aachen,
- der Humboldt-Universität Berlin,
- der Bundesanstalt f
 ür Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Berlin,
- der Universität Bonn,
- der Deutschen Gesellschaft für Psychologie Göttingen,
- der Universität Göttingen,
- der Universität Jena,
- der Universität Leipzig,
- der Universität Potsdam und
- der Universität Würzburg.

Das wissenschaftliche Werk von Friedhart Klix spannt einen Bogen von der Analyse elementarer Prozesse der menschlichen Informationsverarbeitung bis hin zur Untersuchung komplexer Prozesse des Sprachverstehens und des Problemlösens – verbunden mit der Frage nach der evolutionären Begründung dieser Prozesse. Seine richtungsweisenden Ideen und Experimente legten den Grundstein für eine naturwissenschaftlich fundierte Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung.

Präsident der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin.

12 Gerhard Banse

Sowohl der *Interdisziplinarität* in Forschung und Lehre als auch der Verbindung zwischen Theorie und Praxis maß er eine hohe Bedeutung bei. Damit schuf er bleibende Brücken zwischen der Psychologie und anderen Disziplinen, insbesondere der Mathematik, Physik, Biologie und Philosophie.

National und international hoch angesehen ist er weit über sein Fach hinaus bekannt geworden. Von 1980 bis 1984 war er Präsident der Internationalen Gesellschaft für Psychologie. Während seiner Amtsperiode gelang es ihm, dass die Internationale Gesellschaft für Psychologie als Mitglied in die Vereinigung aller internationalen naturwissenschaftlichen Gesellschaften (ICSU), das Konsultationsorgan der UNESCO, gewählt wurde. Friedhart Klix war langjähriger Direktor des Instituts für Psychologie der Humboldt-Universität zu Berlin und gehörte bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1992 der Universität an. Er war Mitglied der Königlich-Schwedischen Akademie der Wissenschaften, der Akademia Europaea in London, der Finnischen Akademie der Wissenschaften, der Amerikanischen Akademie in New York, der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, der Deutschen Akademie der Wissenschaften, der Akademie der Wissenschaften der DDR und der Leibniz-Sozietät. Die Deutsche Gesellschaft für Psychologie hat ihm den Preis für sein Lebenswerk verliehen. Die Deutsche Gesellschaft für Kybernetik ehrte ihn mit dem Wiener-Schmidt-Preis.

Anknüpfend an das Ehrenkolloquium anlässlich seines 75. Geburtstages im Jahre 2002 wurde zu seinem 80. Geburtstag im Jahr 2007 im Rahmen der natur- und technikwissenschaftlichen Klasse mit der Vortragsreihe "Menschliche Informationsverarbeitung – interdisziplinäre Elementaranalyse und diagnostische Anwendung" begonnen. Seither gab es in dieser Reihe bereits fünf Vorträge, immer von Schülern bzw. Schülern der Schüler von Friedhart Klix gehalten:

- Martin Grunwald (Leipzig): Haptikforschung Schnittstelle zwischen Allgemeiner und Klinischer Psychologie.
- Uwe Kämpf (Leipzig): Spielen statt Schielen: Von der Theorie der visuellen Informationsverarbeitung zur Praxis computergestützten Sehtrainings.
- Martina Ziefle (Aachen): Zur Nützlichkeit allgemeinpsychologischer Paradigmen für die Oberflächengestaltung mobiler Endgeräte.
- Heinz-Jürgen Rothe (Berlin): Theoretische Grundlagen und praktische Relevanz des Wort-Assoziations-Experiments als wissensdiagnostische Methode.
- Frank Heinrich (Braunschweig): "Fehler" in Problembearbeitungsprozessen als mögliche Ansatzpunkte zur Fortentwicklung der Problemlösefähigkeit im Bereich Mathematik.

Heute nun – in der sechsten Sitzung dieser Vortragsreihe – fünf kürzere Beiträge, die das Bisherige ausgezeichnet ergänzen werden:

- Herbert Hörz: Kognitive Psychologie, neue Technologien und Philosophie – Friedhart Klix als Vordenker für eine komplexe Persönlichkeitstheorie.
- Werner Krause: "Gesetz und Experiment in der Psychologie" zum Gedenken an Friedhart Klix, der am 13.10.2017 90 Jahre geworden wäre.
- Bodo Krause: Interdisziplinarität in der experimentellen Psychologie Erinnerungen an Friedhart Klix.
- Erdmute Sommerfeld: Die Klix-Operationen und -Prozeduren: anforderungsinvariant und mathematisch exakt.
- Heinz-Jürgen Rothe: Mensch-Maschine-Systeme in der Industrie 4.0. Zur Aktualität der ingenieurpsychologischen Arbeiten von Friedhart Klix.

Ein interessantes und vielversprechendes Programm! Ich bedanke mich bei unseren Mitgliedern *Erdmute Sommerfeld* und *Werner Krause* für dessen inhaltlich-organisatorische Vorbereitung.

Da es sich um ein Ehrenkolloquium handelt, wird es zu den Beiträgen keine Diskussion geben. Und: Die zum heutigen Kolloquium angemeldeten Beiträge, die aus Zeitgründen aber leider nicht gehalten werden können, werden zusammen mit den Vorträgen in den "Sitzungsberichten" unserer Sozietät publiziert werden.

Kognitive Psychologie, neue Technologien und Philosophie – Friedhart Klix: Vordenker für eine komplexe Persönlichkeitstheorie

Friedhart Klix lernte ich in den sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts kennen, als wir beide an der Humboldt-Universität Berlin tätig waren. (Hörz 2005, S. 227ff.) Er hatte sich mit seinen Elementaranalysen kognitiver Prozesse wissenschaftlich international ausgewiesen, war philosophisch umfassend gebildet, ein dialektischer Denker und an einer fruchtbaren Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftsphilosophen interessiert. So kam es zu vielen anregenden Begegnungen mit dem naturwissenschaftlich orientierten kognitiven Psychologen. Kontakte zwischen unseren Forschungsgruppen bildeten sich heraus. Friedhart trat auch nach meinem Übergang zur Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) in dem von mir initiierten Bereich "Philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung" am Zentralinstitut für Philosophie der AdW auf. Weitere Gespräche bei Treffen, auf Tagungen und Beratungen der AdW und nach deren "Abwicklung" in der Leibniz-Sozietät, umfassten fachliche, inter-, multi- und transdisziplinäre Probleme wissenschaftlicher Entwicklung ebenso, wie aktuelle Politik und Ideologie. Mir imponierte stets die umfassende Sicht des kognitiven Psychologen, der aufmerksam die Entwicklung neuer Technologien, vor allem die Digitalisierung, verfolgte und sich stets an der philosophischen Interpretation neuer Erkenntnisse beteiligte. Er war, wie ich belegen möchte, ein Vordenker für eine komplexe Persönlichkeitstheorie. Beginnen möchte ich (1.) mit dem Verhältnis von Philosophie, Psychologie und Naturwissenschaften, um dann (2.) die Auffassungen von Klix zur Psychologie als Wissenschaft zu charakterisieren. Daraus ergab sich für ihn (3.) die Frage Quo vadis Psychologie? Aktuelle Probleme sind nun (4.) mit Zukunftsvisionen und Persönlichkeitspsychologie verbunden, einschließlich (4.1.) der Antwort auf die Frage: Kann man Gedanken lesen? Kritisch ist (4.2.) dabei zu analysieren, ob künstliche Intelligenz zum Mittel der Entmenschlichung des Menschen werden kann. Es bilden sich (5.) verschiedene Erkenntniswege heraus: Elementar-

analysen erfolgen Bottom-up und sind mit philosophisch orientierten Einsichten Top-down verbunden. Ein kurzes Fazit (6.) schließt die Überlegungen ab.

1. Philosophie, Psychologie und Naturwissenschaften

Im Vortrag vor der Leibniz-Sozietät zum Thema "Objektiv, aber speziell': Psychologie als Naturwissenschaft" betonen Erdmute Sommerfeld und Werner Krause berechtigt:

"Für die Entwicklung der Psychologie sind *Interdisziplinarität* und im weiteren Multidisziplinarität sowie die Entwicklung und Bearbeitung transdisziplinärer Problemstellungen erforderlich. (Sommerfeld/Krause, W. 2013, S. 20)

Sie heben die Leistungen von Klix mit Hinweis auf die entsprechenden Publikationen hervor. Kenntnisse für die Darstellungen kognitiver Operationen und Prozeduren entstammten, so die Autoren, fünf verschiedenen Gebieten psychologisch relevanten Geschehens: aus der Evolution der Lernprozesse, aus perzeptiven Vorgängen, aus dynamischen Strukturbildungen begrifflichen Wissens, aus der Behandlung konstruktiver Denkprozesse und aus Analysen kognitiver Komponenten in Technologien.

Ein erkenntnistheoretisches Problem, auf das bei den Wegen des Erkennens noch zurück zu kommen ist, wird angesprochen:

"Die Menge der Operationen ist hier empirisch begründet. Der Vorteil dieser empirisch begründeten Menge von Operationen besteht darin, dass von vornherein eine breite Palette von Anforderungen des psychologisch relevanten Geschehens berücksichtigt wird. Der Nachteil besteht im Verzicht auf Vollständigkeit. Im Gegensatz dazu ist es unser Anliegen, kognitive Operationen von einer theoretisch-systematischen Betrachtung her zu definieren. Der Vorteil eines solchen mathematisch-psychologischen Ansatzes besteht in der Vollständigkeit der Menge der (exakt definierten) internen Repräsentationen. Der Nachteil besteht in der Beschränkung der Vorhersage von Verhalten auf spezielle Klassen von Anforderungen. Schließlich besteht ein weiterer Vorteil einer – theoretisch induzierten – Systematik auch darin, zu prüfen, inwieweit sich alle in der Literatur bekannten kognitiven Strukturoperationen darin einordnen lassen." (Sommerfeld/Krause, W. 2013, S. 4)

Es geht letzten Endes um den Zusammenhang von Theorie und Praxis als Einheit von empirischer Induktion und theoretischer Deduktion, um praktisch verwertbare Einsichten zu gewinnen.

Wie steht die Psychologie zu den Naturwissenschaften? Für Klix war klar, dass Erkenntnisse der Natur- und Technikwissenschaften zu berück-

sichtigen sind. Für Elementaranalysen sind Experimente erforderlich. In seiner Würdigung der Leistungen von Klaus Holzkamp (1927–1995), dem Begründer der "kritischen Psychologie" auf marxistischer Grundlage, schrieb Michael Zander:

"Holzkamps Ausgangspunkt für eine grundsätzliche Kritik an seinem Fach war die Orientierung der Psychologie an den Naturwissenschaften und am Experiment als der zentralen Methode. Diese Orientierung sei verfehlt, weil die Humanpsychologie nicht mit unbelebter Materie oder Tieren umgehe, sondern mit anderen Menschen, also mit potentiell ebenbürtigen Erkenntnissubjekten."

Der Hinweis auf die mit Bewusstsein begabten Subjekte, die Strategien der Kommunikation entwickeln und gelobt werden wollen, ist berechtigt. Es wird gefolgert:

"Maßnahmen, die 'Störbedingungen' ausschalten sollen, führten in der Tendenz zu einer immer stärkeren Kontrolle der Versuchsperson, der schließlich kaum etwas anderes übrig bleibe, als die von ihr erwarteten Verhaltensweisen zu zeigen. Menschen, die eine Geschichte haben und über die Fähigkeit verfügen, ihre Lebensumstände bewusst zu gestalten, würden so auf den Status von 'Organismen' reduziert, deren Handlungsmöglichkeiten gegenüber fremdgesetzten Bedingungen stark eingeschränkt sind."

Der Autor meint, dass diese Einwände berechtigt waren, da die experimentelle Psychologie keine erfolgreiche Forschungsstrategie entwickelte, die Erkenntnisfortschritte brachte. Es wurden "triviale oder tautologische Befunde angehäuft". Weiter heißt es: "Technisch relevant", so Holzkamp, seien Befunde dann, wenn es strukturelle Ähnlichkeiten zwischen dem Experiment und der außerexperimentellen Wirklichkeit gibt. Dies gelte insbesondere für stark standardisierte und überschaubare Situationen. So könnten beispielsweise Experimente helfen, um Fehlerquellen beim Bedienen von Maschinen zu entdecken. Andere Gegebenheiten in der Praxis seien hingegen so komplex, dass eine Übertragung von im Labor veranschaulichten Theorien kaum möglich sei. Ein Lehrer könne in der Schule mit den klassischen psychologischen Modellen von Lernen kaum etwas anfangen. Der technischen Relevanz stellt Holzkamp programmatisch eine "emanzipatorische Relevanz" gegenüber. Damit bezeichnet er das zentrale Kriterium einer neu zu entwickelnden "kritischen Psychologie", die gesellschaftliche Unterdrückungsverhältnisse erforscht. Gemeint sind Abhängigkeiten, die

"auf ökonomischen und sozialen Herrschaftsstrukturen' beruhen, sowie der "Realitätsverlust', mit dem sich der Mensch über die "Unterdrückung seiner Interessen und Bedürfnisse hinwegtäuscht'." (Zander 2012)

Wenn die Psychologie dem genannten Anspruch nach Inter-, Multi- und Transdisziplinarität gerecht werden will, ist der Mensch mit seiner Psyche als Natur- und Sozialwesen, als mit Bewusstsein begabtes Individuum, als Moralwesen, als homo ludens und homo faber zu erforschen. Auch für den Marxismus ergeben sich daraus Konsequenzen (Hörz 2016). So hat sich die Hirnforschung intensiver mit Emotionen beschäftigt. Generell gilt das Motto: Use it or loose it. Wer nicht bereit ist, seine Talente zu nutzen, seine Fähigkeiten auszuprobieren, seine geistigen Kapazitäten auszuschöpfen, verliert sie. Zeit als Lebensgefühl führt uns in den Bereich menschlichen Verhaltens, den die Hirnforschung nur bedingt erfassen kann. Gegenwärtige Forschungen zeigen, dass Körper und Geist, Gehirn und Denken abhängig voneinander sind. Einsichten in materielle Bewusstseinsprozesse und ihre technologische Verwertung führen zu wesentlichen philosophischen Fragen: Was ist mit der Analyse der materiellen Prozesse für die Erklärung spezifisch menschlichen Verhaltens erreicht? Wie ist freier Wille und Determination des Handelns zu erklären? Antworten darauf sind ein interessantes und brisantes Feld weltanschaulicher Auseinandersetzungen, wie wir zeigen (Hörz, H. E./Hörz, H. 2013, S. 147). Man kann das Problem der Willensfreiheit nicht dadurch lösen, dass allein Prozesse im Gehirn untersucht werden. Zwar werden damit materielle Grundlagen für psychische Prozesse aufgedeckt, doch zur Wechselwirkung zwischen Gehirn und Geist kommt die Interaktion des denkenden und handelnden Menschen mit der Umwelt hinzu, was wiederum Auswirkungen auf die ideellen und materiellen (neuronalen) Vorgänge im Bewusstsein hat. Ein monistischer Naturalismus, der Menschen nur als Naturwesen sieht, die soziokulturellen Komponenten nicht beachtet und die Spezifik des Psychischen leugnet, löst die Probleme nicht. Zwar sind ideelle Prozesse an materielle gebunden, doch nicht auf sie zu reduzieren. Willensfreiheit können wir nur verstehen, wenn wir beachten, dass Menschen selbst ein wichtiger Determinationsfaktor für die Gestaltung der Umwelt und des eigenen Verhaltens sind, wobei ihre Wertvorstellungen eine wichtige Rolle spielen. Noch gelingt es der Hirnforschung nicht, Auffassungen von Ehre, Solidarität, Menschenwürde entsprechende neuronale Prozesse eindeutig zuzuordnen. Man kann sogar bezweifeln dass das, wegen der Komplexität und der soziokulturellen Differenzierung in individueller Ausprägung, prinzipiell möglich sein wird. Wir werden sehen, was die Hirnforschung dazu für Ergebnisse vorlegen wird. Auf jeden Fall gilt: Gehirnphysiologie und Erlebnisphänomenologie sind zwar strikt auseinanderzuhalten, doch zugleich ist ihre Wechselwirkung zu erforschen. Besonders bei Anomalien in neuronalen Prozessen bestimmter Individuen wird deutlich, dass ein Zusammenhang zwischen Denkprozessen und Handlungen besteht, der weiter zu erforschen ist. Insofern gehört Willensfreiheit weiter zu den Welträtseln, denen wir auf den Grund gehen wollen, ohne es vollständig enträtseln zu können.

Das Verhältnis von Philosophie, Psychologie, Naturwissenschaften und Technologie umfasst auch Überlegungen zu einer Ethik der Neomoderne, die als philosophische Disziplin Erkenntnisse der Psychologie mit neuen Technologien verbindet (Hörz, H. E./Hörz, H. 2013).

Das Naturwesen Mensch wird durch die Bedürfnisse seines Körpers bestimmt, das Sozialwesen Mensch stellt sich den Herausforderungen des sozialen Systems als soziokulturelle Identität, dem er angehört. Als Moralwesen sind Menschen durch ihre natürliche, soziokulturelle und mental-spirituelle Umgebung geprägt, mit denen sie ihre inneren Reserven mehr oder weniger ausschöpfen können. Mit den Beziehungen von Körper und Geist, von Materiellem und Ideellem befassen sich Philosophie, Psychologie, Physiologie und Hirnforschung. Philosophie und Psychologie sind in der Geschichte eng miteinander verwoben. Erst spät löste sich die Psychologie als experimentierende und nach theoretischen Erklärungen menschlichen Verhaltens suchende Wissenschaft, die zugleich die physiologischen Grundlagen menschlichen Verhaltens untersuchte, von der Philosophie. So haben wir es oft mit philosophisch-psychologischen Lösungsansätzen zu tun (Sprung, L./Sprung, H. 2010).

Der Mensch passt sich nicht, wie die Tiere, durch Reiz, Reaktionen und Instinkt mit situativem Denken an die Umgebung an, sondern entwickelt mit Denken und Sprache höhere psychische Funktionen, die Bewertungen von Handlungen ermöglichen. Er eignet sich die Wirklichkeit gegenständlich, rational und ästhetisch emotional an. Dazu dienen ihm Werk- und Denkzeuge. Mit seinen Denkzeugen steuert er mit emotionaler Rationalität und rationaler Emotionalität sein Verhalten und seine kognitiven Prozesse, also auch sein egoistisches oder altruistisches Verhalten.

Für eine Ethik der Neomoderne gilt also: Menschen sind zwar ein Entwicklungsprodukt der Natur. Insofern sind natürliche Existenz- und Entwicklungsbedingungen der Menschen nicht zu unterschätzen. Doch sie erhalten eine soziale Prägung. Zwar wirkt die natürliche Auslese, die zum Überleben der an die Umweltbedingungen angepassten Individuen führt, weiter, doch die gesellschaftlichen Möglichkeiten zum Ausgleich natürlicher Mängel sind gewachsen (Hörz, H. 1976, 2015). Es ist kein Naturalismus, wenn nicht nur die genetisch-biotischen Prädispositionen der Menschen berücksichtigt werden, sondern auch die in der Natur vorhandenen

sozialen Strukturen in Gemeinschaften von Lebewesen, die Arbeitsteilung und Herrschaftsstrukturen ausdrücken. Der Soziologismus, der menschliches Verhalten nur aus gesellschaftlichen Verhältnissen erklären will und genetisch-biotische Grundlagen des Menschseins nicht beachtet, ist zurückzuweisen. Die herrschende Stellung von bestimmten Gruppen und Individuen in der gesellschaftlichen Hierarchie ist nicht naturgegeben. Soziale Strukturen sind historisch entstanden und können verändert werden. Entwickeltes Menschsein zeigt sich in der effektiveren und humaneren Gestaltung der Natur ebenso, wie in der Einhaltung von Humankriterien. Gesellschaftliches Verhalten der Menschen hat Vorformen und Vorbilder im biotischen Bereich. Gesellschaftliche Verhältnisse entwickelten sich aus Sozialstrukturen und aus natürlicher Arbeitsteilung. Menschen sind genetisch bedingte, biotisch basierte und kulturell geformte Individuen mit großer Verhaltensbreite, was typisches individuelles Verhalten einschließt. Die Psychologie als Wissenschaft hat also ein breites Forschungsfeld. Wie sah Klix das?

2. Friedhart Klix zur Psychologie als Wissenschaft

In der Geschichte der Humboldt-Universität wird für die Psychologie zur "Ära Klix (1962–1990)" festgestellt:

"KLIX setzte die bereits in Jena eingeleitete neue Ausrichtung der Forschung und Lehre, welche durch eine enge Bindung an Kybernetik und Mathematik sowie eine strikt experimentelle Grundlegung gekennzeichnet war, am Berliner Institut fort. Das Institut wurde strukturiert in: Grundlagen der Psychologie, Ingenieurpsychologie und Klinische Psychologie. Junge Wissenschaftler, z.T. in anderen Wissenschaftsdisziplinen ausgebildet, prägten neue Forschungsrichtungen in der Allgemeinen Psychologie und bauten neue Lehrveranstaltungen auf. Im September 1964 wurden Ergebnisse dieser Neuorientierung auf dem Internationalen Symposium ,Psychologische Probleme Kybernetischer Forschung' in Berlin präsentiert. ... Von 1966 an wird am Institut kontinuierlich psychophysiologische Forschung betrieben ... Seither ergänzen psychophysiologische Methoden experimentelle Untersuchungen der Allgemeinen Psychologie und der Arbeits- und Ingenieurpsychologie, ab Mitte der 80-ger Jahre auch der Klinischen Psychologie. Für die psychologische Praxis in der DDR wurde die Orientierung auf eine standardisierte Psychodiagnostik (1966 Symposium zur "Intelligenzdiagnostik') und die Entwicklung der Lehre und Forschung zur Psychotherapie (Gesprächstherapie, Verhaltenstherapie, entspannende Verfahren) sehr wichtig." (HUB 2017)

So war inter-, multi- und transdisziplinäres Herangehen an die Erforschung der Psyche des Menschen für Klix Basis seines Wissenschaftsverständnisses.

Das Stichwort "Psychologie" im Wörterbuch "Philosophie und Naturwissenschaften" (Wörterbuch 1997, S. 744–749), das von Klix erarbeitet wurde, zeigt seine Auffassung von der Psychologie als Wissenschaft. Dabei spielt der in der materialistischen Dialektik als Entwicklungsprinzip begründete Entwicklungsgedanke eine entscheidende Rolle:

"Das Entwicklungsprinzip erfasst den durch innere Triebkräfte und äußere Faktoren bedingten ständigen Qualitätswandel in und von Systemen durch Strukturbildung und Strukturauflösung. Entwicklung ist das Entstehen anderer, neuer und höherer Systemqualitäten im Prozess der Strukturbildung durch Selbstorganisation. Dazu gehört das Umschlagen quantitativer Veränderungen einer bestimmten Grundqualität in qualitative durch die Entstehung, Entfaltung und Zuspitzung, aber auch Lösung und Neusetzung objektiver dialektischer Widersprüche. Qualitätsumschläge führen zu neuen Möglichkeitsfeldern. Man kann eine Struktur der Entwicklungsgesetze erkennen, die die Phasen der Ausgangsqualität mit Möglichkeitsfeldern und der Realisierung einer Möglichkeit als Negation der Grundqualität mit neuem Möglichkeitsfeld in einer neuen Phase verbindet, in der sich eine Möglichkeit als dialektische Negation der Negation realisiert und eine dritte Phase einleitet." (Hörz 2009, S. 69)

Nach Klix zeigen sich in der Entwicklung des Lebens auf der Erde und der Geschichte der Menschheit

"verschiedene Niveaustufen der Erkenntnistätigkeit, verschiedene Grade der Bewusstheit, von Erlebnisäußerungen und Erlebnisformen. Die notwendig zuverlässige Orientierung in der Umwelt, die dazu erforderliche korrekte innere Abbildung ihrer Eigenschaften (Widerspieglung), die Fähigkeit sie zu verändern und schließlich kooperativ zu gestalten, bilden Grundleistungen, aus denen eine Fülle von Erscheinungen und Zusammenhängen hervorgeht, deren Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten zu erforschen das Gegenstandsgebiet der P(sychologie) ausmacht."

Zu erforschen seien die Gesetze des äußeren und inneren Verhaltens von vor allem höher entwickelten Organismen, sowie die Analyse der Bedingungen ihrer Höherentwicklung, die Arbeit als Basis des gesellschaftlichen Reproduktionsprozesses und die Herausbildung der Sprache. Äußeres Verhalten umfasse alle Formen des Hineinwirkens in die Umwelt.

"Unter innerem Verhalten faßt man die Verstandestätigkeit im engeren Sinne, die Wahrnehmen, Urteilen, Begriffsbilden und Problemlösen umfaßt, sowie die motivbildende Seite für Aktivitäten zusammen, zu der Aktivierungen, Affekte und Emotionen zählen, die Leistungsmotivation, gesellschaftlich gewachsene Bedürfnisse für Arbeitsaufgaben und Verantwortung, für die Kollektivität der Leistung, aber auch für den Widerstand gegen soziale Unterdrückung und Aus-

beutung. ... Die Gesetze psychischer Aktivität resultieren aus zwei großen Bedingungsgruppen: aus historisch-biotischen und gesellschaftlich-sozialen Prozessen." (Wörterbuch 1997, S. 745)

Aufgaben der Psychophysik, der Arbeits- und Ingenieurpsychologie, der pädagogischen und klinischen Psychologie werden genannt und auf verschiedene Disziplinen verwiesen, die sich aus gesellschaftlichen Anforderungen ergeben wie forensische, die Sport- und Militärpsychologie. Begabtenförderung, die Betreuung und Lenkung von Entwicklungsabschnitten, Hilfe für Behinderte und Altersprobleme. Die Vielgestaltigkeit der Psychologie möge, so Klix, verwirrend erscheinen, doch die gesellschaftlichen Anforderungen wachsen und das Wissen dafür genüge nicht, weshalb die Psychologie sich weiter stürmisch entwickeln werde. Das gilt weiter, worauf bei den Zukunftsvisionen einzugehen ist.

An anderen Stellen des Wörterbuchs wird auf wichtige Arbeiten von Klix verwiesen, so z.B. bei der "Kognition" auf "Erwachendes Denken" (Klix 1980, S. 155). Die Beziehung von Emotionalität und Rationalität schließe auch emotionale, motivationale und volitionale Prozesse ein. Offenkundig ist das "in den Mechanismen der Zielbildung, der Tendenzen zur Zielerreichung und den Abwehrkräften angesichts der Gefahr einer Zielverfehlung..." (Wörterbuch 1997, S. 455)

Das Verhältnis von Emotionalität und Rationalität spielt auch in der Ethik eine wichtige Rolle, wobei Erkenntnisse der Psychologie und auch der Hirnforschung zu beachten sind. In unserem Ethikbuch stellen Helga E. Hörz und ich dazu fest:

"Die sozialen Beziehungen sind nicht naturgegeben, sondern, trotz offener Zukunft, gestaltbar. In welche Richtung das gehen könnte, hängt von unseren Werten und den darauf aufbauenden Zielvorstellungen ab.

Interessant ist, dass die Erkenntnisse der gegenwärtigen Hirnforschung unsere Erfahrungen bestätigen. Werte werden nicht in erster Linie über Wissen vermittelt, sondern durch Vorbilder. Vertrauensvolle Gespräche sind wichtig. Wir haben dazu immer auf die dialektischen Beziehungen von emotionaler Rationalität und rationaler Emotionalität verwiesen. Das kann nun fundierter mit der Rolle von Haltungen (Wertvorstellungen und Motivationsschüben) als entscheidender Grundlage des moralischen Verhaltens ausgedrückt werden. Dabei ist das Verhältnis von Gen, Hirn und Verhalten noch weiter als Welträtsel zu erforschen. Unsere oft geäußerte Warnung, wer Kindern die Neugier aber zieht, darf sich nicht über fehlende Kreativität wundern, bestätigt sich. Jede Generation macht ihre eigenen Fehler. Das wurde von uns immer betont. Die Ergebnisse der Hirnforschung zeigen das. Leider kann man die Angst vor der Schule bei negativen

Erfahrungen nicht vollständig nehmen. Doch sie ist in gewisser Weise durch Vertrauen und Reden über die Probleme, um Lösungen zu finden, ohne besserwisserisch zu sein, soweit zu kompensieren, dass sie nicht zu den geschilderten negativen Wirkungen führen muss. Die Hirnforschung zeigt generell, wie berechtigt der Grundsatz ist: use or loose it. Wer seine Potenzen für Leistung und moralisches Verhalten nicht ausschöpft, verkrüppelt nach und nach psychisch (seelisch). Es geht nicht allein, wie im Kapitalismus in dessen Wertehierarchie gefordert, um die Nutzung aller Potenzen des Humankapitals, sondern um die Selbstverwirklichung der Individuen, um persönliches Glück. Das alleinige Ressourcennutzungsdenken ist, wie Hirnforscher betonen, deshalb unbedingt zu überwinden und die Potenzialentfaltung in den Mittelpunkt zu rücken." (Hörz, H. E./Hörz, H. 2013, S. 203)

3. Quo vadis Psychologie?

Psychologie verstand Klix umfassend als Entwicklungstheorie des Psychischen, da Menschen sowohl Natur- als auch Sozialwesen sind. Philosophie verweist auf das allgemeine Mensch-Sein, auch im Zusammenhang mit der Geschlechtergerechtigkeit,

"Menschen sind ihrem Wesen nach Ensemble konkret-historischer gesellschaftlicher Verhältnisse und globaler natürlicher Bedingungen in individueller Ausprägung, die sich als Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen, materiellen und ideellen, rationalen und emotionalen, bewussten, unterbewussten und unbewussten Faktoren erweist, wobei sie ihre Existenzbedingungen bewusst immer effektiver und humaner gestalten wollen. Das gilt für beide Geschlechter und ihren gemeinsamen Kampf um Gleichstellung. In den Eigenschaften, die Menschen als Gattungswesen auszeichnen, wie die gegenständlich-bewusste Auseinandersetzung nach bestimmten Zielvorstellungen und die Einsicht in Gesetze ihres eigenen Erkennens und Verhaltens stimmen sie überein. Trotz aller individuellen, jedoch nicht allein auf Frau- und Mann-Sein festzulegenden, Verhaltensweisen, gibt es diese allgemeinen übergreifenden Merkmale, die Frau und Mann als Menschen verbinden."

Die Geschlechterdifferenz ist zu beachten.

"Frauen und Männer unterscheiden sich in anatomisch-physiologischen Merkmalen, woraus psychische Unterschiede resultieren können. Das erfordert entsprechende Berufsprofile, Förderungen wegen der jahrhundertelangen Benachteiligung, Verbindung von Berufstätigkeit und Mutterschaft usw." (Hörz, H. E./ Hörz, H. 2013, S. 372f.)

Klix stellte sich der Frage nach der weiteren Entwicklung der Psychologie im 21. Jahrhundert. Er war ein philosophischer Denker und sich bewusst,

dass komplexe Zusammenhänge sowohl Detailwissen, als auch Einsichten in die Gesetzmäßigkeiten von Systemen auf einer hohen Entwicklungsstufe, wie etwa das Leben und die menschliche Persönlichkeitsentwicklung, verlangen. Seine Untersuchungen zu Elementaranalysen dienten ihm als Detailbasis für neue Einsichten in komplexe psychische Beziehungen. Orientierungen, naturwissenschaftlich, technisch oder soziologisch einseitig motiviert, lehnte er ab.

Im Vortrag auf dem von der Leibniz-Sozietät veranstalteten Ehrenkolloquium zu seinem 75. Geburtstag betonte er dazu, Wissenschaft sei keine Einbahnstraße. Es käme auch in der Psychologie zu "Disziplinkreuzungen", die zu neuen Paradigmen führten. So könnten derzeitig "virulente interdisziplinäre Entwicklungen" zu "neuartigen Konsequenzen" führen.

"Es sind Wechselbeziehungen entstanden, die Gebiete der Genetik, der Molekularbiologie, der funktionellen Neuroanatomie, mit Entwicklungen in der Sprachwissenschaft, in der Evolutionstheorie, der linearen Algebra (verbunden mit Stochastik) überdecken und vielleicht zu einer fürs Mentale angepassten Logikform führen."

Er stellte fest:

"Die Grundauffassungen darüber, was Psychologie als Wissenschaft befördert hat und befördert, gehen weit auseinander. Ein neues Jahrhundert ist angebrochen, auch im menschlichen Denken. … Ist ein Silberstreifen am Horizont sichtbar, der hoffen lässt, dass Psychologie im Konsens mit anderen Wissenschaften zu neuen Ufern gelangen wird?"

Er reflektierte "Über neue Gebiete interdisziplinären psychologischen Denkens und Forschens", darunter eine "genetisch fundierte Taxonomie der Lernprozesse und Lernleistungen." Er sah eine Verbindung von Mikro- und Makroebene, die komplexes Lernen besser verstehen lässt und praktische Konsequenzen haben kann. Bei seinen "Überlegungen zur Repräsentation des Ich" verwies er auf die Hirnforschung, die im Nervensystem kein funktionales Gegenstück zum "Ich-Punkt" ausmachen könne. Die menschliche Sprache würde immer mehr zu einem zentralen Forschungsgegenstand der Psychologie. Neue Einsichten über den Einfluss sozialer Faktoren auf mentale Dispositionen würden Populationstrennungen auf der Basis von Genbeständen und Unterschieden in der Sprache vermitteln. Ein neues Zentrum der Psychologie könne sich entwickeln, eine

"Psychologie der menschlichen Persönlichkeit und ihrer Entwicklung, gegründet auf genetischer, neurobiologischer, soziologischer und pädagogisch-psychologischer Forschung." (Klix 2004, S. 42–46)

Diese Überlegungen zeigen Klix als einen Vordenker für eine komplexe Persönlichkeitstheorie.

4. Zukunftsvisionen und Persönlichkeitspsychologie

Unter inzwischen neuen technologischen Möglichkeiten durch Roboterisierung, Forschungen zur künstlichen Intelligenz, umfassende Digitalisierung sind wir im Sinne von Klix gefordert, über die zukünftige Persönlichkeitsentwicklung nachzudenken. Dabei geht es um die von Klix aufgeworfene Frage nach der Repräsentation des Ich. Er verwies auf die Annahme der Hirnforschung,

"dass es sich bei den Formen des Ich-Bewusstseins um einen zeitweiligen, sich aber ständig wiederholenden und motivgesteuerten Zusammenschluss modularer Netze von Nervenzellgruppen handelt. Durch sie wird die *variable* Konstituierung einer Art Kommandozentrale vollzogen. Das 'Ich' ist zwar jederzeit präsent, in seinen Komponenten aber von verschiedenen Regionen konstituiert, etwa so, wie ein Vogelschwarm wohlbestimmte Muster bildet, wobei das Mittun der einzelnen Körper aber ständig variiert. Diese Situation wirft für die Persönlichkeitspsychologie völlig neue Fragen auf." (Klix 2004, S. 45)

Für die zukünftige Persönlichkeitsentwicklung, die die Psychologie erforscht, erklärt und auch praktisch mit gestaltet, drängen sich aktuell meines Erachtens zwei Fragen auf:

- 1. Kann man Gedanken des Individuums lesen?
- Wird künstliche Intelligenz zum Mittel der Entmenschlichung des Menschen?

Dazu einige Überlegungen zu möglichen Antworten.

4.1 Kann man Gedanken lesen?

Aus verschiedenen Formen der Kommunikation, wie Mimik, Sprache, Körperhaltung, verbunden mit Wissen über das Verhalten einer bestimmten Person, ist auf die Gedanken zu schließen, ohne sie direkt im Hirn lesen zu können. Zur Frage "Warum hochsensitive Menschen leicht Gedanken lesen können" wird festgestellt, Gedanken zu lesen, sei kein Hokuspokus.

"Die Körpersprache eines Menschen verrät viel mehr, als allgemein angenommen wird. Was sich im Gehirn einer Person abspielt, lässt sich zu einem gewichtigen Prozentsatz anhand von Gestik und Mimik erkennen. Die Kommunikation besteht deshalb nicht nur aus dem gesprochenen Wort. Der oft aussagekräftigere Teil versteckt sich hinter bestimmten Körperhaltungen und anderen nonverbalen

Signalen. Die Fähigkeit, diese richtig zu interpretieren, ist der Spezies "Mensch' quasi mit in die Wiege gelegt. Seit Jahrtausenden gehört es für uns zur Überlebensstrategie, die Stimmung unseres Gegenübers auch im Gesicht ablesen zu können. So ist das Gedankenlesenlernen für sensitive Menschen nur eine Erweiterung eines ohnehin bereits vorhandenen, angeborenen Könnens ... Situationen absoluten Glücks oder tiefer Trauer machen es uns unmöglich, bewusste Täuschungen zuzulassen. Jeder Mensch verhält sich dann 'echt', zeigt das sprichwörtliche 'wahre Gesicht' und lässt den Emotionen freien Lauf." (open-mindakademie 2017)

Begründete Warnungen, von der Hirnforschung nicht zu viel zu erwarten, sind zu beachten, denn manche sensationelle Meldung sei nicht ernst zu nehmen.

"Moderne Methoden der Hirnforschung lassen zu, dass wir über die Gedankengänge von Menschen immer mehr in Erfahrung bringen. Doch eignen sich diese Methoden auch, um konkrete Gedanken von einzelnen Personen zu erfassen? Immer wieder berichten Zeitungen über spektakuläre Entdeckungen beim "maschinellen Gedankenlesen'. Doch man kann beruhigt sein: Die meisten Interpretationen solcher Befunde sind übertrieben. Es gibt nämlich beim Gedankenlesen mit Hilfe von Hirnmessungen ein grundsätzliches Problem. Da Menschen in hohem Maße lernfähig sind, erfolgt die Verankerung von Wissen und Denken im Gehirn von Mensch zu Mensch höchst unterschiedlich. ... Das bedeutet, dass man ein bestimmtes Gehirn schon sehr gut kennen muss, um über dessen spezielle Arbeitsweise zutreffende Vorhersagen machen zu können. Die Messung von Aktivitäten im Gehirn, die Gedanken erkennen lassen, und die Vorhersage von Absichten bei einem Menschen ist beispielsweise möglich, wenn sich dieser Mensch bereits früher zur Mitarbeit an ähnlichen Messungen bereit erklärt hat. ... Es gibt im Gehirn auch Bereiche, die man mit geeigneten Methoden besonders gut ,lesen' kann: Die Verarbeitung von Seh- und Tastinformation, sowie die Steuerung der Gliedmaßen-Motorik. Daher kann man zum Beispiel durch Analvse von Hirnwellen Aufschlüsse darüber bekommen, welchem Seheindruck besondere Beachtung geschenkt wurde oder welche Bewegung als nächste ausgeführt wird. Teilweise ist hierfür auch wieder eine gewisse konstruktive Mitarbeit der betreffenden Personen erforderlich. Unter dieser Voraussetzung sind die genannten Verfahren sehr wertvoll und nützlich. So ist es zum Bespiel möglich, dass gelähmte Menschen einen Computer nur mit Hilfe von gerichteter Aufmerksamkeit steuern können. Oder es können mechanische Prothesen mit Hilfe von motorischen Absichten - noch ohne dass eine Bewegung erfolgt - in die richtige Richtung bewegt werden." (Hirnforschung 2017)

Am 20.04.2017 meldete "Tagesschau.de": "Facebook will Gehirnströme auslesen". Mit sensiblen Sensoren soll es möglich sein, Worte direkt in den Computer zu schreiben.

"Die Technologie gibt es noch nicht, aber Facebook will sie erfinden: Das weltgrößte Online-Netzwerk will Menschen direkt aus dem Gehirn heraus Worte in Computer schreiben lassen. Es gehe zum Beispiel um die Möglichkeit, eine Textnachricht zu verschicken, ohne dafür das Smartphone herausholen zu müssen, sagte Facebook-Managerin Regina Dugan auf der Facebook-Entwicklerkonferenz F8 in San Jose. Das aktuelle Ziel: 100 Worte pro Minute. Wie realistisch ist das? Laut Facebook könne dies in einigen Jahren erreicht werden. Dugan verwies auf aktuelle Forschungen an der Stanford-Universität, in denen eine gelähmte Frau, dank Elektroden im Gehirn acht Worte pro Minute in den Computer schreiben könne. Die Elektroden erkennen die Aktivität der Neuronen, wenn sie einen bestimmten Buchstaben eintippen wolle." (Facebook 2017)

Das bestätigt eigentlich nur, was Klix schon bei der Repräsentation des Ich im Hirn betonte. Es gibt einzelne Module mit feuernden Neuronen, die eventuell Buchstaben repräsentieren. Doch wie aus Buchstaben noch kein Satz entsteht, kann auch aus bestimmten Hirnaktivitäten nicht auf das Gedankengebäude eines Individuums geschlossen werden. Philosophisch ist dazu festzustellen (Hörz, H. E./Hörz, H. 2013, Abschnitt 3.2.): Bewusstsein ist die spezifisch menschliche Form der ideellen Wirklichkeitsaneignung. Dazu gehören die rationale, emotionale und ästhetisch-anschauliche Erfassung und Gestaltung der Natur, der Sozialbeziehungen, der geistig-spirituellen Situation mit Hilfe technologischer Erkenntnis- und Gestaltungsmittel. Materielle Prozesse, wie Neuronen-Netze, mit den Wirkprinzipien I umfassen als Wirkprinzip II die Möglichkeit für die personenspezifische, situationsgebundene und zielgerichtete Strukturierung von Informationen durch Erfahrung und Training. Die spezifisch menschliche Form des Problemlösungsverhaltens nennen wir menschliche Intelligenz. Sie basiert auf Erfahrungen und mehr oder weniger begründeten Einsichten in das zu gestaltende Geschehen, erfasst in mentalen Zuständen. Diese sind eine Einheit von emotionalem Verhalten, das mehr oder weniger rational gesteuert wird und emotional fundierter Rationalität, die im Grenzfall rationales Denken fast ausschalten kann. Denken, Sprache, Motivation, Handlungswille, Entscheidungen und Taten drücken die Einheit von Kognition als Übergang vom Denken zum Wissen, von Emotionen als einer Form der Aneignung der Wirklichkeit, einschließlich der sozialen Umwelt und der Auseinandersetzung mit sich selbst, und der Motivation als Wille zur Lösung von Problemen aus. Wollen, das nicht zur Tat reift, bleibt im Ideellen. Es ist eine Unterbrechung der Wirklichkeitsaneignung, die im Volksmund lautet: Wollen wollte ich wohl, doch vollbringen das Gute, das konnte ich nicht!

Die Neurophysiologie und die kognitive Psychologie haben wichtige Erkenntnisse über die Mechanismen geistiger Tätigkeit erbracht. Sie zeigen jedoch keine eindeutige Zuordnung von neuronalen Vorgängen zu komplexen moralischen Begriffen, wie "Ehre", "Menschenwürde" und "Freiheit". Diese sind spezifische Ausformungen von gesellschaftlichen Werten bei soziokulturellen Einheiten und Individuen.

Die begriffliche Komplexität ist mit komplexen neuronalen Schaltvorgängen verbunden. Da daraus sich Verhaltensnormen als Handlungsorientierung und Wertmaßstab ergeben, wäre weiter zu analysieren, wie sie verinnerlicht werden. Man kann sich Normen unterordnen, sie gestalten oder ablehnen und sich einem anderen Wertekanon anschließen. Es tauchen weitere Fragen auf, die zu beantworten sind: Wie ist der Zusammenhang von individuellem und gesellschaftlichem Bewusstsein unter den Bedingungen der digitalisierten Welt? Welche gesellschaftssystemspezifischen Auswirkungen gibt es auf Sozialverhalten und Psyche? Welche sensiblen Phasen existieren in welchen Altersstufen zur Entwicklung von Tätigkeiten, zur Bildung und zur sittlichen Reife? Das führt uns zur Soziomoral-Genese der Menschen. Sie ist mit Traditionen, Sitten und Gebräuchen verbunden.

Daraus ergibt sich die zweite Frage zur künstlichen Intelligenz mit Zukunftsvisionen, die auch mit Horrorvorstellungen verbunden sein können.

4.2 Wird künstliche Intelligenz zum Mittel der Entmenschlichung des Menschen?

Der Mensch ist nicht nur eine Einheit von Leib und Seele, von Körper und Psyche, sondern ein soziales Wesen, das nur mit der Arbeitsteilung, der Kommunikation und Gestaltung von neuen Technologien als Herrschaftsmitteln über Natur, Gesellschaft und sich selbst existieren kann. Menschen unterliegen der weiteren Evolution. Wird es eine Menschheit 2.0. geben, wie der Transhumanismus meint begründen zu können? (Hörz, H. E./Hörz, H. 2014) Tatsächlich entstehen mit den Kognitionstechnologien auch neue Gestaltungsmittel mit Auswirkungen auf das Menschsein, die human zu beherrschen sind. Dabei sind, wie an anderer Stelle ausführlich dargelegt (Hörz, H. 2011) folgende Faktoren zu berücksichtigen:

(1) Künstliche Intelligenz als technologisches Problemlösungsinstrument bestimmt unser Leben in allen Bereichen, von der Wirtschaft bis zu Wissenschaft, Kultur und Kunst, von der Arbeit bis zur Freizeit. Entscheidungen auf allen Ebenen sind technologiegeprägt, durch Informationstechnologien beeinflusst.

- (2) Es treten Erfolgs- und Gefahrenrisiken beim Einsatz von gegenständlichen (Roboter) und hardware-basierten geistigen Gestaltungsmitteln (Computer) auf, die nicht immer gleich erkannt werden.
- (3) Die digitale Welt versetzt uns in eine virtuelle Scheinwirklichkeit, was zu problematischen Entscheidungen auf allen Ebenen, von der individuellen über die wirtschaftliche bis zur politischen, führen kann.
- (4) Es gibt Suchterscheinungen neuer Art, etwa die "Computeritis", die das soziale Zusammenleben erschweren kann. Daraus ergeben sich philosophische Standpunkte für eine, den modernen Anforderungen, entsprechende philosophische Fundierung wissenschaftlicher Forschung und der Be- und Verwertung entsprechender Kenntnisse und Konsequenzen für eine komplexe Persönlichkeitstheorie.

Werden Menschen immer mehr zu Artefakten? Wenn über aktuelle Auseinandersetzungen zum Leib-Seele-Problem diskutiert wird, dürfen die technologischen Möglichkeiten zur zukünftigen Gestaltung der Menschen, teilweise mit Horrorvisionen verbunden, nicht unbeachtet bleiben. Geht es nach dem Programm der Transhumanisten bei der Entwicklung von Avataren, dann haben wir 2045 den Avatar D, der die künstliche Intelligenz, gespeichert mit den Erfahrungsdaten natürlicher Menschen, mit einem Hologramm verbindet. Für Transhumanisten sind solche Ideen und Programme für eine zukünftige Einheit von Mensch und Maschine grundlegend. Es geht um die Frage, ob wir als Menschen soweit technisiert werden können, dass wir unsere wesentlichen Eigenschaften wie Vernunft, Wille, Denken, Emotionen und Verantwortungsbewusstsein verlieren oder an eine künstliche Intelligenz übergeben. Die Menschen würden dann selbst zu Avataren (Cyborgs) oder durch technische Artefakte ersetzbar. Diese Tendenz der Entmenschlichung ist zu stoppen, wenn Menschen weiter als vernunftbegabte Gestaltungswesen in ihrer Integrität und Ehre existieren wollen. Mit der technozentrierten unkontrollierten Entwicklung geraten sie unter die Herrschaft von Superintelligenzen und Robotern, für die sie letzten Endes überflüssig sind. Eine humanorientierte Gestaltung der technologischen Entwicklung ist wichtig (Hörz, H. E./Hörz, H. 2015).

5. Erkenntniswege: Bottom-up und Top-down

Für die Erforschung der Menschen als Individuum in sozialen Strukturen (Bottom-up), oder als Element gesellschaftlicher Systeme (Top-down), gilt: Je genauer die Detailforschung ist, desto mehr wissen wir über die Elemente des Systems, doch umso weniger über das Systemverhalten, denn komplexe

Systeme können nicht in allen ihren Beziehungen erforscht werden. Es geht um die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für das humane Verwerten von wissenschaftlichen Erkenntnissen. Beide Erkenntniswege sind wichtig und ergänzen sich gegenseitig. Durch die voranschreitende Spezialisierung werden komplexe Systeme oft nur in bestimmten Aspekten untersucht, die für deren Gestaltung oder Nutzung wesentlich sind. Der dialektische Wechsel von Unwesentlichem zu Wesentlichem wird dabei manchmal missachtet und wichtigen Zusammenhängen nicht nachgespürt. Es ist aus dialektischer Sicht zu beachten, dass komplexe Systeme theoretisch nur in zwei Integrationsebenen, System und Elemente oder System und Umwelt, zu erfassen sind, wobei eine Hintergrundtheorie die Einordnung des untersuchten Systems in umfassendere Zusammenhänge erklärt. Dieses 2+1-Prinzip richtet sich gegen die Gefahr der abstrakten Betrachtung des komplexen Systems ohne Detailinformationen (Zurückziehen auf die Hintergrundtheorie) oder des Objektwechsels (Teilaspekte treten in den Vordergrund).

Gegenwärtig zeigen unsere Studien im Arbeitskreis "Prinzip Einfachheit" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften die Relevanz des 2+1-Prinzips bei der Erforschung komplexer Vorgänge (Sommerfeld et al. 2010/Hörz, H. et al. 2016). Es ist eine Antwort auf die Frage: Wie können wir komplexe Phänomene erforschen? Die Antwort kann nicht sein: Wir haben alle Faktoren in gleicher Weise zu berücksichtigen. Gegen diese Forderung spricht: Wer alles sieht, sieht gar nichts. Wir suchen deshalb nach Regularitäten und Gesetzen, indem wir wesentliche, d.h. den Charakter der Erscheinung bestimmende, und allgemein-notwendige, reproduzierbare, Seiten des Objekts, das wir erforschen, erkennen.

So berichtete Klix in seinem Vortrag vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät 1994 über "Stabilität und Wandlungen in geistigen Dispositionen des Menschen." Er bemerkte zu elementaren Lernprozessen und ihrer Vervollkommnung:

"Lernen bildet Gedächtnisbesitz. Gegenüber der zeitlich sehr trägen Umstellungsfähigkeit instinktiver Verhaltensmuster haben in turbulenten Umwelten rasch ablaufende Anpassungsvorgänge an sich schon hohen Selektionswert. Dabei spielt die sensorische Erkennung von Zusammenhängen in der Umwelt eine bedeutende Rolle. Die evolutionäre Vervollkommnung von Lernprozessen und Lernleistungen beruht auf der Erkennung von vergleichsweise auch kurzfristig gültigen und zuverlässigen Zusammenhängen zwischen den Signalements wahrnehmbarer Umweltzustände. Die einfachsten Formen liegen in der bedürfnisgerechten Registrierung und Speicherung von Regelhaftigkeiten in der Aufeinanderfolge von Umweltereignissen. Zentralnervöse Registrierung und bedürfnisgebundene Bewertung wirken zusammen." (Klix 1995, S. 10)

An anderer Stelle betonte er die sozialen Herausforderungen, die kognitive Leistungen beeinflussen:

"Was kann geschehen? Wir leben in einem Zeitalter der algorithmischen Beschreibung komplexer Zustandsfolgen, im Zeitalter der Rechentechnik und der Computer. Neben anderen Leistungen verstärken diese Technologien den Komplexitätsgrad unserer Welt. Sie tun dies auf einigen nördlichen Regionen der Erdkugel wesentlich stärker als auf allen anderen. Nach dem, was wir im letzten Abschnitt begründet haben, muß dies zu einer regional unterschiedlichen Intelligenzentwicklung fuhren. Das kann, wenn nicht gegengesteuert wird, zu dramatischen Differenzierungen der Intelligenzzusammensetzung der unterschiedlich betroffenen Bevölkerungsgruppen unserer Erde führen. Es kann aber auch sein, daß die Zunahme hyperkomplexer Weltzustände so vehement fortschreitet, daß sie sich der Beherrschbarkeit durch menschliche Intelligenz überhaupt entzieht. Dann würden die bestadaptierten und mithin überlebensfähigen Organismen nicht die höchsten Säugetiere sein, sondern die Viren und die Bakterien." (Klix 1995, S. 39)

Zum Leibniz-Tag 1999 hielten Friedhart Klix als Kognitionspsychologe und Karl Lanius als Hochenergiephysiker den Festvortrag zu "Wege und Irrwege der Menschenartigen". Es ging um das Zusammenwirken natürlicher, sozialer und kognitiver Faktoren in der Evolution des homo sapiens, um zu ergründen, wie wir wurden und wer wir sind. Sie belegten, dass die Entstehung und Entwicklung der Menschen ein chaotischer Prozess war und ist, in dem sich die Geschichte als Resultante eines Parallelogramms zufällig aufeinander wirkender Kräfte erweist. Sie empfinden das, nach den Einsichten von Kopernikus und Darwin, als dritte große Wende, die fundamental, erschreckend und kränkend ist, da sie das tief verankerte Bedürfnis der Menschen nach Schutz und Sicherheit empfindlich trifft, die Bilder vom Menschen als dem höchsten Produkt der natürlichen Evolution fragwürdig macht und ihn in eine ungewisse Zukunft entlässt. Fazit ist: Er kann seine natürlichen Existenzbedingungen zerstören oder sie, mit Einsicht in die Möglichkeiten der Evolution, human gestalten. Die vorhandene Intelligenzkapazität der Frühmenschen war dabei keineswegs durch Werkzeugproduktion ausgeschöpft, sondern wurde vor allem für die Arbeitsorganisation eingesetzt. Beide heben hervor:

"Lebewesen und Umwelt sind untrennbar miteinander verknüpft. Alle Populationen brauchen zum Leben eine Umwelt, in der sie Nahrung finden, sich fortpflanzen, die physikalischen und chemischen Bedingungen nutzen oder ertragen und natürliche Feinde meiden können." (Klix/Lanius 1999, S. 5)

Lernen spielte für die Lebensweise und für die Herstellung von Werkzeugen eine wichtige Rolle.

"Wege- oder Routenlernen war eine der folgenreichen Stimuli für kognitive Leistungen. Routenlernen erfordert das Behalten langer Folgen von Wegemarken. Assoziatives Lernen, lange schon verfügbar, mußte unter Selektionsdruck dafür ausgebaut werden. ... Assoziatives Lernen wird auch sichtbar in den Aktionsschritten bei der linearen und rekursiven Herstellung einfachster Werkzeuge." (Klix/Lanius 1999, S. 16)

Über die Hauptphasen der Sprachevolution heißt es:

"Eine flektierende Hochsprache wurde während der Eem-Warmzeit von den Neumenschen des Cro-Magnontyps ausgebildet. Die Quellen ihrer Grammatik waren die semantischen Relationen der Ereignisbegriffe. Deren Assoziation mit Lautbildungen eröffnet die Möglichkeit, über lange Vergangenes, über das Unmögliche, über das Übermorgen, über Motive, über das absichtlich vs. unabsichtlich Verursachte mitzuteilen. Konstruktives Denkhandeln am Gerät beinhaltet Wissen um das Vorher und Nachher, um das Wenn-Dann und das Warum, – und darüber, was ICH kann." (Klix/Lanius 1999, S. 28f.)

Das Ergebnis der Sprachevolution zeigt sich im aktuellen Kommunikationsgeschehen.

Menschliches Verhalten wird vor allem über die Sprache als Mittel der Kommunikation gesteuert. Dabei handelt es sich um Informationen im engeren Sinne. Sie sind Widerspieglung von Sachverhalten und Element der Steuerung. Informationen im engeren Sinne sind die durch Sprache in der Kommunikation vermittelten Nachrichten über Sachverhalte. In diesem Sinne wird Information als Kommunikation mit allen ihren Formen, darunter auch die Mimik, zwischen Partnern zum Austausch von Erkenntnissen über Seins-Strukturen und Sinnfragen, von Meinungen über Handlungsziele und Verhaltensweisen als Grundlage von Entscheidungen mit einer bestimmten Wertorientierung verstanden. Durch bewertete Informationen wird unser Wissen zwar erweitert, aber zugleich unser Verhalten beeinflusst. Unsere Reaktion ist nämlich nicht durch die mitgeteilten Tatsachen allein bestimmt, sondern auch durch die Art und Weise der Übermittlung, durch die mit übergebene Bewertung und durch unsere Haltung zur Bewertungsinstanz.

Aus strukturellen Beziehungen kann auf Entwicklungszusammenhänge geschlossen werden, weshalb Strukturen für den Menschen *potenzielle Informationen* über die Strukturbildung und das abgebildete Urbild oder die prägende Kraft der Spuren sind. Durch Analyse, Experimente und Interpretationen werden potenzielle Informationen zu aktuellem Wissen. Die potenzi-

elle Information erfasst jede Struktur als geronnene Entwicklung, repräsentiert also vor sich gegangene Veränderungen und ist Hinweis auf mögliche weitere zukünftige Prozesse. Zur Information wird das erst durch einen Rezipienten, der etwas mit der Widerspieglung anfangen kann.

Die Unterscheidung zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz macht für das menschliche Gesamtsubjekt, personifiziert in seinen theoretischen und praktischen Entwicklern, die Überlegenheit der menschlichen über die künstliche Intelligenz dann deutlich, wenn man Intelligenzstufen einführt, wobei die höhere Stufe eine Theorie über das Verhalten der niederen Stufe umfasst. Menschliche Intelligenz ist so durch Theorie (Wissen), Werte (Kultur), Entscheidungen (Wertehierarchie), Bewertungen (Risikoabschätzungen) und Antizipationen (Folgenverantwortung) von der künstlichen unterschieden. Für alle Menschen bieten jedoch die neuen Gestaltungsmittel Potenzen zur Intelligenzverstärkung. Die Genese der Information als Überlebensstrategie von Lebewesen in einer stochastischen Umwelt ist mit der notwendigen flexiblen Reaktion auf stochastische Prozesse erforderlich und ein Entwicklungsprodukt, das erst auf später Entwicklungsstufe der Lebewesen entstand und zu neuronalen Prozessen führte. Klix begründet, dass es in der Evolution der Arten zu einer relativen Abnahme des Anteils angeborener Verhaltensmuster gekommen ist (Klix 1992, S. 25ff.). Der Weg geht vom angeborenen Erkennen zum gedanklichen Vorausspiel. Lebewesen können in einer stochastischen Umwelt nur bestehen, wenn sie mit Erkennungsmechanismen in der Lage sind, flexibel auf geänderte Situationen zu reagieren. Wesentliche Elemente der möglichen flexiblen Reaktion durch Lebewesen sind Lernen und Gedächtnis sowie beim Menschen Antizipation, Zielsetzungen, Bewertungen der Informationen und Resultate sowie schwer zu gewinnende Einsichten in die Beziehungen und Gesetze des eigenen Erkennens und Handelns. Menschen unterscheiden sich in ihren Intelligenzleistungen von den Tieren dadurch, dass sie in der Lage sind, mit ihren abstrakten Fähigkeiten das situative Denken durch das antizipatorische Denken zu ergänzen und sich mit den Determinanten des eigenen Erkennens und Verhaltens theoretisch auseinanderzusetzen.

Eine Reduktion der Bewusstseinsprozesse auf ihre neuronalen Komponenten würde die soziokulturellen Determinanten menschlichen Verhaltens ignorieren und die steuernde Rolle des Bewusstseins den materiellen Prozessen als Repräsentanten unterordnen, während die Erklärung des Materiellen aus dem Geistigen zu einem immateriellen Schöpferprinzip führen würde, das nicht nachweisbar ist.

Wenn wir dialektisch das Verhältnis von Physischem und Psychischem betrachten, dann sind nicht nur naturwissenschaftliche Erkenntnisse von Bedeutung, sondern die Untersuchungen der Sozial- und Geisteswissenschaften zur bewussten Gestaltung der Wirklichkeit durch soziale Gruppen, zur Entwicklung der Moral, zu den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen des individuellen Verhaltens, zur Sprache als Repräsentations-, Kommunikations- und Steuerungsmittel des Verhaltens, zum Verhältnis von objektiver, subjektiver und Aneignungs-(Erkenntnis-)Dialektik sind zu beachten. Psychisches ist nicht auf Physisches zu reduzieren (Hörz, H. 2015). Wie schon angedeutet haben wir es mit verschiedenen materiellen Wirkprinzipien zu tun. Mit den Wirkprinzipien I erfassen wir den von uns konstatierten und immer besser zu erkennenden empirischen Sachverhalt effizienter natürlicher und sozialer Prozesse. Das menschliche Bewusstsein musste erst einmal als Entwicklungsprodukt und Eigenschaft der Materie entstehen, damit es als spezifisch-menschliche Form der Widerspieglung, also der ideellen Repräsentation wirklicher Prozesse, unsere Entscheidungen zum Handeln orientieren kann. Wirkprinzipien II umfassen die materielle Basis für kognitive Strukturen und ihre Effektivierung, erforscht durch Neurophysiologie und Hirnforschung. Technische und ästhetische Aneignung der Wirklichkeit durch Menschen mit Bewusstsein führt zu Artefakten, die nach ihrer Existenz spezifische Wirkprinzipien III aufweisen. Die spezifische Funktionserfüllung ist dabei zu beachten. Technische Aggregate, einschließlich der Ergebnisse der Neurotechnologien, sollen störungsfrei funktionieren, wenn sie mit einem Minimum an Stoff, Energie und Information konstruiert, produziert und dem Nutzer zugeführt sind. Dabei geht es um materielle Problemlösungskapazitäten, die vom Computer über Implantate im Hirn bis zu Computer-Hirn-Schnittstellen reichen.

Als Moralwesen geraten Personen oft in schwierige psychische Situationen. Ihr Gewissen als persönliches Verantwortungsbewusstsein stellt sie vor schwierige Entscheidungen. Nicht jeder Mensch verkraftet solche Extremsituationen. Depressionen, Burn-out und Folgen von Mobbing beschäftigen dann oft den Psychiater. Wird der Arzt zu einem Verkäufer von Gesundheit, der den Kunden danach taxiert, was er ihm profitbringend verkaufen kann, dann ist der Hippokratische Eid, ärztliche Verordnungen zum Nutzen der Kranken nach den vorhandenen Erkenntnissen und Fähigkeiten zu treffen und sich davor zu hüten, sie zum Schaden und in unrechter Weise anzuwenden, nicht mehr Grundlage des ärztlichen Handelns. Rechtswirksam ist er sowieso nicht. Philosophie und Psychotherapie leisten weltanschauliche Lebenshilfe als "Seelsorge". Was kann das bedeuten? Was ist eigentlich die

Seele? Wie kann das Bedürfnis nach spiritueller Hilfe befriedigt werden? Fassen wir unter "Seele" die "Psyche" eines menschlichen Individuums als Regulationszentrum seines Verstehens und Handelns, dann kann es bei der Lebenshilfe nicht allein um Religion oder Psychotherapie gehen, sondern die Grundlagen für eine spirituelle Hilfe für bestimmte Individuen sind philosophisch aus dem Wesen der Menschen her zu bestimmen, unabhängig von ihrem religiösen Verständnis, ihrer Kulturzugehörigkeit, ihrem Geschlecht. Menschen, die nicht an einen Gott glauben, haben keine spirituelle Zuflucht in dem Verständnis, dass Gott ihnen Strafe auferlegt und er alles richten wird, wobei im Jenseits die Erlösung komme. Der generelle Bezugspunkt weltanschaulicher Lebenshilfe ist die soziale Organisation der Menschen, die human zu gestalten ist, um soziale Hilfe dafür zu leisten, Lebenskrisen zu bewältigen. Keiner sollte nach dem Solidaritätsprinzip mit seinen Sorgen und Problemen allein gelassen werden. Doch wo das Geld regiert, werden Menschen mit Schwierigkeiten zum Kostenfaktor, der zugleich ein Störfaktor für das Funktionieren der Kapital-Diktatur werden kann. So stehen sich Humanität und Antihumanität entgegen. Wer Menschen weltanschaulich helfen will, muss sich auf die humanistische Seite stellen und sich für die Durchsetzung von Humankriterien einsetzen.

Menschen können unter konkret-historischen Bedingungen ihrer sozialen Organisation ihre Lebensbedingungen effektiver und humaner gestalten. Zielbestimmungen, Wahl der Mittel, das Verhalten zu bestehenden Normen als Wertmaßstab und Verhaltensregulator sowie die Gestaltung und Entwicklung neuer Werte und Normen bringen jedes Individuum in komplizierte Entscheidungssituationen. Das sind Verhaltensalternativen auf der Grundlage von Möglichkeitsfeldern des Geschehens. Sie sind direkt oder indirekt mit der Erhaltung der Gattung und der Erhöhung der Lebensqualität verbunden, betreffen die Verantwortung für eigenes Handeln und können Schuld begründen. Da alle Individuen in informellen Gruppen, sozialen Schichten, politischen Vereinigungen und Gesellschaftssystemen existieren, sind sie an Entscheidungssituationen der verschiedensten Art beteiligt. Teilweise delegieren sie ihre Entscheidungsrechte an Entscheidungsgremien. Das enthebt sie nicht ihrer Verantwortung. Diese Gremien sind zu kontrollieren und, wenn notwendig, abzuberufen. Möglichkeiten dazu gibt es in unterschiedlichem Maße. Eine komplexe Persönlichkeitstheorie hat sich so vielen aktuellen Herausforderungen zu stellen.

6. Fazit: Leistungen und verdiente Ehrungen

In der WIKIPEDIA wird zu den Leistungen und Ehrungen von Friedhart Klix u.a. festgestellt:

"Klix lebte über Jahrzehnte eine interdisziplinäre und international orientierte Forschungsweise vor, sein Team umfasste neben Psychologen beispielsweise auch Mathematiker, Ingenieure, Physiker, Biologen und Philosophen. 38 Professoren sind aus dieser Forschungsgruppe hervorgegangen. Friedhart Klix wurde 1969 mit dem Nationalpreis der DDR 3. Klasse ausgezeichnet. 1987 wurde ihm die Ehrendoktorwürde der Universität Salzburg verliehen. 1988 erhielt er den Ehrentitel "Hervorragender Wissenschaftler des Volkes". 1988/89 war Klix erster Fellow aus der DDR am Wissenschaftskolleg zu Berlin."

Weiter wird seine internationale Tätigkeit gewürdigt:

"Friedhart Klix gehörte dem Exekutivkomitee der "International Union of Psychological Sciences' (IUPS) an, die anlässlich ihres Weltkongresses in Mexiko-City (1976) beschlossen hatte, den XXII. Internationalen Kongress für Psychologie 1980 in Leipzig auszurichten. So war Klix auch maßgeblich an der Ausrichtung des Kongresses beteiligt und verhinderte eine ideologische Vereinnahmung dieser Veranstaltung weitestgehend. Als Präsident dieses Kongresses wurde er in Leipzig für den Zeitraum von 1980 bis 1984 auch als erster Deutscher seit dem Zweiten Weltkrieg zum Präsidenten der IUPS gewählt. Aus dieser Position heraus gelang ihm die Aufnahme der Psychologischen Gesellschaft als Mitglied der Vereinigung aller internationalen naturwissenschaftlichen Gesellschaften. Zwischen 1982 und 1988 wurde von der IUPS und des ICSU (International Council of Scientific Union), ein Projekt zur Mensch-Rechner-Interaktion, von einer Projektgruppe aus den Bereichen Grundlagen der Psychologie und Arbeits- und Ingenieurpsychologie unter Leitung von F. Klix und H. Wandke durchgeführt. Die DDR-Psychologie lag auch auf Grund der dort gewonnenen Erkenntnisse und der besonderen Rolle von F. Klix für Jahrzehnte im internationalen Ansehen weit vor der westdeutschen Kognitions-Psychologie." (WIKI-PEDIA 2017)

Als im Präsidium der Leibniz-Sozietät mit den Vertretern der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik über das Kolloquium zu Ehren von Georg Klaus, der 2002 seinen 90. Geburtstag gefeiert hätte, gesprochen wurde, informierte der Geschäftsführer, Herr Piotrowski, darüber, dass das Kolloquium auch zum Anlass genommen werde, den Wiener-Schmidt-Preis für herausragende Leistungen auf dem Gebiet der Kybernetik zu verleihen. Es wäre sicher gut, wenn das ein Mitglied der Leibniz-Sozietät sein könnte. Ich schlug dafür Friedhart Klix vor, dessen kybernetische Arbeiten ich sehr schätzte, weil sie einen neuen Zugang zur Erforschung psychischer Prozesse eröffneten. An-

dere stimmten zu. Dem Komitee für die Preisverleihung schien der Vorschlag ebenfalls begründet zu sein und so wurde Friedhart im November 2002 mit diesem Preis geehrt.

Am 1.2.2001 schrieb ich ihm als Präsident der Sozietät folgenden Brief, der meine persönliche Achtung für die Leistungen und meinen Dank für die Unterstützung der Sozietät zum Ausdruck bringt:

"Lieber Friedhart,

wie ich aus der Presse erfuhr, hat die Deutsche Gesellschaft für Psychologie Dich für Dein Lebenswerk geehrt. Zu dieser verdienten Auszeichnung Deiner wissenschaftlichen Leistungen gratuliere ich im Namen der Mitglieder der Leibniz-Sozietät recht herzlich. Durch Deine umfangreichen und soliden Arbeiten zur Psychophysik kognitiver Prozesse, zur Entwicklung kreativen Denkens, zur mathematischen Durchdringung und experimentellen Fundierung der Psychologie hast Du nicht nur nationale und internationale Anerkennung unter den Vertretern Deines Faches gefunden, sondern auch darüber hinaus entscheidende Beiträge zur Erkenntnis komplexer Prozesse geleistet, wobei Deine Fähigkeit deutlich wurde, Detailwissen in größere Zusammenhänge einzuordnen. Ein Beispiel dafür ist, neben anderen Werken, das, mit Karl Lanius als Mitautor, publizierte Buch "Wege und Irrwege der Menschenartigen".

Für die Sozietät nutze ich die Gelegenheit, um Dir für die ständige Unterstützung unserer Arbeit zu danken. Durch Vorträge und Diskussionsbemerkungen, durch Vorschläge zur Verbesserung der Arbeit, durch Dein Wirken in verschiedenen Gremien und durch Deine Hilfe bei der Zuwahl hast Du sehr viel getan, um die Reputation der Sozietät zu erhöhen. Du weißt von dem hohen Ansehen, dass Du bei den Mitgliedern beider Klassen genießt. Deine Auszeichnung erhöht auch den wissenschaftlichen Ruf der Leibniz-Sozietät, denn eine solche Gelehrtenvereinigung ist auf die Ergebnisse der Arbeiten ihrer Mitglieder angewiesen, um einen entsprechenden Platz im wissenschaftlichen Leben des Landes einzunehmen. Wir sind stolz darauf, dass Du Mitglied der Sozietät bist.

Als Wissenschaftsphilosoph habe ich mich stets für Deine Arbeiten interessiert. Ich denke gern an viele interessante öffentliche Debatten und persönliche Gespräche, aus denen ich immer, bereichert mit neuem Wissen und mit wichtigen Fragen, genügend Stoff zum Nach- und Weiterdenken hatte. Gerade die Sicht auf größere Zusammenhänge hat Dich nicht selten zur Behandlung philosophischer Fragen geführt, auf die Du Antworten gesucht und gefunden hast. Dafür danke ich Dir ebenfalls.

Wir wünschen Dir und uns weitere Erfolge in der Wissenschaft und die Kraft, mit den Tücken des Lebens umzugehen." (Hörz, H. 2005, S. 227ff.)

Manches, was Friedhart Klix für eine komplexe Theorie der Persönlichkeit vorausdachte, ist realisiert. Doch stets sind neue Probleme zu lösen, für die das methodische Herangehen von Klix, sowohl Bottom-up mit Elementaranalysen, Experimenten und naturwissenschaftlichen Einsichten, als auch Top-down mit Psychologie, Mathematik, Geschichtskenntnissen und philosophischem Verständnis, Vorbild sein kann.

Literatur

- Facebook~(2017):~https://www.tagesschau.de/ausland/facebook-267.html~(Zugriff~22.04.2017)
- Hirnforschung (2017): http://gehirn-und-denken.de/gedankenlesen/ (Zugriff 22.04.2017)
- Hörz, Helga E.; Hörz, Herbert (2013): Ist Egoismus unmoralisch? Grundzüge einer neomodernen Ethik. Berlin: trafo Verlag
- Hörz, Helga E.; Hörz, Herbert (2014): Transhumanismus: Ist der zukünftige Mensch ein Avatar? In: Welf Schröter (Hg.): Identität in der Virtualität. Einblicke in neue Arbeitswelten und 'Industrie 4.0' Beiträge zum 60. Geburtstag eines Netzwerkers "Sammlung Kritisches Wissen". Mössingen: Talheimer Verlag, S. 242–285
- Hörz, Helga E.; Hörz, Herbert (2015): Ist der Transhumanismus eine Real-Utopie? Visionen und Kritik. In: Marxistische Blätter, 6, S. 84–93
- Hörz, Herbert (1976, 2015): Mensch contra Materie? Standpunkte des dialektischen Materialismus zur Bedeutung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse für den Menschen. Berlin: Verlag der Wissenschaften 1976. Vorwort von 2015 (http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/Hoerz Mensch contra Materie.pdf)
- Hörz, Herbert (2005): Lebenswenden. Vom Werden und Wirken eines Philosophen vor, in und nach der DDR. Berlin: trafo Verlag
- Hörz, Herbert (2009): Materialistische Dialektik. Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung. Berlin: trafo Verlag
- Hörz, Herbert (2011): Beherrschen wir die neuen Gestaltungsmittel? Philosophisches zur Beziehung von menschlicher und künstlicher Intelligenz (http://www.leibniz-institut.de/kt 2011/hoerz manuskript.pdf)
- Hörz, Herbert (2015): Ist Psychisches auf Physisches zu reduzieren? Leibniz-online 2015, Nr. 18 (http://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2015/04/hoerz.pdf)
- Hörz, Herbert; Krause, Werner; Sommerfeld, Erdmute (2016): Sind komplexe Systeme einfach? Bilanz des Arbeitskreises "Prinzip Einfachheit". In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 125/126. Berlin: trafo-Verlag, S. 7–24
- HUB (2017): https://www.psychologie.hu-berlin.de/de/institut/geschichte/klix (Zugriff 20.04. 2017)
- Klix, Friedhart (1980): Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Klix, Friedhart (1992): Die Natur des Verstandes. Göttingen: Hogrefe

- Klix, Friedhart (1993): Erwachendes Denken Geistige Leistungen aus evolutionspsychologischer Sicht. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- Klix, Friedhart (1995): Stabilität und Wandlungen in geistigen Dispositionen des Menschen. Vortrag, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 20. Januar 1994. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 2 (1995) 1/2. Berlin: trafo-Verlag, S. 5–40
- Klix, Friedhart (2004): Information in Evolution und Geschichte. In: Krause Bodo; Krause, Werner (Hg.): Psychologie im Kontext der Naturwissenschaften. Beiträge zur menschlichen Informationsverarbeitung. Festschrift für Friedhart Klix zum 75. Geburtstag. Ehrenkolloquium der Leibniz-Sozietät im November 2002 in Berlin. In: Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 12. Berlin: trafo-Verlag, S. 27–48
- Klix, Friedhart; Lanius, Karl (1999): Wege und Irrwege der Menschenartigen. Festvortrag zum Leibniz-Tag 1999. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 33. Berlin: trafo-Verlag, S. 5–32
- Open-mind-akademie (2017): https://open-mind-akademie.de/warum-hochsensitive-menschen-leicht-gedanken-lesen-koennen/ (Zugriff 22.04. 2017).
- Sommerfeld, Erdmute; Hörz, Herbert; Krause, Werner (Hg.) (2010): Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 108. Berlin: trafo-Verlag
- Sommerfeld, Erdmute; Krause, Werner (2013): "Objektiv, aber speziell": Psychologie als Naturwissenschaft. Vortrag in der Klasse für Sozial- und Geisteswissenschaften der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 11.04.2013 (http://leibnizsozietaet.de/wpcontent/uploads/2013/06/Vortrag-Sommerfeld_Krause_2013_04_11.pdf)
- Sprung, Lothar; Sprung, Helga (2010): Eine kurze Geschichte der Psychologie und ihrer Methoden. München, Wien: Profil Verlag
- WIKIPEDIA (2017): Artikel Friedhart Klix. (https://de.wikipedia.org/wiki/Friedhart_Klix; Zugriff am 18.07.2017)
- Wörterbuch (1997), Hörz, Herbert; Liebscher, Heinz; Löther, Rolf; Schmutzer, Ernst; Wollgast, Siegfried (Hg.): Philosophie und Naturwissenschaften. Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften. Sonderausgabe in einem Band nach der dritten, vollständig überarbeiteten Auflage von 1991. Bonn: Pahl-Rugenstein Nachfolger
- Zander, Michael (2012): Kritischer Psychologe. Wissenschaft. Der Marxist Klaus Holzkamp wäre heute 85 Jahre als geworden. In: Junge Welt vom 30.11.2012, S. 10

Werner Krause

"Gesetz und Experiment in der Psychologie" – zum Gedenken an Friedhart Klix, der am 13.10.2017 90 Jahre geworden wäre

Vom 7. bis 9. April 1961 fand in Jena das III. DDR-Kolloquium der Psychologen statt. Es stand unter dem Thema "Gesetz und Experiment in der Psychologie". Den gleichen Titel hat Friedhart Klix für seinen programmatischen Beitrag auf diesem Kolloquium gewählt. Sein Text beginnt mit folgenden Worten:

"In der gegenwärtigen internationalen Entwicklung der Psychologie, wie sie sich in den führenden Fachzeitschriften niederschlägt und wie sie auch auf dem XVI. Internationalen Kongress für Psychologie zum Ausdruck kommt, finden wir einen unverkennbaren Zug zur Vereinheitlichung einiger Grundannahmen über die Natur und die Eigenarten psychischen Geschehens."

41 Jahre später führte die Leibniz-Sozietät anlässlich seines 75. Geburtstages ein Ehrenkolloquium durch. Paul Baltes, der damalige Vizepräsident der Leopoldina, formuliert in seiner Laudatio (Band 12 der Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, 2004):

"Er steht in der Reihe der großen deutschen Psychologen wie Ebbinghaus und Fechner, sein Werk entsprechend in der Tradition der internationalen Blütezeit der deutschen Psychologie im späten 19. und beginnenden 20. Jahrhundert."

Wie kam es zu dieser Entwicklung?

Friedhart Klix, Jahrgang 1927, erlebt noch als 17-jähriger Kriegsteilnehmer die Sinnlosigkeit des Krieges, gerät in britische Gefangenschaft, flieht, arbeitet in seinem Dorf Friedersdorf in der Lausitz als Neulehrer, holt das Abitur nach und studiert in Berlin Mathematik, hört Geschichtsvorlesungen und Vorlesungen über griechische Philosophie und entscheidet sich schließlich für Psychologie bei Professor Gottschaldt. Seine Dissertation bei Gottschaldt "Über die Größenkonstanz der Sehdinge bei Eigenbewegung des Wahrnehmenden" war offenbar ein Einschnitt in seinem wissenschaftlichen Denken. Er behandelte die Frage "Ist die Größenkonstanz invariant gegen-

42 Werner Krause

über Geschwindigkeit und Bewegungsweise des Wahrnehmenden im Raum?" und sein Ergebnis lautet: Nein, keine Invarianz. Vielmehr muss der *Prozess* in seiner ganzen Komplexität betrachtet werden. Die Eigenschaften sind Bestandteile des Informationsverarbeitungsprozesses und keine singulären Dinge. Noch deutlicher formuliert er diesen Gedanken des funktionalen Zusammenhanges in seiner Habilitation "Elementaranalyse zur Psychophysik der Raumwahrnehmung": Die nichteuklidische Struktur des Wahrnehmungsraumes lässt sich nicht aus den molaren Wahrnehmungsphänomenen" ableiten.

Diese Einsicht in eine prozessuale Analyse führt ihn zur Kybernetik, deren Grundanliegen bekanntlich der Regelungs- und Steuerungsprozess ist. Er schreibt (Klix 2004):

"Die Bücher von Norbert Wiener über Kybernetik, von Shannon, Feinstein sowie Jaglom & Jaglom über Informationstheorie, von von Neumann & Rosenstern über Spieltheorie und schließlich die Arbeiten von Markow, Bar Hill, Kämmerer u.a. über Algorithmentheorie weckten in mir die Vermutung, dass in der Synthese dort gefundener Gedankengänge auch Neues für die Psychologie entstehen könnte."

Wer neue Wege beschreitet, der erzeugt auch Gegenwind. So war es auch in seinem Fall. Die bei Professor Fischel in Leipzig eingereichte Habilitation wurde mit der Begründung abgelehnt, er sei durch seine

"Beschäftigung mit Informationstheorie, Algorithmentheorie und Systemtheorie der Psychologie so weit entfremdet, dass eine Habilitation in Sachen Psychologie nicht mehr infrage käme." (Klix 2004)

Die Habilitation fand dann bei Professor Straub an der TU Dresden statt.

Im Jahre 1960 fand in der Deutschen Akademie der Wissenschaften ein großer Kybernetikkongress statt, auf dem sein Vortrag "Über die Eignung von Markowketten für die Analyse von Lernprozessen" eine hohe Resonanz erzielte. Dies war möglicherweise ein Startschuss für die Förderung seines Ansatzes durch Anerkennung in den Naturwissenschaften, den er zunächst kybernetische Psychologie, sodann aber *Psychophysik kognitiver Prozesse* nannte, verknüpft mit einer kleinen Gruppe gleichen Namens am Psychologischen Institut der Humboldt-Universität.

Es war nicht nur die Thematik, die uns alle antrieb: die Mathematisierung kognitiver Prozesse, es war auch die damalige Atmosphäre, die Aufbruchstimmung, die Friedhart Klix schuf und forderte. Ich erinnere mich an eine Begebenheit im Januar 1964 im Psychologischen Institut der Humboldt-Universität. Eines Morgens rief Friedhart Klix uns junge Assistenten, den Psychologen Lothar Sprung, den Mathematiker Hubert Sydow, den Phy-

siker Hans-Georg Geißler, den Ingenieur Klaus-Peter Timpe und mich in sein Zimmer. Er eröffnete die Besprechung sinngemäß mit den Worten:

"Wir müssen raus aus der Provinzialität. Wir werden im Herbst diesen Jahres (1964) ein Internationales Symposium veranstalten. Herr Geißler, worüber wollen sie sprechen?, Herr Sydow, worüber wollen Sie sprechen?, Herr Sprung, worüber Sie?, Herr Timpe, worüber wollen Sie sprechen?."

Jeder nannte ein Thema. Dann wandte er sich zu mir: "Herr Krause, Sie sind erst ein halbes Jahr da. Sie sagen mir morgen Bescheid."

Schon frühzeitig ergriff Friedhart Klix die Initiative, ein Internationales Symposium im Rahmen der Deutschen Akademie der Wissenschaften einzuberufen. So kam es zu der Tagung 1964. Namhafte Wissenschaftler aus England, den USA, der damaligen Bundesrepublik, der damaligen Sowjetunion, Polen, Frankreich, der Schweiz, Holland, Japan, Österreich, Ungarn, Rumänien und der CSSR waren gekommen und hatten vorgetragen. Diese internationale Resonanz sollte sich intensivieren. Ein Höhepunkt war die Vergabe des Weltkongresses 1980 nach Leipzig.

In dieser Zeit der sechziger Jahre gab es in unserer kleinen Gruppe eine intensive Vortragstätigkeit über Kodierungsprozesse, über subjektive Metriken und deren Veränderung zur Beschreibung von Denkprozessen (Hubert Sydow), über das dynamische Verhalten von Bezugssystemen der Wahrnehmung und deren Beschreibung durch das normierte Faltungsintegral (Hans-Georg Geißler), über die Nutzung von Merkmalsvektoren und deren Veränderungen zur Beschreibung des Begriffserwerbs (Lothar Sprung), über lernabhängige sensomotorische Trackingleistungen und ihre Beschreibung durch zeitvariable Übertragungsfunktionen (Klaus-Peter Timpe), über die Nutzung von Markowprozessen zur Beschreibung des Strategieerwerbs im Problemlösen (eigene Arbeit) und vieles andere mehr. Über allem stand Friedhart Klix mit seiner Psychophysik kognitiver Prozesse, korrigierte, bündelte und gab die strategische Richtung vor (Klix 1968). Nur in diesem "Schmelztiegel" konnte sich interdisziplinäre Zusammenarbeit entwickeln, eine der Grundvoraussetzungen für die später entstandenen "Elementaranalysen menschlicher Informationsverarbeitung".

Friedhart Klix befasste sich zunächst mit der algorithmischen Beschreibung von Denkleistungen und der damit verbundenen Analyse von Strategien. Schließlich gelang dadurch auch eine Simulation von Problemlöseleistungen. Bis auf den Existenznachweis entstand aber zunächst nichts Neues. Aber schon bald erfolgte eine Konzentration auf Begriffe und Sprache, angeregt durch Bruner, Goodnow und Austin's "A study of thinking". In die-

44 Werner Krause

sem Buch wurden Klassifizierungsleistungen hinsichtlich ihrer logischen Struktur vorgestellt, es gab aber keine experimentellen Ergebnisse dazu. Mit den Arbeiten von Banerji vom MIT, vorgetragen auf dem Internationalen Symposium 1964, etablierte sich auch in Berlin die Vorstellung der Repräsentation von Begriffen durch Merkmalsvektoren. Die offene Frage war jedoch, in welcher Weise beim Erwerb von Begriffen die Merkmale miteinander verknüpft werden. Die zusammen mit Karin Goede durchgeführten Experimente lieferten eine algorithmische Beschreibung von Begriffsbildungsprozessen, wobei die wesentlichen Eigenschaften in der Adaptivität lagen: im Experiment wurde der Wechsel zwischen verschiedenen logischen Begriffsstrukturen (konjunktive und disjunktive) gefunden. Die experimentellen Ergebnisse schufen die Voraussetzung für die Entwicklung eines lernfähigen Klassifizierungsverfahrens, das von Fritz Wysotzki und seinen Kollegen im 1969 gegründeten Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse erarbeitet wurde. Dies war zugleich ein Beleg dafür, wie sich experimentelle Ergebnisse der kognitiven Psychologie in praktisch nützliche Verfahren der Künstlichen Intelligenz umsetzen ließen. Natürlich waren adaptive Klassifizierungsverfahren aus der Künstlichen Intelligenz bekannt. Erinnert sei hier nur an das von Siegfried Unger installierte Verfahren der Ausbildung von Hyperebenen im mehrdimensionalen Raum. Die Vor- und Nachteile beider Verfahren konnten so im ZKI gegenüber gestellt werden. Ihre jeweiligen Vorzüge lagen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern. Schließlich gingen aus diesen Forschungen auch die adaptiven Diagnoseverfahren für die Medizin hervor.

Aber noch immer waren die Forschungen im strukturellen Bereich angesiedelt. In dem schon fast legendären Beitrag von Friedhart Klix und Bodo Krause über "den Begriff Struktur in der Psychologie..." von 1969 spiegelte sich auch die Bedeutung wider, die einem solchen zentralen Begriff entgegen gebracht wurde. Aber, so schreibt Friedhart Klix (Klix 2004):

"Es gab nirgendwo einen Durchbruch zu neuen Ufern. Es war eine Grenze erreicht wie bei den Propellerflugzeugen die Schallmauer.... Erst die Düsenkonstruktion erlaubte höhere Geschwindigkeiten. War ein analoger Durchbruch möglich? Ich war überzeugt: Ja. Und zwar dann und nur dann, wenn die Semantik in der Begriffsbildung mit erfasst werden kann. Aber das geht nicht bei Isolierung der Begriffe oder wie bei singulären logischen Strukturen. Semantik ist eingebettet in Kontexte (Klix & Hoffmann, 1980). Und die sind mit der Benutzung natürlicher Sprache und ihrer Bedeutungsnetze im Gedächtnis verbunden."

Mit diesem Einbeziehen der Semantik eröffnet sich eine neue Perspektive in seiner Forschung. Aber kontinuierlich knüpft er an die Elementaranalyse zur Begriffsbildung an und zeigt im Experiment, dass es nicht nur eine Klasse von Begriffen gibt und dass Relationen zwischen ihnen eine wichtige Rolle spielen.

Zwei Klassen von Begriffen werden unterschieden, die im menschlichen Gedächtnis verankert sind:

- Objektbegriffe wie Schuh, Birke usw., die Objektmengen durch ihre Merkmale binden und damit auch repräsentiert werden.
- Ereignisbegriffe wie Kaufen, Jagen usw., die Ereignisse fixieren und durch ihre semantischen Relationen repräsentiert werden.

Die Ereignisfolgebegriffe wie Schlachten → Verspeisen, die durch raumzeitlich gebundene Relationen im Gedächtnis fixiert sind, spielen als Unterklasse der Ereignisbegriffe eine wichtige Rolle.

Entscheidend dabei ist, dass unterschiedliche Begriffsklassen im Gedächtnis unterschiedlich repräsentiert sind und dass diese unterschiedlichen Repräsentationen mit unterschiedlichen Verarbeitungszeiten verknüpft sind. Diese unterschiedlichen Verarbeitungszeiten bilden die Grundlage für ihre Unterscheidung (zum einen ist die Verarbeitungszeit eine Funktion der Merkmalsmenge, zum anderen eine Funktion der Anzahl der "freien Bindungsarme" einer Struktur). Klix und seine Mitarbeiter finden eine mittlere Erkennungszeit von 226 Millisekunden für einen Merkmalsvergleich, d.h. beim Vergleichen von Begriffen, die sich in einem Merkmal unterscheiden. Diese Zeit für eine kognitive Operation lässt sich erstaunlich gut mit der Zeitquantenhypothese von Hans-Georg Geißler in Übereinstimmung bringen: die Zeit für eine kognitive Operation (hier Vergleich von Merkmalen) ist ein ganzzahliges Vielfaches einer Grundzeit, die Geißler aus perzeptiven Prozessen erschlossen hat. Hier schimmert bereits der Anspruch nach Anforderungsinvarianz durch. Bezüglich der Invarianz sei auf den Beitrag von Bodo Krause verwiesen.

Mit dieser Bestimmung einer festen Zeit für eine kognitive Operation beim Merkmalsvergleich macht sich auch der Gedanke breit, es müsste molare Einheiten geben, deren Verknüpfung eine Anforderungsbewältigung ausmacht. In seinem 1992 erschienen Buch "Die Natur des Verstandes" sind diese Ideen entwickelt. Im Vorwort dazu schreibt er:

"Bemerkenswert ist …, wie immer wieder Grundmuster bei der Konstruktion kognitiver Gebilde kenntlich werden, die ihren Ursprung in adaptiven Vorgängen gegenüber einer im ganzen undurchsichtigen Welt haben. Sie zeigen sich auf ähnliche Weise bei der Konstruktion von Wegen in unbekanntem Terrain, bei der Bildung von Sätzen, im Umgang mit Zahlen, beim logischen Schließen

46 Werner Krause

und selbst bei der Konstruktion von Werkzeugen oder Gerätschaften. Das wird in vielen Beispielen deutlich, und es nährt dies den Verdacht, dass hinter dieser Vielfalt geistiger Phänomene relativ wenige, vermutlich einfach und klar ausdrückbare Grundgesetze stecken, die heute noch niemand kennt, die aber ein verlockendes Ziel für eine Psychologie geistiger Prozesse im nächsten Jahrhundert werden könnten. Wer dies als Erster erahnt haben mag, war wohl Descartes, als er schrieb (Evres, Bd. X, S. 360):

,Das menschliche Denkvermögen bleibt immer ein und dasselbe, wenn es sich auch den verschiedensten Gegenständen zuwendet, und es erfährt durch ihre Verschiedenheit ebensowenig eine Veränderung wie das Sonnenlicht durch die Mannigfaltigkeit der Gegenstände, die es bestrahlt.""

Vergleicht man das 1971 erschienene Buch "Information und Verhalten" mit dem nahezu 20 Jahre später erschienen Buch "Die Natur des Verstandes", so fällt deutlich die Änderung in der Betrachtungsweise auf: während in "Information und Verhalten" die Unterteilung nach den verschiedenen Anforderungen wie Wahrnehmen, Klassifizieren, Begriffsbildung, Problemlösen, Textverstehen mit ihren unterschiedlichen mathematischen Beschreibungsmöglichkeiten erfolgt, spiegelt sich in "Natur des Verstandes" die Suche nach Modularem und Prozessualem wieder, Größen also, die in der menschlichen Informationsverarbeitung bei den unterschiedlichsten Anforderungen immer wieder auftauchen.

In "Die Natur des Verstandes" formuliert und begründet er sechs kognitive Operationen, die in jeweils vollkommen verschiedenen Anforderungen auftauchen:

- Aktivation.
- Inhibition, (man denke hier z.B. an den Bildstufentest nach Norbert Roth [Roth 1990]): bei der Bilderkennung werden zunächst im Sinne der Erwartung viele Möglichkeiten aktiviert und später im unmittelbaren Moment des Erkennens alle bis auf eine Möglichkeit unterdrückt).
- Substitution.
- Transformation.
- Projektion,
- Inversion.

und vier Klassen kognitiver Prozeduren, die er an anderer Stelle auch Universalien des Denkens (Klix/Lanius 1999, S. 100) nennt: "Es sind Standardleistungen sozusagen, die mit ihren Resultaten ein Gutteil menschlichen geistigen Alltags ausmachen... und die in unterschiedlich komplexen Regionen mentaler Strukturbildungen wirksam sein können." (Klix 1992, S. 270)

- Vergleichsprozeduren (z.B. beim Wahrnehmen (Gleich/Ungleich) und Urteilen oder beim Lösen von Inferenz- durch Vergleichsprozesse),
- Verkettungsprozeduren (z.B. bei der Strategiebildung oder bei der Verkettung von Zuständen zur Messung der Effektivität im Gruppenkommunikationsprozess (Gundlach/Schulz 1987),
- Verdichtungsprozeduren (z.B. beim Klassifizieren und Finden von Oberbegriffen oder bei der evolutionären Herausbildung des Zahlbegriffes),
- Verkürzungsprozeduren (zur Vereinfachung komplizierter Gebilde oder Prozessverläufe, z.B. bei der Ersetzung der Addition durch Multiplikation).

Diese Universalien zeichnen sich durch ihre Anforderungsinvarianz aus und sind durch ihre evolutionäre Herausbildung begründet (Klix 1993).

Mit solchen Überlegungen zu modularen Einheiten verknüpft Friedhart Klix in logischer Konsequenz die Frage nach einer mentalen Grammatik, also nach einem Regelsystem, das die Verknüpfung kognitiver Operationen steuert. Um noch einmal aus seinem Buch "Die Natur des Verstandes" zu zitieren:

"So könnte es doch sein, …, dass es eine mentale Grammatik gibt, die aus originären kognitiven Operationen besteht und die im lexikalischen Bereich ebenso ansetzen wie beim konstruierenden Denken und die anders, womöglich einfacher funktionieren, als es die logisch-systematische Strukturbildung der grammatischen Lehrbücher nahelegt."

Aber zu einer mentalen Grammatik kam es nicht mehr.

Was für ein Weg von der "algorithmischen Beschreibung einer Denkanforderung" bis zu den Universalien des Denkens!

Und dennoch: eine Theoretische Psychologie gibt es nicht, aber der Architekt hat die Baupläne vorgelegt. Nun muss das Gebäude errichtet werden und dafür gibt es Ansätze: Die sechs kognitiven Operationen sind empirisch bestimmt. Eine Vollständigkeitsbetrachtung ist bislang nicht möglich. Für eine spezifische Klasse von Anforderungen, den deduktiven Inferenzen bei Ordnungsproblemen, hat Erdmute Sommerfeld (Sommerfeld 1994) eine Vollständigkeitsbetrachtung für die Transformation kognitiver Strukturen vorgelegt. Bezüglich der Generalisierung sei auf ihren heutigen Vortrag verwiesen.

Am Ende seines Lebens packt Friedhart Klix noch einmal große Themen an: die evolutionäre Begründung kognitiver Prozesse sowie die Herausbildung von Weltbildern in der Geschichte. Ein geplantes Buch "Wissen

48 Werner Krause

und Glauben", das sich mit der Wandlung von Weltbildern in der Geschichte befassen sollte, konnte er nicht mehr fertig stellen.

In dem letzten Buch "Wege und Irrwege der Menschenartigen" (Klix/ Lanius 1999) zusammen mit Karl Lanius setzen sie sich mit Wissen und Macht auseinander. Sie schreiben:

"Aber auch Wissen ist Macht … Warum kann sich das nicht durchsetzen? Deshalb nicht, weil diese Macht ein Weltbild symbolisiert und so nur indirekt besteht. Erst dann, wenn dieses Wissen eingesetzt werden kann, die Macht der Mächtigen zu beeinflussen, erst dann besteht die Chance, dass sich besseres Wissen durchsetzen kann. Wenn nicht, wird auch besseres Wissen scheitern. Der umgekehrte Weg, erst die Macht zu nehmen und dann das Wissen einzusetzen, dieser Weg ist schon zu oft in der Geschichte gescheitert als dass man darauf noch Hoffnung setzen sollte."

Eine Laudatio für einen Wissenschaftler und Hochschullehrer muss hierzulande die *Anzahl* seiner Bücher, die Anzahl seiner in fremde Sprachen übersetzten Monografien, die Anzahl seiner Publikationen in führenden wissenschaftlichen Zeitschriften, die Anzahl der von ihm betreuten Dissertationen und Habilitationen usw. enthalten. Friedhart Klix hat solche Zahlenangaben nie gemocht. Aber eine Zahl nannte er – und wer ihn genau kannte, spürte den Stolz in seiner Stimme. Er sagte: "Aus meinem Institut sind 36 Professoren hervorgegangen."

Lassen Sie mich auf den Ausgangspunkt meines Vortrages zurückkommen, zu jenem legendären Beitrag von Friedhart Klix aus dem Jahre 1961: "Gesetz und Experiment in der Psychologie". Dort schreibt er im Abschnitt über Grundstrukturen psychischer Prozesse und die allgemeine Charakterisierung von Verlaufsgesetzen:

"Gehen wir vom allgemeinen Vorgang der Wechselwirkung (zwischen Mensch und Umgebung WK.) bei der Kennzeichnung psychischer Prozesse aus, so lassen sich genau drei Verlaufsformen unterscheiden:

- (1) Prozesse mit Entropieaufbau;
- (2) Prozesse mit konstanter Entropie;
- (3) Prozesse mit Entropieabbau."

Für den Fall (3) Prozesse mit Entropieabbau formuliert er aus:

"Alle Formen von Lernprozessen… die Entwicklung der Sprache und des Denkens wie alle Formen des produktiven Denkens,… alle Formen der schöpferischen Tätigkeit, der Ausbildung von Werthaltungen, Weltanschauungen und Überzeugungen…".

Etwa 50 Jahre später konnte ein Vorschlag für die *Messung* des Entropieabbaus im Denken (Heinrich 1997; Krause 1991, 2017a; Krause et al. 2003; Schack 1997; Seidel 2004) vorgelegt werden: Mathematisch Hochbegabte weisen einen höheren Entropieabbau auf als Normalbegabte innerhalb der ersten zehn Sekunden beim Lösen eines mathematischen Problems. Wir haben vor einem Jahr an dieser Stelle darüber gesprochen (Krause 2017b). Dieser Vorschlag zur Messung des Entropieabbaus im Denken ist von Li Zhang (Li Zhang 2017) in China in diesem Jahr bestätigt worden.

Literatur

- Geissler, Hans-Georg (1968): Zur Analyse des dynamischen Verhaltens von Bezugssystemen der menschlichen Wahrnehmung. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 75–105
- Geissler, Hans-Georg (1991): Zeitcodekonstanten ein Bindeglied zwischen Psychologie und Physiologie bei der Erforschung kognitiver Prozesse? Hypothesen und Überlegungen zu Quantenstrukturen in der Alphaaktivität des Gehirns. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 199, S. 121–143
- Geissler, Hans-Georg (1992): New magic numbers in mental activity: On a taxonomic system for critical time periods. In: Geissler, Hans-Georg; Link, S. W.; Townsend, J. T. (eds.): Cognition, Information Processing and Psychophysics. Hillsdale: Erlbaum, pp. 293–321
- Geissler, Hans-Georg (1994): Über Möglichkeiten zeitlich-diskreter Strukturierung in Wahrnehmung und Gedächtnis: Betrachtungen in Sachen "Zeitquanten". In: Dörner, Dietrich; van der Meer, Elke (Hg.): Das Gedächtnis. Göttingen: Hogrefe, S. 19–52
- Gundlach, Wilfried; Schulz, Gisela (1987): Ist die Effektivität von Problemlösungen aus Diskussionen voraussagbar? In: Psychologie für die Praxis, Jg. 4, S. 350–368
- Heinrich, Frank (1997): Diskussionsmaterial zur Untersuchung der Doppelrepräsentationshypothese und einige Bemerkungen aus mathematikdidaktischer Sicht (unveröffentlicht)
- Heinrich, Frank (2003a): Theoretische Analysen und empirische Erkundungen über das Wechseln von Lösungsanläufen beim Lösen mathematischer Probleme. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena (Habilitationsschrift)
- Heinrich, Frank (2003b): Zum Wechselspiel zwischen Geometrie und Arithmetik/Algebra als ein heuristisches Leitprinzip im (bzw. von) Mathematikunterricht. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften (Vortrag zur Habilitationsverteidigung)
- Heinrich, Frank (2003c): Zur Einführung. In: Der Mathematikunterricht. Zum Wechselspiel zwischen Figuren und Zahlen, Jg. 49/H. 6, S. 3–5
- Klix, Friedhart (1962): Gesetz und Experiment in der Psychologie. In: Probleme und Ergebnisse der Psychologie, H. III/IV, S. 1–36
- Klix, Friedhart (1968): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften

Klix, Friedhart (1968): Neue Ergebnisse und Entwicklungstendenzen in der kybernetisch-psychologischen Erforschung kognitiver Prozesse. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 9–74

- Klix, Friedhart (1971): Information und Verhalten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Klix, Friedhart (1992): Die Natur des Verstandes. Göttingen: Hogrefe
- KLix, Friedhart (1993): Erwachendes Denken. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- Klix, Friedhart (2004): Friedhart Klix. In: Lück, Helmut, Ekkehart (Hg.): Psychologie in Selbstdarstellung. Lengerich: Pabst Sciences Publishers, Bd. 4, S. 168–192
- Klix, Friedhart; Krause, Bodo (1969): Zur Definition des Begriffes "Struktur", seiner Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 176, S. 22–54
- Klix, Friedhart; Hoffmann, Joachim (1980): Cognition and Memory. Amsterdam u.a.O.: North Holland
- Klix, Friedhart; Lanius, Karl (1999): Wege und Irrwege der Menschenartigen. Stuttgart: Kohlhammer
- Krause, Bodo; Krause, Werner (Hg.) (2004): Psychologie im Kontext der Naturwissenschaften. Festschrift für Friedhart Klix zum 75. Geburtstag. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 12. Berlin: trafo verlag
- Krause, Werner (1968): Die Entstehung von Strategien und ihr Einfluß auf einen einfachen Problemlöseprozeß. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 137–158
- Krause, Werner (1970): Untersuchungen zur Komponentenanalyse in einfachen Problemlöseprozessen. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 177, S. 199–249
- Krause, Werner (1991): Ordnungsbildung im Denken und kognitiver Aufwand. In: Zeitschrift für Psychologie (Suppl.), Bd. 11, S. 404–421
- Krause, Werner (2017a): Processing of Information in Microstates. Results of an elementary analysis of human information-processing, reconsidered. In: Leibniz Online, Nr. 25, S. 1–26 (https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2017/01/WKrause-2.pdf)
- Krause, Werner (2017b): Entropiereduktion im Denken. In: Leibniz Online, Nr. 25, S. 1–16 (https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2017/01/WKrause-1.pdf)
- Krause, Werner; Seidel, Gundula; Heinrich, Frank (2003): Entropy reduction in mathematical giftedness. In: Lindemann, Udo. (ed.): Human Behaviour in Design. Berlin u.a.O.: Springer, S. 63–71
- Lander, Hans-Jürgen (1968): Strukturbildungsprozesse über Gedächtniseinheiten bei seriellem Lernen. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 197–215
- Roth, Norbert; Heine, A.; Borkhardt, A.; König, T.; Knye, Manfred (1990): Die Aktivierung gespeicherter Information Versuch einer psychophysischen Analyse des Gedächtnisabrufes. Vortragsmanuskript. Lerntagung an der Universität Halle-Wittenberg (unveröffentlicht)
- Schack, Bärbel (1997): Adaptive Verfahren zur Spektralanalyse Instationärer Mehrdimensionaler Biologischer Signale. Ilmenau: Technische Universität Ilmenau (Habilitationsschrift)

- Schack, Bärbel (1999): Dynamic Topographic Spectral Analysis of Cognitive Processes. In: Uhl, Ch. (ed.): Analysis of Neurophsyiological Brain Functioning. Berlin u.a.O., S. 230–248
- Schack, Bärbel; Krause, Werner (1995): Dynamic power and coherence analysis of ultra short-term cognitive processes a methodical study. In: Brain Topography, Bd. 8, S. 127–136
- Seidel, Gundula (2004): Ordnung und Multimodalität im Denken mathematisch Hochbegabter: sequentielle und topologische Eigenschaften kognitiver Mikrozustände. Berlin: WVB
- Sprung, Lothar (1968): Zur Analyse kognitiver Prozesse im Klassifizierungsverhalten. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 184–196
- Sprung, Lothar; Sprung, Helga (2010): Eine kurze Geschichte der Psychologie und ihrer Methoden. München u.a.O.: Profil Verlag
- Sommerfeld, Erdmute (1994): Kognitive Strukturen. Münster u.a.O.: Waxmann
- Sommerfeld, Erdmute; Krause, Werner (2013): "Objektiv, aber speziell": Psychologie als Naturwissenschaft. In: Leibniz Online, Nr. 15, S. 1–23 (http://www.leibnizsozietaet.de/wpcontent/uploads/2013/11/sommerfeld krause 2.pdf)
- Sydow, Hubert (1968): Versuche zur strukturellen und metrischen Darstellung von Problemzuständen in Lösungsprozessen. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 159–183
- Sydow, Hubert (1970): Zur metrischen Erfassung von subjektiven Problemzuständen und zu deren Veränderung im Denkprozeß II. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 178, S. 1–50
- Timpe, Klaus-Peter (1968): Ansätze zur Modellierung eingeübter sensomotorischer Prozesse (Das Regelverhalten des Menschen). In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 106–136
- Weinrich, Lutz (1968): Strukturanalyse des Wach-EEGs zur Charakterisierung psychophysiologischer Aktivität. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 216–228
- Zhang, Li (2017): Mitteilung per E-Mail am 08.08.2017

Wilfried Gundlach

Kognition und Kommunikation – Zum Gedenken an Friedhart Klix*

Liebe Kolleginnen und Kollegen, so kann ich Sie – die Studenten von damals – jetzt wohl nennen. Wir sind uns vor 50 Jahren das erste Mal begegnet. Sie begannen hier in Jena mit dem Psychologie-Studium, und Sie haben mich eingeladen, weil Sie, wie Sie in Ihrer Einladung schreiben, den Dozenten von damals sehr viel zu verdanken haben. – Ich habe etwas überlegt, ob ich diese Einladung annehmen kann, da heute und genau heute der 90. Geburtstag von Friedhart Klix ist, der zwar schon vor 13 Jahren verstorben ist, aber dieser Tag für einen Friedhofsbesuch in Berlin-Friedrichshagen geplant war.

Aber schließlich ist auch Jena mit dem Namen Klix verbunden. Die bereits in den zwanziger Jahren gegründete "Psychologische Lehranstalt" gab es infolge der Zerstörungen nach dem Zweiten Weltkrieg nicht mehr. Erst im Jahr 1960 wurde ein Institut für Psychologie unter der Leitung von Friedhart Klix neu gegründet und damit die Voraussetzung geschaffen für einen Lehrbetrieb schon ab 1961. Allerdings übernahm Friedhart Klix ab 1962 die Leitung des Instituts für Psychologie an der Humboldt-Universität zu Berlin an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät. In Jena wurde von da an ein Zentrum für Forschung und Lehre in der Sozialpsychologie an der Philosophischen Fakultät entwickelt. Ich erwähne die Fakultäten, weil das zu einigen Problemen führte, die auch den Lehrbetrieb betrafen, wenn es zum Beispiel, mein Thema damals, um die Grundlagen der Forschungsmethodik ging, die nach Auffassung einiger junger Mitarbeiter des Instituts an allen psychologischen Ausbildungsstätten in vergleichbarer Weise vermittelt werden sollten. Und dies wiederum erwähne ich, weil das zu meinen engeren Kontakten zu der erwähnten Berliner Einrichtung führte. Sie erinnern sich sicher an die Pflichtlektüre von damals "Gesetz und Experiment in der Psychologie" (vgl. Klix 1962). Seit den 60er-Jahren gewannen

^{*} Erweiterte Fassung einer Ansprache am 13. Oktober 2017 in Jena vor ehemaligen Studenten bei einem Absolvententreffen.

Kybernetik und Informationstheorie zunehmend an Bedeutung. Auch an uns in Jena konnte das nicht spurlos vorüber gehen. Auf einer sozialpsychologischen Tagung 1968 wurden Themen behandelt, wie zum Beispiel "Gruppenentropie" (vgl. von Cube 1970; vgl. Gunzenhäuser 1970) oder "der Zusammenhang zwischen experimenteller Grundlagenforschung der Kognitionspsychologie zu Kybernetik und zu einer vorwiegend auf Kommunikationsprozesse orientierten experimentellen Sozialpsychologie." (Gundlach/Schulz 1970, S. 27f.) Wir haben uns damals die Frage gestellt, wenn in der Kognitiven Psychologie individuelle Problemlösungsprozesse experimentell untersucht werden (vgl. Klix/Rautenstrauch-Goede 1967; vgl. Krause 1968; vgl. Sydow 1968) und das traditionelle Thema der Sozialpsychologie Gruppenleistung vs. Einzelleistung zunehmend an Bedeutung gewinnt, warum dann nicht vor allem die für eine Prozessanalyse des individuellen Problemlösens entwickelten Methoden in vergleichbarer Weise nutzen?

Dies blieb auch seitens der Kognitionspsychologie nicht unbeachtet. In seinem für die Kognitiven Psychologie grundlegenden Werk "Information und Verhalten" (Klix 1971, S. 710) war folgende Textstelle zu finden: "Gundlach und Schulz (1970) fanden übrigens bei sozialpsychologischen Untersuchungen kollektiver Lösungsfindungen am selben Problemtyp die gleiche Funktionscharakteristik." Und weiter heißt es "Der Informationsgewinn ist gegenüber unserer Normalschülerpopulation beschleunigt..." Wir kommen darauf zurück.

Im Vorwort von "Information und Verhalten" geht Klix (Klix 1971, S. 22) auf zu erwartende kritische Stimmen von anwendungsorientierten psychologischen Richtungen ein.

"Die Beschränkung auf das Problemlösen als ein Prototyp von Denkprozessen klammert vorerst den Einfluss z.B. historischer und soziologischer Komponenten auf Denkstile und Denkhaltungen weitgehend aus. Dies folgt nicht etwa aus einer vorgefassten Enge des Blickes, sondern aus dem Mangel an gesichertem Wissen um die realen Wirkungen soziologischer Faktoren auf kognitive Prozesse. In erster Linie ist das ein Methodenproblem."

Und genau das ist der Punkt! Erst durch das Übernehmen von den in der Kognitiven Psychologie entwickelten und genutzten Methoden ist nun der Einfluss von sozialen Kommunikationsprozessen auf individuelle kognitive Prozesse und damit auf kognitive Leistungen untersuchbar. Und diese Methoden bauen zwar auf klassischen psychologischen Verfahren auf, wurden aber durch die Arbeitsgruppe, für die Klix nicht nur Psychologen, sondern auch Mathematiker, Physiker, Ingenieure und Physiologen fand, modifiziert oder auch vollkommen neu entwickelt. Dieser Arbeitsgruppe "Psychophy-

sik und Kybernetik" widmete Klix auch sein Lehrbuch "Information und Verhalten", das auch aus den Arbeiten dieser Gruppe entstanden war.

Am Rande sei erwähnt, dieses Buch erschien nicht nur in der DDR, sondern gleichzeitig als Lizenz im Verlag Hans Huber Bern Stuttgart Wien. Damit waren stabile Brücken für eine internationale Anerkennung gebaut. Diese Anerkennung war besonders seit dem XVIII. Internationalen Kongress für Psychologie in Moskau 1966 immer deutlicher geworden. Schließlich erfolgte die Vergabe des XXII. Kongresses der IUPsyS für das Jahr 1980 nicht nach München, nicht nach Hamburg oder Bonn, sondern nach Leipzig. Friedhart Klix war in dieser Zeit auch zum Präsidenten der IUPsyS gewählt worden und es gelang durch ihn die Aufnahme dieser internationalen psychologischen Gesellschaft (IUPsyS) in die internationale Dachorganisation der Naturwissenschaftlichen Gesellschaften der ICSU. Aber auch national entwickelte er Fachkontakte über das eigene Fachgebiet hinaus mit den seit den 60er-Jahren der Kybernetik nahestehenden Natur- und Technikwissenschaften durch die Bildung der Kommission Kybernetik und die Entwicklung einer Wissenschaftlichen Konzeption Kybernetik (WK Kybernetik), die später als Hauptforschungsrichtung (HFR Kybernetik) mit zahlreichen Nachauftragnehmern weitergeführt wurde und seitens des Ministeriums für Wissenschaft und Technik der DDR gefördert und kontrolliert wurde. In diese Zeit fällt auch die durch Friedhart Klix wesentlich initiierte Gründung des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) an der Akademie der Wissenschaften der DDR (zur Zeit der Gründung 1970 noch Deutsche Akademie der Wissenschaften) als eine selbständig forschende und innerhalb der HFR die Forschungsvorhaben koordinierende und strategisch organisierende Einrichtung. In einem über einige Jahre von Friedhart Klix geleiteten Bereich des Instituts entstanden unter anderem die ersten Arbeiten zur Künstlichen Intelligenz und deren Anwendung in der Medizin. Das waren in den 70er-Jahren erste Ansätze. Wichtiger waren Nutzungen von Erkenntnissen aus den Elementaranalysen kognitiver Prozesse in der Psychodiagnostik und vor allem in der Ingenieurpsychologie.

Aber schon Ende der 70er-Jahre suchte er nach Antworten auf Fragen nach dem Ursprung der aktualgenetisch erfassbaren Prozesskomponenten in der evolutionsgeschichtlichen Entwicklung des Menschen, um daraus die Begründungen für die Entwicklung der menschlichen Intelligenz (*Erwachendes Denken*, 1980, 1993) erschließen zu können. Dies förderte sehr wahrscheinlich auch die Sicht auf Gemeinsamkeiten unterschiedlicher anforderungsabhängige Prozessen durch das Finden allgemeiner elementarer

Operationen und Prozeduren (*Die Natur des Verstandes*, 1992). Und aus diesem Verständnis heraus schließlich wurde die Frage möglich, wie ist daraus auch die Entstehung und – sehr wichtig – Wandlung von Weltbildern und Veränderung von Werten in der menschlichen Gesellschaft (*Wege und Irrwege der Menschenartigen*, mit K. Lanius 1999a) zu erklären.

Und immer wieder spielt auch Kommunikation zur Beförderung kognitiver Prozesse eine Rolle. Unter der evolutionspsychologischen Sicht zur Stimulierung von Lernleistungen (vgl. Klix/Lanius 1999b, S. 14f.) wird beschrieben, wie Umweltveränderungen stets Umstellungen im Verhalten und neue Verhaltensweisen "auch bei der Gestaltung kollektiver sozialer Organisationsformen des Gruppenverhaltens" erfordern. Das Auffinden von einfachen Mitteln, Wegen und Schrittfolgen zur Befriedigung von Lebensbedürfnissen wird erlernt und zum Wissen einzelner Individuen, muss aber ausgetauscht und für alle Mitglieder einer Gruppe verfügbar sein. Hier entsteht die Notwendigkeit zur Kommunikation vor allem zum Zweck der Wegeoptimierung schon in der Evolution des Menschen. Und Klix folgert daraus, dass diese schon früh erworbene Fähigkeit sich in Denkstrategien, "wie z.B. die Verkettung von Teilabschnitten, die Verkürzung oder Verdichtung von Denkwegen" (Goede 1966 in Klix 1971) zeigt und weiter "Sozialpsychologische Analysen (Gundlach/Schulz 1990) ergaben dabei, dass Kommunikation über die nächsten Wegschritte zu einer deutlichen Leistungsverbesserung führen kann".

Kommunikation und Leistungsverbesserung bei der Bewältigung kognitiver Anforderungen ist bekanntermaßen ein altes Thema mit einer langen Geschichte. Ganz allgemein ist es immer die Frage nach der Beziehung von Sprache und Denken. Das schließt auch ein, welchen Einfluss lautes Denken auf das Denkergebnis haben kann. Aber das hat uns auf die Spur gebracht, denn, wenn mehrere Personen zum Beispiel ein Problem zu lösen haben, dann zwingt die soziale Situation zum lauten Denken. Wir haben dann immer von Verbalisierung gesprochen und haben deren Wirkung nachweisen können. Trotzdem sind noch viele Vorbehalte anzutreffen, wie – die Gruppe sei immer nur so gut wie ihr bestes Mitglied. Das mag ja hin und wieder zutreffen. Inzwischen besteht aber kein Zweifel, dass ein Team, welches interdisziplinär zusammengesetzt ist, erfolgreich arbeitet, weil ein Einzelner des Teams die komplexe Anforderung, z.B. die Suche nach einer technischen Lösung, nicht bewältigen kann. Wie ist es aber, wenn z.B. drei Ingenieure mit den gleichen Vorrausetzungen etwas erfinden wollen. Diese Frage wurde uns gestellt. Wir wurden gefragt, wie ist es zu erklären, dass drei bereits in der Praxis tätige Absolventen, die allein bisher keine Patente erzielen konnten, aber als Gruppe in der Lage waren eine patentreife Erfindung vorzulegen? Im Rahmen einer Studie zu Kreativem Denken und Innovationen am Institut für Bergbaukunde der RWTH Aachen, in dem eine Innovationsstrategie entwickelt und praktiziert wurde (vgl. Spies 1996), konnten wir unsere Überlegungen prüfen. Es zeigte sich, bei intensiv kommunizierenden Dreiergruppen, dass mittels einer Prozessanalyse der Kommunikation (vgl. Gundlach/Schulz 1987) genau die Prozeduren (vgl. Klix 1992, S. 270f.), die die Effektivität tragen, wirksam werden. Vor allem sind das Verkettungen, also Folgen von Vorschlägen, die als Strategie deutlich werden. Das sind Vergleiche, die nach Folgen von Vorschlägen zu deren Bewertung führen. Und das sind Verdichtungen von einer Folge von Vorschlägen als Zusammenfassung in einer übergeordneten Funktionseinheit, zum Beispiel durch die Bildung eines Teilziels. Das kann dann schon den Weg für eine kreative Lösung unter Nutzung analoger Schlussprozesse bereiten. Ergänzend und den kreativen Verlauf hin zu einer patentreifen Vorlage besonders fördernd war die Erweiterung der Diskussion in der Dreiergruppe, wenn die Möglichkeit gegeben war, Vorschläge an einer Wandtafel darzustellen und dann wiederum darüber zu diskutieren. Damit werden zwei Modalitäten genutzt und vor allem ein Wechsel zwischen beiden Modalitäten (begrifflich-logisch vs. bildhaft-anschaulich) (vgl. Krause et al. 1995; Krause et. al. 1999), der für einen wesentlichen Leistungszuwachs in Betracht kommt.

Kognition und Kommunikation – wichtige und weiterführende Impulse wurden diesem Thema durch die Entwicklung der Kognitiven Psychologie und vor allem auch durch die evolutionspsychologischen Betrachtungen in den Werken von Friedhart Klix zu Teil. Dennoch bleiben viele Fragen offen, vor allem inwieweit wird interpersonelle Kommunikation durch die Nutzung neuer technischer Möglichkeiten verändert.

Literatur

Cube, Felix von (1970): Hypothesen über die Gruppenentropie als Funktion der Wahlkriterien.
 In: Vorwerg, Manfred (Hg.): Die Struktur des Kollektivs in sozialpsychologischer Sicht.
 Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 57–68

Goede, Karin (1966): Analyse des Lösungsprozesses der Scheibenaufgabe. Diplomarbeit Berlin. – dargestellt in Klix (1971) zit. nach Klix/Lanius (199b)

Gundlach, Wilfried; Schulz, Gisela (1970): Über einen Ansatz zur Untersuchung des kognitiven Leistungsverhaltens von Gruppen. In: Vorwerg, Manfred (Hg.): Die Struktur des Kol-

- lektivs in sozialpsychologischer Sicht. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 25–45
- Gundlach, Wilfried; Schulz, Gisela (1987): Ist die Effektivität von Problemlösungen aus Diskussionen voraussagbar? In: Psychologie für die Praxis, 4, Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 350–368
- Gundlach, Wilfried; Schulz, Gisela (1990): Kognitive und kommunikative Komponenten des Problemlösens in kleinen Gruppen. Dissertation Jena. dargestellt in Krause (2000) zit. nach Klix/Lanius (1999b)
- Gunzenhäuser, Rul (1970): Die Gruppenentropie eine informationstheoretische Maßbestimmung zur Untersuchung sozialer Gruppenstrukturen. In: Vorwerg, Manfred (Hg.): Die Struktur des Kollektivs in sozialpsychologischer Sicht. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. S. 46–56
- Klix, Friedhart (1962): Gesetz und Experiment in der Psychologie. In: Probleme und Ergebnisse der Psychologie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, III/IV, S. 1–36
- Klix, Friedhart (1971): Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung. Einführung in naturwissenschaftliche Grundlagen der Allgemeinen Psychologie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Bern u.a.O.: Verlag Hans Huber
- Klix, Friedhart (1980): Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften,
- Klix, Friedhart (1992): Die Natur des Verstandes. Göttingen u.a.O.: Hogrefe
- Klix, Friedhart (1993): Erwachendes Denken. Geistige Leistungen aus evolutionspsychologischer Sicht. Heidelberg u.a.O.: Spektrum Akademischer Verlag
- Klix, Friedhart; Rautenstrauch-Goede, Karin (1967): Struktur- und Komponentenanalyse von Problemlösungsprozessen. In: Zeitschrift für Psychologie, Leipzig: Verlag Johann Ambrosius Barth, Band 174, Heft 3–4, S. 167–193
- Klix, Friedhart; Lanius, Karl (1999a): Wege und Irrwege der Menschenartigen. Wie wir wurden, wer wir sind. Stuttgart u.a.O.: Kohlhammer
- Klix, Friedhart; Lanius, Karl (1999b): Wege und Irrwege der Menschenartigen. Festvortrag im Plenum zum Leibniztag am 1. Juli 1999. PDF, leibnizsozietaet.de, Berlin
- Krause, Werner (1968): Die Entstehung von Strategien und ihr Einfluß auf einen einfachen Problemlösungsprozeß. In: Klix, Friedhart (Hg.) Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Neue Ergebnisse kybernetisch-psychologischer Forschung. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 137–158
- Krause, Werner; Sommerfeld, Erdmute; Gundlach, Wilfried; Ptucha, Jürgen (1995): Kreativität zwischen Technik und Psychologie: Bilder, Begriffe, Analogien, Ideen. In: Festschrift anläßlich des 65. Geburtstages von Prof. Dr. K. Spies, Institut für Bergbaukunde II der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
- Krause, Werner; Seidel, Gundula; Heinrich, Frank; Sommerfeld, Erdmute; Gundlach, Wilfried; Ptucha, Jürgen; Schack, Bärbel; Goertz, Ralf (1999): Multimodale Repräsentation als Basiskomponente kreativen Denkens. In: Kreatives Denken und Innovationen in mathematischen Wissenschaften. Jenaer Schriften zur Mathematik und Informatik. Tagungsband. Jena, S. 129–142

- Krause, Werner (2000): Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht. Göttingen u.a.O.: Hogrefe
- Spies, Klaus (1996): Ein methodischer Weg zu innovativen Technologien. Aachen: Verlag Der Augustinus Buchhandlung
- Spies, Klaus (1999): Kreativität und Methodik. Eine bewährte Kombination zur Erschließung von ungenutztem Innovationspotential in Industrie und Forschung. In: Kreatives Denken und Innovationen in mathematischen Wissenschaften. Jenaer Schriften zur Mathematik und Informatik. Tagungsband. Jena, S. 159–174
- Sydow, Hubert (1968): Versuche zur strukturellen und metrischen Darstellung von Problemzuständen in Lösungsprozessen. In: Klix, Friedhart (Hg.): Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Neue Ergebnisse kybernetisch-psychologischer Forschung. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 159–183

Bodo Krause

Interdisziplinarität in der experimentellen Psychologie – Erinnerungen an Friedhart Klix

1. Zum Anliegen

Ein interdisziplinärer und systemisch orientierter Zugang zur Experimentellen und Allgemeinen Psychologie war das wesentliche Kennzeichen des Wirkens von Friedhart Klix. Dies stimmte mit dem naturwissenschaftlichen Zeitgeist überein, der durch die Entwicklungen in der Informationstheorie und Kybernetik geprägt war. Ich erfuhr dies nach meinem Mathematikstudium durch Vermittlung meines Betreuers Professor Dr. Lothar Budach (außerhalb der damals üblichen Absolventenvermittlung), als ich zu einem Vorstellungsgespräch an das Institut für Psychologie bei Professor Dr. Friedhart Klix eingeladen wurde. Ein Gespräch, in dem Friedhart Klix die inhaltlichen Erwartungen an einen Mathematiker in einer naturwissenschaftlich orientierten Psychologie in einem großen Bogen überzeugend und mich begeisternd umriss. Folglich wurde ich 1966 Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Psychologie der Humboldt-Universität.

Das Wirken von Friedhart Klix für eine naturwissenschaftlich und interdisziplinär orientierte Psychologie wurde bereits bei früheren Anlässen mehrfach dargestellt (z.B. in Krause, B./Krause, W. 2004). Ich will daher in diesem Beitrag versuchen aufzuzeigen, wie und in welchem Ausmaß sich richtungweisende Impulse von Friedhart Klix auf meine wissenschaftliche Entwicklung und darüber hinaus in der Entwicklung der Experimentellen Psychologie ausgewirkt haben und noch heute Aktualität besitzen. Dies werde ich, aus meiner persönlichen Sicht, anhand von drei für mich relevanten Orientierungen ausführen, die Friedhart Klix mir in der ersten Phase meiner Tätigkeit am Institut für Psychologie der HU Berlin nahe legte. Insbesondere will ich als Mathematiker dabei verdeutlichen, dass diese interdisziplinäre und systemische Sichtweise von Friedhart Klix dazu führte, dass das Methodenspektrum sowohl für die Beobachtungsmethoden als auch die Auswertungsmethoden der experimentellen Psychologie entscheidend erweitert wurde und damit essenzielle methodische Fortschritte und eine theoretische Weiterentwicklung in der Psychologie ermöglichte:

62 Bodo Krause

 a) der Orientierung auf die Faktorenanalyse als einem multiplen statistischen Modell für die Aufklärung von Komponenten intelligenten Verhaltens und den daraus folgenden multivariaten und hierarchischen Ansätzen ihrer Modellierung,

- b) der Orientierung auf die strukturellen und semantischen Zusammenhänge, die psychischem Verhalten und psychischen Prozessen zugrunde liegen und
- c) der *Orientierung auf physiologische und neuronale Grundlagen* psychischer Prozesse, insbesondere die neurokognitive Modellierung.

Mit diesen Orientierungen wird gleichzeitig deutlich, dass Friedhart Klix, der als Psychologe auch Vorlesungen in Mathematik und Physiologie besuchte, psychisches Geschehen systemisch als einen Prozess verstand, der durch die interdisziplinären Verflechtungen mit den aktuellen Entwicklungen in der Informationstheorie, der Kybernetik und den neuronalen Grundlagen des Verhaltens zu analysieren ist. Sein Buch "Information und Verhalten" (Klix 1971) gilt bis heute als ein Standardwerk der Experimentellen Psychologie und kennzeichnet die fundamentale Bedeutung von Information und (organismischer) Informationsverarbeitung für die Psychologie als Wissenschaft des Erlebens, Verhaltens und seiner Entwicklung. Der Untertitel macht dies deutlich: "Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung, Einführung in naturwissenschaftliche Grundlagen der Allgemeinen Psychologie." Schon 1962 kennzeichnete Klix diesen Zugang:

"Aus der Kenntnis kybernetischer Struktur- und Funktionsanalysen erwächst uns in der Psychologie zum ersten Mal die Möglichkeit einer streng verifizierbaren Begründung der (möglichen) materiellen Strukturen und des dialektischen Wesens psychischer Zusammenhänge und Prozesse."

Meine thematische Eingrenzung hat zur Folge, dass andere wesentliche Wirkungsfelder von Friedhart Klix hier ausgeblendet werden, so z.B. die von ihm initiierte und beförderte Fachrichtung Ingenieurpsychologie an der HU Berlin, die dann auch ein Studiengang im Studienprogramm für Diplompsychologen in der DDR (vgl. Probleme und Ergebnisse der Psychologie 8, 1963) wurde. In diesen Kontext gehört auch das von ihm mit initiierte internationale Netzwerk Man-Computer-Interaction-Research (MACINTER), das eine direkte internationale Einbindung und Verhetzung unserer Forschungsansätze ermöglichte. Aber auch sein Wirken als Präsident der internationalen psychologischen Gesellschaft IUPsyS, der u.a. die Aufnahme der IUPsyS als Mitglied im Internationalen Verband der Naturwissenschaften (International Council for Science, ICSU) 1982 erfolgreich erreichte.

2. Zur Orientierung auf die Faktorenanalyse als einem multiplen statistischen Modell für intelligentes Verhalten

Mit der Orientierung auf die Faktorenanalyse verband Klix meinen Einstieg in die Methodenlehre, speziell die diagnostische Verfahrenstheorie. Damit verbunden, und das soll hier kurz skizziert werden, ist der Zusammenhang mit methodischen Entwicklungen, die neue und weiterführende Zugänge zur Analyse komplexer Bedingungsgefüge ermöglichte. Mit dem Modell der multiplen linearen Faktorenanalyse begründet Thurstone (1945) einen Erklärungsansatz, der allgemein intelligente Leistungen, gemessen in Variablen X_i, aus dem Zusammenwirken mehrerer, voneinander unabhängiger Elementarfähigkeiten F_k (den Faktoren) erklärt:

$$X_i = \sum a_{ik} F_k + E_i$$

wobei E_i die unaufgeklärten Reste (Residuen) bezeichnen. Sie werden als unabhängig voneinander und von den Faktoren angenommen. Die schematische Grundstruktur zeigt Abbildung 1:

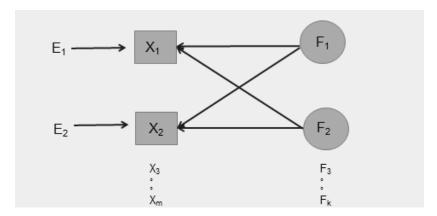


Abb. 1: Grundstruktur des multiplen Faktorenmodells (Primärfaktorenmodell; Erklärung im Text)

Für die Weiterentwicklung ist nun entscheidend, dass neben der Beurteilung der Passfähigkeit des Modells über die Residuen Fragen nach der Optimierung des Modells und nach Ursachen von Abweichungen gestellt wurden.

64 Bodo Krause

Abweichungen konnten zunächst bezüglich der Prüfung der Modellvoraussetzungen geprüft werden. So z.B. die Unabhängigkeit der Primärfaktoren (also die orthogonale Einfachstruktur). Einen Zugang hierfür begründete Bargmann (1955) mit einem statistischen Test. Fällt dieser negativ aus, dann bestehen zusätzliche Abhängigkeiten zwischen den Primärfaktoren, deren Aufklärung über Faktoren zweiter (allgemein höherer) Ordnung erfolgt (vgl. Thurstone 1944).

In der schematischen Darstellung der Grundstruktur einer solchen schiefwinkligen Faktorenstruktur der Abbildung 2 führen diese korrelativen Beziehungen der dann abhängigen Faktoren erster Ordnung zu einer zweiten (allgemein auch höheren) Faktorenebene (hier global als FH bezeichnet), die dann Grundlage eines hierarchischen Faktorenmodells ist.

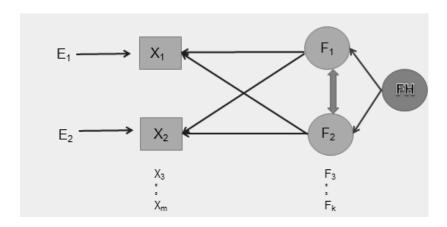


Abb. 2: Grundstruktur eines hierarchischen Faktorenmodells (Erklärung im Text)

Eine wesentliche Weiterentwicklung ist mit der Betrachtung der Beobachtungsfehler als Bestandteil der Residuen verbunden. Die Annahme eigenständiger Fehler von Beobachtungen führte über die Differenzierung von latenten und manifesten Variablen bei Kendall und Stuart (1961) zu den Fehler-in-den Variablen Modellen, wie sie z.B. bei Humak, K.M.S. (1977) diskutiert werden. Die resultierenden Strukturgleichungsmodelle (realisiert über Rechenprogramme wie SEM, LISREL) sind Ausdruck davon und haben zwei Konsequenzen:

- sie erweitern die Möglichkeit, Quellen für mangelnde Passfähigkeit dadurch auszuweisen, dass sie zusätzlich Abhängigkeiten zwischen den
 Einflussgrößen und Fehlern in den Modellansatz einbeziehen können.
 Damit wird auch die bisherige Grundannahme unabhängiger Fehlerterme aufhebbar.
- sie gestatten zwei unterschiedliche Forschungszugänge: eine explorative Vorgehensweise, bei der versucht wird, die Modellstruktur durch Variation der freien Modellparameter bestmöglich an die Beobachtungsdaten anzupassen und eine konfirmative Vorgehensweise mit dem Ziel, eine abgeleitete oder explorativ erhaltene Modellstruktur anhand einer neuen Stichprobe zu bestätigen.

Eine besondere Anwendung haben diese Fehler-in-den-Variablen Ansätze in der Veränderungsmessung erhalten. Um Veränderungseffekte in der Entwicklung oder bei Interventionsmaßnahmen auszuweisen, werden Beobachtungsvariable $Y_1,\ Y_2$... zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten (Erst- und Zweitmessung) beobachtet und daraus jeweils die latenten Eigenschaftsausprägungen T_1 und T_2 abgeschätzt, insbesondere den Veränderungseffekt T_2-T_1 . Einen Zugang zur Modellanalyse bildet das nachfolgende TIC-Modell (Steyer et al.1997). Entscheidend ermöglicht es dieser Ansatz zusätzlich, die Abhängigkeit einer beobachteten Veränderung vom Ausgangwert (also das klassische Ausgangswertgesetz von Wilder 1931) und die Abhängigkeit der Residuen zu beurteilen. Das Schema dieser Modellstruktur zeigt die Abbildung 3

Diese vor allem forschungsmethodische Entwicklung von der Strukturbeschreibung zur Modellierung der Entstehung von Beobachtungsdaten und allgemein psychischer Prozesse des Erlebens und Verhaltens haben wir als wesentliche Quelle psychologischer Theoriebildung und des Erkenntnisfortschritts zu verstehen (vgl. Krause 2009).

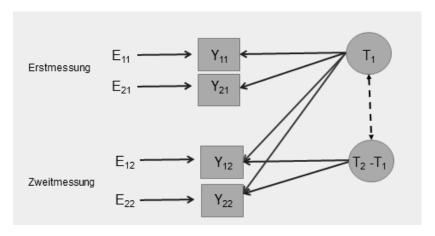


Abb. 3: Struktur des TIC-Modells (True Individual Change-Modell) (nach Steyer u.a.; Erklärung im Text)

3. Zur Orientierung auf die strukturellen und semantischen Zusammenhänge, die psychischem Verhalten und psychischen Prozessen zugrunde liegen

Eine zweite Orientierung von Klix bezog sich darauf, meine Kenntnis im Fachgebiet Algebra für die Beschreibung und Kennzeichnung struktureller Zusammenhänge in der Experimentalpsychologie zu nutzen. Ein gemeinsamer Artikel (Klix/Krause 1969) wurde so zu meiner ersten Publikation in der Psychologie. Im Rahmen der Untersuchungen zur Funktion und Wirkungsweise des menschlichen Gedächtnisses betonte Klix immer wieder die besondere Bedeutung klassifikatorischer Prozesse für die Effektivität der Speicherung und Verfügbarkeit von Wissen. Zu deren Kennzeichnung wurden zunächst Elemente dieses Strukturkonzepts genutzt, um Begriffsstrukturen zu kennzeichnen. Ein Begriff B wurde durch seine Wortmarke WM(B), eine Menge O(B) zugehöriger Objekte und einer zugehörigen Relationsmenge R(B) beschrieben:

$$B = \langle WM(B), O(B), R(B) \rangle$$
.

Inner- und zwischenbegriffliche Relationen wurden unterschieden und ihre Nutzung im zeitlichen Verlauf untersucht, z.B. bei der Erkennung und Akzeptanz analoger Schlüsse. Dabei basieren Analogien auf der Übereinstimmung von Relationen zwischen Begriffen, etwa bei der Analogie Hund:

Welpe \sim Pferd : Fohlen. Allgemein ist die Analogieerkennung auf zwei Begriffspaare $B_1: B_2 \sim B_3: B_4$ bezogen, genauer auf die Frage, ob es zwischen B_1 und B_2 eine Relation gibt, die zwischen B_3 und B_4 gleichermaßen besteht.

Nach der obigen Strukturbeschreibung der Begriffe kann man nun das Erkennen einer Analogie in elementare Einzelschritte bezüglich des Erkennens der relevanten Relation in den Begriffspaaren und deren Vergleich zwischen den Begriffspaaren zerlegen. Eine Dekomposition der vollständigen Reaktionszeit ergab hier für die einzelnen Elementarschritte bei unterschiedlich begrifflich basierter Analogiebildung stets eine übereinstimmende Zeit von 220 msec je Elementarschritt (Klix/van der Meer 1978; Hoffmann/Klix et al. 1980).

Bezogen auf die Beziehungen zwischen Begriffen unterscheidet Klix (1986, 1999) Objektbegriffe und Ereignisbegriffe, wobei letztere an Vorgänge oder Ereignisse gebunden sind. Ereignisbegriffe beinhalten dadurch mehr als die Objektbegriffe, "dass sie im Rahmen von Ereignissen bestimmte Rollen haben". Sie kennzeichnen also Geschehenstypen und so bedeutungshaltige und semantischen Beziehungen.

"Komplexere Begriffsstrukturen, die unserem begrifflichen Erkennen zugrunde liegen, bilden die Ereignisbegriffe. Charakteristische Beziehungen oder Ursachen-Folgebeziehungen haben starke Bindungen im menschlichen Gedächtnis." (Klix/Lanius 1999, S. 93)

In diesem Kontext der Evolution werden drei Ebenen des menschlichen Gedächtnisses unterschieden und kennzeichnen die Bedeutung dieser klassifikatorischen Prozesse:

"Bereits im Wirbeltiergedächtnis wurden den unseren ähnliche bildliche oder bildähnliche Gedächtnisrepräsentationen gespeichert. In der frühen Primatenentwicklung zum Homo sapiens hin entstanden klassifizierende Gedächtnisstrukturen. Sie bildeten den Hintergrund begrifflichen Denkens. Mit Homo sapiens verfestigten sich auch die mehrgliedrigen Assoziationen zwischen Begriffsstrukturen und lautlichen Benennungen." (S. 94)

Damit entstand die wesentliche Wechselwirkung zwischen Sprache und Denken. Dies war auch der Rahmen für die Entwicklung eines Ansatzes zur Analyse der Informationsverarbeitung in kognitiven Prozessen (Krause 1981), in dem ich einen Ansatz zur quantitativen Charakteristik der semantischen Informationsverarbeitung entwickelte und für die Herausbildung interner Gedächtnisstrukturen bei der Lösung von Problemen nutzte.

68 Bodo Krause

4. Zur Orientierung auf physiologische und neuronale Grundlagen psychischer Prozesse

Eine weitere interdisziplinäre Orientierungsrichtung von Friedhart Klix betrifft seine Überzeugung, dass physiologische und neuronale Zusammenhänge entscheidende Bedeutung für das Verständnis psychischen Erlebens und Verhaltens haben. Die Einbeziehung evozierter Potentiale aus dem EEG und der Pupillographie als Indikatoren psychischer Aktivitäten erschienen ihm unerlässlich. Zusammengefasst (Klix et al. 1980, S. 180)

"... one can say, we think, that psychophysiology is today in a position to make contributions to the clarification of difficult and complex problems of structural and processual properties of cognitive processes on the basis of psychological hypotheses."

Aus dieser beispielgebenden Forschungsorientierung von Friedhart Klix begründeten sich für mich zwei weiterführende Ansatzpunkte:

a) der Nutzung physiologischer Komponenten zur Kennzeichnung kognitiver Leistungen

Dafür nutzten wir (Weimann et al. 1990) den Literaturbefund, dass sich aus der Sinusarrhythmie des Herzschlags ein Leistungsspektrum ergibt, für das drei Frequenzbereiche mit unterschiedlicher Bedeutung ausgewiesen waren:

- der Bereich um 0,03 Hz f
 ür thermoregulatorische vasomotorische Aktivit
 äten,
- der Bereich um 0,10 Hz f
 ür blutdruckregulatorische vasomotorische Aktivit
 äten und
- der Bereich oberhalb 0,20 Hz für respiratorische Aktivitäten.

Entscheidend ist nun, dass erst diese physiologische Aufklärung die Grundlage für gezielte Hypothesen über psychologische Aktivitäten ist. So berichtet u.a. eine Forschungsgruppe um Mulder (Mulder 1981), dass es einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung der 0,10 Hz-Frequenz und dem Umfang des kognitiven, kontrollierten Verarbeitungsaufwands gibt. Unter dieser Erkenntnis sollte es dann auch möglich sein, den kognitiven Aufwand bei Tätigkeiten z.B. bei Bildschirmarbeit zu erfassen und für die arbeitspsychologische Gestaltungen von Bildschirmarbeitsplätzen zu nutzen. Es gelang uns, bei Nutzung einfacher kognitiver Anforderungen im Zahlenbereich diesen Zusammenhang experimentell zu bestätigen und dann auf dieser Grundlage einen Zugang für die Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen im Bereich der Sparkasse erfolgreich zu entwickeln.

Es gibt weitere aufschlussreiche Untersuchungen in diesem Kontext. Ich möchte hier auf einen aktuellen Befund verweisen, den Pariser Kollegen unter Nutzung moderner bildgebender Verfahren vorgestellt haben. Almaric et al. (2014, 2016) identifizierten diejenigen Hirnregionen, die bei sprachlichen und bei mathematischen Denkanforderungen aktiviert werden. Sie waren deutlich unterschieden. Interessant wird dann der zusätzliche Befund, dass bei Rechenanforderungen aus dem kleinen Einmaleins nur das sprachbezogene Areal aktiviert wurde, Aufgaben des kleinen Einmaleins sind also hinsichtlich der Gehirnaktivität dem Vokabellernen vergleichbar. Die allgemeinere Konsequenz: Aufgaben des kleinen Einmaleins sind daher zur Kennzeichnung mathematischer Fähigkeiten nicht!! geeignet.

b) zur Nutzung des neurokognitiven Forschungsansatzes

Aus meiner persönlichen Sicht möchte ich auf eine weitere Orientierung von Friedhart Klix verweisen: die Entwicklung von neuronalen Netzen und eine länger währenden Zusammenarbeit mit Professor Werner Ebeling aus der Sektion Physik der HU Berlin. Zunächst natürlich unter dem Gedanken der Modellierung von Lernprozessen, weil diese neuronalen Netze es ermöglichten, auf der Grundlage der Selbstregulation Lernen von z.B. logischen Verknüpfungen nachzubilden. Besonders interessant war dabei das "ausschließliche oder", das XOR, das sich im menschlichen Lernen als besonders schwer erweist. Für neuronale Netze konnte nun gezeigt werden, dass diese das XOR in einfacher Struktur nicht erlernen können, sondern dafür eine zweite Schicht von Neuronen benötigen. Erst diese zusätzliche verborgene ("hidden") Ebene ermöglicht die Beherrschung auch des XOR und wurde wiederholt experimentell nachgewiesen.

Im Gegensatz zu bekannten sequentiellen Lernprozeduren (wie z.B. LT oder GPS) war es gerade dieses Prinzip der Selbstregulation, das es ermöglichte, Lernen ohne vorgegebene Regelsysteme zu simulieren und damit dem Wesen kognitiver Lernschritte näherzukommen (vgl. Krause 1992, 1993, 1996). Die systeminterne Ausbildung von handlungsrelevantem Wissen konnte so erklärt und nachgebildet werden, so auch die Ausbildung von implizit, z.B. induktiv erworbenem Wissen.

Die weitreichende Bedeutung dieses Zugangs, und damit auch dieser Orientierung durch Klix, zeigt sich in einer aktuellen Diskussion der Archäologie. Im Zusammenhang mit Ausgrabungen in der prähistorischen Stadt Teotihuacán, der Stadt der Götter, entstand die Frage danach, wie in dieser Stadt regiert bzw. das Gemeinwesen gestaltet wurde. Anlass waren Feststellungen wie:

70 Bodo Krause

 Es wurden hier weder besonders prunkvolle Paläste noch Elendsviertel vorgefunden,

- es wurden keine prunkvollen Grabstätten, Monumente oder Grabmale vorgefunden,
- die Wohngebäude waren alle vergleichbar und gut ausgestattet.

Alles das war in den späteren Siedlungen der Maya und Azteken deutlich anders, wo z.B. Könige herrschten und sich dies in den Baudenkmalen, Wandgemälden und Monumenten entsprechend dokumentierte. All das führt zu der Vermutung, dass die Organisation des gesellschaftlichen Lebens hier möglicherweise anders ablief.

Tom Froese und Mitarbeiter (2014a, b; vgl. auch Husemann 2017) gehen davon aus, dass der Schlüssel für die Antwort in den kleineren Tempelkomplexen mit jeweils drei beieinanderstehenden Gebäuden zu suchen ist und deren Verbindungen mit einem neuronalen Netzwerk, hier einem Hopfield-Netz, zu vergleichen seien. Die Selbstorganisation als Lern- und Ordnungsprinzip neuronaler Netze könnte daher eine attraktive Alternative zum zentralen Gewaltmonopol gewesen sein.

Erik Vance (2015) präzisiert diesen Zugang durch die Hypothese, dass anstelle eines allmächtigen Königs, für dessen Existenz es bisher kein einziges Indiz gibt, eine Oligarchie von vier bedeutenden Familien gegeben haben könnte, von denen keine die Kontrolle besaß und die zu vorsichtigem Taktieren und Intrigieren gezwungen waren.

Diese Hypothese stellt auch eine interessante Ergänzung zu der Diskussion bei Klix und Lanius (1999) über den Klimastress und die gesellschaftliche Entwicklung u.a. im südlichen Maya-Tiefland (S. 242ff.) dar. Es entsteht die Frage, ob diese klimatischen Veränderungen nicht nur den dort diskutierten Einfluss auf die Organisation und Entwicklung der Arbeitsteilung und -gestaltung, sondern möglicherweise auch auf die Organisation des gesellschaftlichen Zusammenlebens hatten.

5. Fazit

Die interdisziplinäre und systemische Orientierung war die entscheidende Basis für den akademischen Anspruch, den Friedhart Klix in seinem wissenschaftlichen Wirken sich und seinen Mitstreitern stets auferlegt hat. Er dokumentiert sich insbesondere in seinen entwicklungsübergreifenden Darstellungen zur Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz "Erwachendes Denken" (Klix 1980) und den "Wegen und Irrwegen der Men-

schenartigen" (Klix/Lanius 1999), hier besonders mit dem Untertitel "Wie wir wurden, wie wir sind".

Es ist wohl gerade dieser akademische Anspruch im wissenschaftlichen Wirken, der das Vermächtnis von Friedhart Klix ausmacht.

Literatur

- Almaric, M.; Piazza, M.; Amadon, A.; Thirion, B.; Dehaene, S. (2014): High-level expertise for mathematical concepts recycles lateral occipito-temporal and parietal regions for number processing. Conference: Society for Neuroscience, November 2014 (https://www. researchgate.net/publikation/281584660)
- Almaric, M.; Dehaene, S. (2016): Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 113 (18) 201603205, S. 1–12
- Froese, T.; Naim, L. R. M.; Gershenson, C. (2014a): Can Government be self-organized? A mathematical model of the collective social organization of ancient Teotihuacan, Central Mexico. PLoS ONE, Oct. 2014, S. 3–17
- Froese, T.; Fernadez, N.; Mezza-Garcia, N. (2014b): Reflections on the complexity of ancient social Hetrarchies: Toward new models of social self-organisation in pre-hispanic Colombia. In: Journal of Sociocybernetics, Dec. 2014
- Hoffmann, J.; Klix, F.; v. d. Meer, E.; Metzler, P. (1980): Structure and process in human memory. In: Klix, F./Krause, B. (eds.): Psychological research Humboldt-Universität Berlin 1960–1980. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 133–161
- Humak, K. M. S. (1977, 1983, 1984): Statistische Methoden der Modellbildung 1, 2 und 3. Band. I: Statistische Inferenz für lineare Parameter; Band II: Nichtlineare Regression, robuste Verfahren in linearen Modellen, Modelle mit Fehlern in den Variablen. Band III: Statistische Inferenz für Kovarianzparameter. Berlin: Akademie-Verlag
- Husemann, D. (2017): Teotihuacan Stadt der Rätsel. In: Bild der Wissenschaft, 7, S. 53-60
- Klix, F. (1962): Über einige Beziehungen zwischen Kybernetik und Psychologie. In: Probleme und Ergebnisse der Psychologie, 6, S. 39–74
- Klix, F. (1971): Information und Verhalten. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Klix, F. (1976): Strukturelle und funktionelle Komponenten des menschlichen Gedächtnisses. In: Klix, F. (ed.): Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 57–98
- Klix, F. (1980): Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Klix, F. (1986): Memory research and knowledge engineering. In: Klix, F.; Wandke, H. (eds.): Man-computer interaction research MACINTER-I. Amsterdam u.a.O.: North Holland, S. 97–116

Klix, F. et al. (1963): Vorläufiger Plan für die Spezialausbildung "Ingenieurpsychologie" am Institut für Psychologie der Humboldt-Universität Berlin. In: Probleme und Ergebnisse der Psychologie, 8, S. 100–103

- Klix, F.; Krause, B. (1969): Zur Definition des Begriffs "Struktur", seiner Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie. In: Zeitschrift für Psychologie, 176, S. 22–54
- Klix, F.; Kukla, F.; Klein, R. (1976): Über die Unterscheidbarkeit von Klassen semantischer Relationen im menschlichen Gedächtnis. In: Klix, F. (ed.): Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 302–314
- Klix, F.; van der Meer, E. (1978): Analogical reasoning- an approach to mechanisms underlying human intelligence performances. In: Klix, F. (ed.): Human and artificial intelligence. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 193–211
- Klix, F.; Rebentisch, E.; Sinz, R. (1980): In: Klix, F.; Krause, B. (eds.): Psychological Research Humboldt-Universität Berlin 1960–1980. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 162–181
- Klix, F.; Lanius, K. (1999): Wege und Irrwege der Menschenartigen. Stuttgart u.a.O.: Kohlhammer
- Krause, B. (1981): Zur Analyse der Informationsverarbeitung in kognitiven Prozessen. Zeitschrift für Psychologie, Suppl. 2
- Krause, B. (1992): Kognitives Lernen Ansätze und experimentelle Befunde. In: Zeitschrift für Psychologie, 200, S. 199–223
- Krause, B. (1993): Modelling cognitive learning steps. In: Brzesinski, J. (ed.): Probability in theory building: Experimental and non-experimental models of scientific research in behavioural sciences. Amsterdam: Rodopi, S. 61–73
- Krause, B. (1996): Towards a theory of cognitive learning. In: Brzesinski, J., Krause, B. & Maruszewski, T. (eds.): Idealization in Psychology. Amsterdam: Rodopi, S. 177–194
- Krause, B. (2009): Mathematik in der Psychologie: Von der Strukturbeschreibung zur Modellierung psychischer Prozesse des Erlebens und Verhaltens. In: Banse, G.; Küttler, W.; März, R. (Hg.): Die Mathematik im System der Wissenschaften. In: Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, 24. Berlin: Trafo-Wissenschaftsverlag, S. 87–110
- Krause, B. (2015): Der Einfluss der Kybernetik auf die psychologische Forschungsmethodik. In: Fuchs-Kittowski, K.; Zimmermann, E. (Hg.): Kybernetik, Logik, Semiotik – Philosophische Sichtweisen. In: Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, 40. Berlin: Trafo Wissenschaftsverlag, S. 173–188
- Krause, B. (2016): Zum Verständnis von Information aus naturwissenschaftlich-psychologischer Sicht. In: Fuchs-Kittowski, F.; Kriesel, W. (Hg.): Informatik und Gesellschaft. Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski. Frankfurt/M.: Peter Lang, S. 75–86
- Krause. B.; Krause, W. (Hg.) (2004): Psychologie im Kontext der Naturwissenschaften. Beiträge zur menschlichen Informationsverarbeitung Festschrift für Friedhart Klix zum 75. Geburtstag. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Band 12. Berlin: Trafo-Verlag
- Mulder, G.; Mulder, L. J. M. (1981): Information processing and cardiovascular control. In: Psychophysiology, 18
- Thurstone, L. L. (1947): Multiple-factor analysis. Chicago: University of Chicago Press

- Vance, E. (2015): Wer regierte Teotihuacán- die Stadt der Götter? (http://www.spektrum.de/news/wer-regiert-teotohuacan/1334139)
- Weimann, J.; Krause, B.; Schulz, E.; Zimmer, K. (1990): Indikation des kognitiven Aufwands beim interaktiven Problemlösen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Reihe Mathematik/Naturwissenschaften, 39, S. 33–37
- Wilder, J. (1931): Das "Ausgangswert-Gesetz", ein unbeachtetes biologisches Gesetz und seine Bedeutung für Forschung und Praxis. In: Zeitschrift für Neurologie, 137, S. 317–338

Erdmute Sommerfeld

Die Klix-Operationen und -Prozeduren: anforderungsinvariant und mathematisch exakt

"Eine Denkoperation ist eine innere Transformation von Informationen von einer Form in eine andere. Solche Operationen löschen die bereits bestehenden Gedächtnisstrukturen nicht aus, sondern schaffen neue Strukturen..."

(Posner 1976)

Für eine Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung sind sowohl die inhaltliche und formale Definition von Denkoperationen erforderlich als auch ihr empirischer Nachweis.

Ausgangspunkt dieses Beitrags ist die Menge der sechs elementaren kognitiven Operationen und vier kognitiven Prozeduren, die Friedhart Klix in unterschiedlichen kognitiven Anforderungen *empirisch* aufgezeigt hat (Klix 1990, 1992).

Das *Anliegen* des Vortrags besteht in der *theoretisch-systematischen* Begründung dieser Klix-Operationen und -Prozeduren.

In diesem Beitrag beschränken wir uns auf die Systematisierung und exakte mathematische Beschreibung der Klix-Operationen und -Prozeduren und deren Generalisierung. Für ihr inhaltliches Verständnis sowie für Beispiele und den Beleg ihrer Anforderungsinvarianz sei auf Klix "Die Natur des Verstandes" verwiesen (Klix 1992, S. 262–280).

1. Die Klix-Operationen und -Prozeduren: anforderungsinvariant

"Unter einer kognitiven Operation verstehen wir eine elementare Wirkungseinheit, die, angewandt auf eine kognitive Struktur, deren Änderung bewirkt." (Klix 1992, S. 262)

Klix betont, dass dabei die Idee der kognitiven Operation elementar ist, nicht der Ersetzungsprozess selber. So kann mit der Komplexität des Gegenstandes der Operationsaufwand steigen, obwohl der Grundtypus der Operation der gleiche bleibt (vgl. auch Klix 1992, S. 266).

"Eine kognitive Prozedur ist eine Folge von Operationen, die, miteinander verkettet, zusammenhängende Zustandsänderungen bewirken, von denen nur das Resultat greifbar ist. Die Zwischenschritte sind zumeist flüchtig und entziehen sich der mentalen Kontrolle." (Klix 1992, S. 262)

Die folgenden Operationen und Prozeduren hat Friedhart Klix *empirisch* aufgezeigt in den kognitiven Anforderungen "Wahrnehmung", "Lernen", "Begriffsbildung", "konstruktives Denken" und "Problemlösen in der Technik" (Klix 1990, 1992). Darüber hinaus hat er sie durch ihre *evolutionäre* Herausbildung begründet (Klix 1993).

Kognitive Operationen (Klix 1992, S. 264–270): Aktivation und ihr Gegenstück, die Inhibition, Substitution (Ersetzung eines mentalen Zustandes durch einen anderen, z.B. Substitution von Begriffsstrukturen durch Symbole), Transition (mentale Überführung eines Zustandes in einen anderen, z.B. Überführung einer horizontalen Bewegung in eine kreisförmige), Projektion (Abbildung, z.B. von Relationen innerhalb eines Sinnesgebietes auf Relationen innerhalb eines anderen Sinnesgebietes), Inversion (angewandt auf das Ergebnis einer Operation kehrt sie diese um, stellt also den Zustand vor der Anwendung der Operation wieder her).

Kognitive Prozeduren (Klix 1992, S. 270–280): Vergleich (zur Urteilsbildung), Verkettung (bei der Strategiebildung, z.B. Konstruktion von Teilwegen zur Zielerreichung), Verdichtung (von Merkmalen, z.B. Klassenbildung), Verkürzung (von Operationen, zur Vereinfachung komplizierter Gebilde oder Prozessverläufe, z.B. Ersetzung der Addition durch die Multiplikation).

Inversionen kognitiver Operationen und Prozeduren stellen nach Klix eine universelle Komponente kognitiver Prozesse in dem Sinne dar, dass sie die Umkehrbarkeit kognitiver Prozesse bezeichnen. An Beispielen der Operationen und Prozeduren zeigt er die Spezifik der Inversion auf (Klix 1990, 1992, S. 269–270).

Mit dem empirischen Nachweis und der evolutionären Begründung ist sowohl die *Anforderungsrelevanz* als auch die *Anforderungsinvarianz* dieser Klix-Operationen und -Prozeduren belegt worden.

Eine Voraussetzung für ihre *theoretisch-systematische* Begründung besteht darin, dass sie *mathematisch exakt* beschrieben werden.

2. Die Klix-Operationen und -Prozeduren: mathematisch exakt

Wir beziehen die Aussage von Posner noch einmal ein: "Eine Denkoperation ist eine innere Transformation von Informationen von einer Form in eine

andere..." und setzen dazu die oben zitierte Aussage von Klix in Beziehung: "Unter einer kognitiven Operation verstehen wir eine elementare Wirkungseinheit, die, angewandt auf eine kognitive Struktur, deren Änderung bewirkt."

Somit ist es erforderlich, *kognitive Strukturtransformationen* mathematisch exakt zu beschreiben. Bei kognitiven Strukturtransformationen haben wir es mit der Transformation *struktureller* Information zu tun.

Strukturelle Information (vgl. auch Klix 1971, 2004) ist insbesondere durch Beziehungen zwischen ihren Elementen gekennzeichnet – z.B. durch grammatikalische Relationen zwischen den Worten eines Textes, durch räumliche Relationen zwischen den Teilen eines Bildes oder auch durch Beziehungen zwischen Personen. Strukturelle Information kann sowohl extern als auch intern repräsentiert (getragen) werden. Träger (Repräsentant) struktureller Information ist extern z.B. ein Text oder ein Bild und intern eine kognitive Struktur.

Eine Basis für die exakte Beschreibung der Klix-Operationen und -Prozeduren kann dadurch geschaffen werden, dass alle (unter bestimmten Bedingungen) möglichen Änderungen von kognitiven Strukturen systematisiert und formalisiert werden und die Klix-Operationen und Prozeduren in eine solche Systematik eingeordnet werden.

Ein solcher Ansatz zur Systematisierung und Formalisierung kognitiver Strukturtransformationen wurde in Sommerfeld (1994) entwickelt. Im Folgenden wird davon ein Ausschnitt beschrieben, der die formale Basis für die im Weiteren durchzuführende Einordnung der Klix-Operationen und -Prozeduren in die Systematik darstellt.

2.1 Systematisierung und Formalisierung kognitiver Strukturtransformationen

Da sich bei kognitiven Strukturtransformationen sowohl die repräsentierende Struktur als auch die repräsentierte Information ändern können (nicht nur gleich- sondern auch gegenläufig), besteht die *Grundidee* des Modellansatzes in der *Systematisierung* aller (unter bestimmten Bedingungen) möglichen *Änderungen* von *Struktur* und *Information* und in deren *Formalisierung*. Damit wird eine Grundlage dafür geschaffen, dass die Menge aller unter bestimmten Bedingungen möglichen bildbaren internen Repräsentationen (kognitiven Strukturen) *vollständig* charakterisiert werden kann.

Basis für die exakte Beschreibung dieser kognitiven Strukturtransformationen ist die Formalisierung sowohl der repräsentierenden (tragenden) Struktur als auch der repräsentierten (durch die Struktur getragenen) Information.

Betrachten wir als erstes die *Formalisierung* einer *Struktur* als Träger (Repräsentant) einer strukturellen Information.

Eine Struktur kann durch eine relationale Algebra formal beschrieben werden. Dabei entsprechen die Elemente der Struktur den Elementen der Trägermenge der relationalen Algebra. Wenn die Menge der Relationen nur ein- und zweistellige Relationen enthält, kann eine Struktur durch einen Graphen beschrieben werden.

Definition 1. $G = (V, E, f, g, W_V, W_E)$ ist ein (endlicher, markierter, gerichteter) Graph gdw. V eine endliche nichtleere Menge ist, $E \subseteq V \times V$ gilt, W_V und W_E Potenzmengen nichtleerer Mengen W_V^* und W_E^* sind und $f: V \to W_V$ bzw. $g: V \times V \to W_E$ Funktionen von V in W_V bzw. $V \times V$ in W_E sind. Dabei gilt $g((u, v)) = \emptyset$, wenn $(u, v) \not\in E$.

Der Graph $G' = (V', E', f', g', W_V, W_E)$ ist ein *Teilgraph* von G gdw. $V' \subseteq V$ und $E \subseteq E \cap (V' \times V')$ gilt und die Funktionen f' bzw. g' Einschränkungen von f auf V' bzw. g auf E' sind. Dabei gilt

$$g'(e) = \begin{cases} g(e), \text{ falls } e \in E' \\ \emptyset, \text{ sonst} \end{cases} \text{ für jedes } e \in V' \times V'.$$

G' ist ein induzierter Untergraph von G gdw. $E = E \cap (V' \times V')$ gilt.

Dabei ist $G' =_{Def} G < V' > = G < E^* >$ induziert durch die Knotenmenge V' oder die Kantenmenge $E^* \subseteq E'$ mit der Eigenschaft, dass für jeden Knoten $u \in V'$ ein Knoten $v \in V'$ mit $(u, v) \in E^*$ oder $(v, u) \in E^*$ existiert.

Erläuterung: V ist die Knotenmenge, E die Kantenmenge des Graphen G. Die Knoten repräsentieren die Grundelemente einer Struktur, die Kanten repräsentieren die Relationen zwischen diesen Grundelementen. W_V bzw. W_E sind Mengen möglicher Markierungen (Eigenschaften) von Knoten bzw. Kanten. Dabei nehmen wir an, dass die Markierungen aus Mengen elementarer Eigenschaften bestehen. Auf der Grundlage dieser Markierungen können unterschiedliche Arten von Elementen und Beziehungen zwischen ihnen beschrieben werden. Teilgraphen und induzierte Untergraphen können spezifische Teilstrukturen einer kognitiven Struktur repräsentieren. Solche Teilstrukturen sind z.B. von Bedeutung bei der Selektion lösungsrelevanter Information, wenn nicht die vollständige gegebene Information zur Lösung des vorliegenden Problems erforderlich ist. Im Weiteren fixieren wir die Mengen W_V und W_E der Knoten- und Kantenmarkierungen und

schreiben für einen Graphen $G = (V, E, f, g, W_V, W_E)$ nur die Kurzform G = (V, E, f, g).

In der Psychologie hat die Graphentheorie (Harary 1969; Sachs 1970) eine Tradition für die formale Beschreibung struktureller Beziehungen. Bereits 1936 schlug Lewin in seiner Arbeit "Principles of Topological Psychology" vor, den Lebensraum eines Menschen durch einen Graphen darzustellen (Lewin 1936). Eine Reihe weiterer Ansätze dazu wurden insbesondere in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts entwickelt, z.B. in Harary et al. (1965); Collins/Quillian (1969); Klix/Krause, B. (1969); Coombs et al. (1970); Anderson/Bower (1973); Sydow (1980); Nenniger (1980); Sydow/Petzold (1981); Klimesch (1988); Sommerfeld/Sobik (1994); Sommerfeld (1994).

Nachdem eine Struktur als Träger (Repräsentant) struktureller Information formal beschrieben ist, wenden wir uns der *Formalisierung* der *Information* zu, die durch eine Struktur getragen (repräsentiert) wird.

Durch die informationstheoretischen Arbeiten von Shannon und Weaver (1949) und Weiterentwicklungen ist eine fundamentale Richtung zur Beschreibung von Information gekennzeichnet. Jedoch ist das Informationsmaß von Shannon nicht dazu geeignet, strukturelle Information zu messen.

Für einen formalen Ansatz ist insbesondere auch zu beachten, dass Information, die extern (z.B. durch ein Bild oder einen Text) repräsentiert ist, durch den Menschen unterschiedlich *interpretiert* und damit auch *intern unterschiedlich repräsentiert* werden kann.

Im Rahmen der Psychologie wurde darauf zuerst von Untersuchungen in der Wahrnehmungspsychologie her aufmerksam gemacht, die Bedeutung dieses Aspektes wurde dann auch für Gedächtnis- und Denkprozesse unterstrichen (vgl. Klix 1962; Feger 1972; Prinz 1983; Opwis/Lüer 1996). Opwis und Lüer zeigen auf, dass der Aufbau interner Repräsentationen eine aktive Rekonstruktion oder sogar Konstruktion der Außenwelt darstellt.

Es muss sich somit auch in einem theoretischen Ansatz widerspiegeln, dass menschliche Informationsverarbeitung ein aktiver, vom Empfänger determinierter Prozess ist. Das macht die *Formalisierung* von *Interpretationen* bei der Abbildung bzw. Rekonstruktion oder Konstruktion der Außenwelt in eine kognitive Struktur erforderlich.

Für die Wahrnehmungspsychologie hat diesbezüglich der Ansatz zur "Strukturellen Informationstheorie" von Leeuwenberg eine besondere Bedeutung (Leeuwenberg 1968; Buffart/Leeuwenberg 1983). Der Modellansatz wurde zur formalen Beschreibung der Erzeugung interner Repräsentationen bei der Erkennung perzeptiver Muster erstellt. Leeuwenberg knüpft an den

Ansatz von Mac Kay (1950) an und geht davon aus, dass das menschliche Codierungssystem ökonomisch arbeitet und die jeweils kürzeste Beschreibung eines Musters verwendet. Er hat ein Komplexitätsmaß ("structural information load") entwickelt, das auf einem minimalen Code basiert, auf dessen Grundlage die interne (kognitive) Struktur des wahrgenommenen Musters erzeugt werden kann.

Diese Art der Beschreibung und Bewertung struktureller Information spielt bei der Erkennung, also bei der Wahrnehmung, eine Rolle. Bei Gedächtnis- und Denkanforderungen müssen darüber hinaus anforderungsabhängig noch weitere Prozesse zum Behalten und zur Verarbeitung der Information ablaufen (vgl. auch Sommerfeld/Krause 2013). Dann wird die interne Repräsentation nicht nur durch den minimalen Code (zur Erkennung) bestimmt, sondern insbesondere auch dadurch, was anforderungsabhängig auf der Basis der strukturellen Information "zukünftig" damit getan werden muss.

Die Interpretation kann über die Anforderung hinaus durch weitere Faktoren beeinflusst werden, z.B. durch den Kontext oder das Vorwissen sowie durch persönlichkeitsspezifische und motivationale Faktoren. Das bedeutet: Bei der (formalen und experimentellen) Erfassung von Interpretationen müssen neben dem metrischen und strukturellen Aspekt der Information insbesondere auch der semantische und der pragmatische Aspekt berücksichtigt werden (vgl. dazu auch Klix 1971, 1992; Hörz 1984; Fleissner/Hofkirchner 1995; Fuchs-Kittowski 1999; Fuchs/Hofkirchner 2002; Fleischer 2013).

Eine entsprechende Charakterisierung kann auf der Grundlage des *strukturellen Informationsgehalts* geschehen, der von der *Interpretation* der gegebenen Struktur abhängt. Er ist erfassbar durch folgende Komponenten, die ein Interpretationssystem (für eine Struktur) charakterisieren (Sommerfeld/Sobik 1994). Dabei gehen wir davon aus, dass wir eine Struktur durch einen Graphen repräsentieren.

Definition 2. Sei G eine Menge von Graphen.

Das Tupel Int = (J, C, s, t) wird als Interpretations system von G bezeichnet, wenn für einen beliebigen Graphen $G = (V, E, f, g) \in G$ gilt:

- J ist eine Menge möglicher Interpretationen,
- $C \subseteq J$ ist eine Menge verbotener (falscher) Interpretationen,
- s ist eine Funktion von G in die Menge V^* aller endlichen Folgen von Knoten aus G, d.h. $s(G) \subseteq V^*$ (Selektionsfunktion)
- t ist eine Funktion von s(G) in J, d.h. für jedes $w \in s(G)$ gilt $t(w) \in J$ (Interpretations funktion).

Für jeden Graphen $G \in G$ ist der *strukturelle Informationsgehalt* von G bezüglich des Interpretationssystems Int = (J, C, s, t)

$$I(G, Int) = Def_{C} \{t(w) \mid w \in s(G), t(w) \notin C\}.$$

Der strukturelle Informationsgehalt $I(G_1, Int)$ eines Graphen G_1 ist kleiner als der strukturelle Informationsgehalt $I(G_2, Int)$ eines Graphen G_2 gdw. $I(G_1, Int)$ echt enthalten ist in $I(G_2, Int)$:

$$I(G_1, Int) < I(G_2, Int) \leftrightarrow I(G_1, Int) \subset I(G_2, Int).$$

Der strukturelle Informationsgehalt der Menge G ist definiert als

$$I(G, Int) = Def. \cup I(G, Int).$$

 $G \in G$

Erläuterung: Die Menge J möglicher Interpretationen kann z.B. alle syntaktisch korrekten Sätze einer Sprache enthalten. Zur Menge C verbotener Interpretationen könnten z.B. widersprüchliche Aussagen gehören oder auch syntaktisch richtige Sätze, die Unsinn aussagen.

Durch die Selektionsfunktion s werden bestimmte Sequenzen von Knoten (Elementen) auf der Basis struktureller Eigenschaften der repräsentierenden Struktur ausgewählt. Dadurch werden Teile der Trägerstruktur charakterisiert. Ein einfaches Beispiel dafür ist die Selektion aller verbundenen Elementepaare. Für die entsprechende Selektionsfunktion, die wir mit s_e bezeichnen wollen, gilt, angewandt auf den Graphen G,

$$s_e(G) = \{(u, v) \mid (u, v) \in E\}.$$

Neben dieser einfachen Art der Selektion von Information können in Abhängigkeit von der Anforderung, der Motivation oder auch der Erfahrung durch die Versuchsperson (Vp) ganz unterschiedlich komplexe Teile einer gegebenen Information selektiert werden. Findet in der gegebenen Struktur z.B. ein Informationsfluss statt, so gibt die Selektion von Kreisen bzw. Maximalwegen bereits den Hinweis darauf, zu welchen Stellen (d.h. zu welchen Personen, Computern usw.) eine von bestimmten Stellen ausgehende Information immer gelangt bzw. nicht gelangt.

Die Interpretationsfunktion t liefert für jede durch die Selektionsfunktion s bestimmte Knotensequenz eine Interpretation. Während mit Hilfe der Selektionsfunktion formalisiert werden kann, welche Elementekombination einer strukturellen Information eine Vp zur Betrachtung auswählt, steht bei der Interpretationsfunktion die Frage im Vordergrund, was die Vp von den selektierten Teilstrukturen überhaupt weiterverarbeitet. So können z.B. im

Г

Extremfall alle mit diesen Teilstrukturen verbundenen Merkmale und Relationen von Interesse sein. In der Realität hat man jedoch häufig den Fall, dass (anforderungs-, motivations- oder auch personenspezifisch) nur ein Teil davon interessant bzw. zur Problemlösung erforderlich ist, oder dass von unterschiedlichen Vpn unterschiedlich viel Kontext berücksichtigt wird.

So bezieht sich z.B. die Interpretationsfunktion

$$t_e((u, v)) = (f(u), f(v); g((u, v)))$$

auf die Knotenmarkierung eines jeden Knotens in einem geordneten Knotenpaar (u, v) und auf die Kantenmarkierung der von u nach v gerichteten Kante. Die folgende Interpretationsfunktion berücksichtigt mehr relationalen Kontext der Elemente:

$$t_m((u, v)) = (f(u), f(v); \begin{pmatrix} g((u, u)) & g((u, v)) \\ g((v, u)) & g((v, v)) \end{pmatrix}).$$

Existiert z.B. zwischen den Elementen u und v neben der Kante (u, v) auch noch eine von v nach u gerichtete Kante, so wird durch $t_e((u, v))$ das gemeinsame Auftreten nicht berücksichtigt. Anders ist dies bei $t_m((u, v))$, wo die Markierung dieser Kante durch das Matrixelement g((v, u)) charakterisiert ist. Steht ein Element u bzw. v zusätzlich zu sich selbst in einer (zweistelligen) Relation (Beispiel "Er rasiert sich"), so wird das zwar auf der Grundlage von $t_m((u, v))$ registriert (durch g((u, u)) bzw. g((v, v))), jedoch nicht auf der Grundlage von $t_e((u, v))$.

Durch Kombination von Selektions- und Interpretationsfunktionen können unterschiedliche *Basiseinheiten struktureller Information* charakterisiert werden, die Grundbausteine für unterschiedliche Interpretationen bilden.

Der darauf basierende strukturelle Informationsgehalt ist im Gegensatz zu Shannons Informationsmaß und Leeuwenbergs Komplexitätsmaß keine Zahl, sondern wird charakterisiert durch eine Menge von Interpretationen. Wie bereits angesprochen, können solche Interpretationen z.B. beliebige Sätze einer natürlichen Sprache oder auch eingeschränkte relationale Aussagen sein. Dabei besteht eine partielle Ordnung zwischen unterschiedlichen strukturellen Informationen. Diese partielle Ordnung basiert auf der Mengeninklusionsrelation. Auf der Grundlage dieser Relation ist es möglich, bestimmte strukturelle Informationen zu vergleichen, jedoch können nicht beliebige Informationen bezüglich ihres strukturellen Informationsgehalts verglichen werden. So sind strukturelle Informationen mit unterschiedlichen Basiseinheiten nicht vergleichbar bezüglich ihres strukturellen Informationsgehalts. Gleiche Basiseinheiten bilden die Grundlage für die Vergleichbar-

keit struktureller Information. Das ermöglicht die Charakterisierung vergleichbarer und unvergleichbarer Informationen.

Damit ist formalisierbar, in welcher *Beziehung* der strukturelle Informationsgehalt der intern abgebildeten Information zu dem der Ausgangsinformation steht. Nur bei vergleichbaren strukturellen Informationen gibt es (auf Grundlage der Mengeninklusionsrelation) die in der Definition angegebene Beziehung $I(G_1, Int) < I(G_2, Int)$. In einem solchen Falle können auf der Grundlage von Unterschieden in den Mächtigkeiten der Mengen von Interpretationen, durch die der jeweilige strukturelle Informationsgehalt charakterisiert wird, auch quantitative Unterschiede zwischen extern gegebener und intern abgebildeter Information formal erfasst werden.

In Sommerfeld (1994) sind Interpretationssysteme formalisiert worden, die unterschiedliche Teile der Trägerstruktur bzw. unterschiedlich viel (relationalen) Kontext berücksichtigen. Im Rahmen dieses Beitrags legen wir für unsere Betrachtungen das Interpretationssystem $Int_e = (J_e, C_w, s_e, t_e)$ zu Grunde – mit den oben definierten Selektions- und Interpretationsfunktionen s_e und t_e sowie der darauf basierenden Menge $Je = \{(x, y, z) \mid x, y \in W_V, z \in W_E\}$ möglicher Interpretationen und der Menge $C_w \subseteq J_e$, die alle widersprüchlichen Interpretationen der Menge J_e enthalten soll.

Die Formalisierung von Interpretationen struktureller Information stellt neben der Formalisierung von Strukturen eine weitere Grundlage für die *Systematisierung* und *Formalisierung* aller – unter bestimmten Bedingungen – möglichen Änderungen von Struktur und Information bei kognitiven Strukturtransformationen dar.

Unter dem Aspekt der Änderung der repräsentierten Information als auch der diese Information repräsentierenden Struktur haben wir Vollständigkeitsbetrachtungen durchgeführt (Sommerfeld 1994; vgl. auch Sommerfeld 2008, 2009; Sommerfeld/Krause 2013).

Unter dem *Vollständigkeitsaspekt* ergibt sich damit eine Matrix, deren Elemente charakterisiert sind durch Kombinationen aus "keine Änderung", "Vergrößerung", "Vergrößerung" sowie "Vergrößerung und Verkleinerung" der Information und der Struktur (skizziert in Abb. 1). Jedes der 16 Matrix-elemente repräsentiert somit eine *Klasse kognitiver Strukturtransformationen* – gekennzeichnet durch eine solche Kombination. Die Matrix-Elemente in der Diagonale der Matrix charakterisieren kognitive Strukturtransformationen, die dadurch ausgezeichnet sind, dass sich Information und Struktur gleichsinnig verändern.

Damit ist eine Systematik entstanden, in die alle psychologisch relevanten kognitiven Strukturoperationen eingeordnet werden können.

Struktur Informa- tionsgehalt	keine Änderung	Vergrößerung	Verkleinerung	Vergrößerung und Verkleinerung
keine Änderung				
Vergrößerung	-			_
Verkleinerung	-			
Vergrößerung und Verkleinerung	-			

Abb. 1: Matrix zur Systematisierung kognitiver Strukturtransformationen (basierend auf Sommerfeld 1994)

Zur Demonstration der Systematisierung und Formalisierung kognitiver Strukturtransformationen betrachten wir im Folgenden mit Bezug zu den obigen Definitionen drei einfache Beispiele für elementare Operationen, bei deren Anwendung jeweils die *Struktur verkleinert* wird, wobei dabei der *strukturelle Informationsgehalt* im ersten Fall auch *verkleinert* wird (Inhibition), im zweiten Fall *gleichbleibt* (Entfernen von Redundanz) und im dritten Fall *vergrößert* wird (Entfernen von Widersprüchen).

Operation "Inhibition" (Abb. 2a): Verkleinerung der Struktur und Verkleinerung des strukturellen Informationsgehaltes (Psychologisch relevante Beispiele für die Inhibition finden sich in Klix (1992, S. 264–265).

Die Ausgangsstruktur wird durch folgenden Graphen beschrieben:

$$G = (V, E, f, g),$$

mit $V = \{1,2,3,4,5,6\}, E = \{(1,2), (4,3), (6,5)\}, f(1) = \{a\}, f(2) = \{d\}, f(3) = \{b\}, f(4) = \{c\}, f(5) = \{a\}, f(6) = \{e\}, g((1,2)) = \{r_1\}, g((4,3)) = \{r_2\}, g((6,5)) = \{r_3\}$

Ausgangsgraph G	Operation: Inhibition	Zielgraph G´	
{a} {b} {a} 1 3 5 {r ₁ }	{a} ⑤ ↑ {r₃} ⑥ {e}	{a} {b} ① ③ {r ₁ }	
Struktureller Informationsgehalt $I(G, Int_e) = \{(\{a\}, \{d\}; \{r_1\}), (\{c\}, \{b\}; \{r_2\}), (\{e\}, \{a\}; \{r_3\})\}$		Struktureller Informationsgehalt $I(G', Int_{\mathcal{O}}) = \{(\{a\}, \{d\}; \{r_1\}), (\{c\}, \{b\}; \{r_2\})\}$	

Durch Anwendung der Operation:

Verkleinerung der Struktur: G' ist induzierter Untergraph von GVerkleinerung des strukturellen Informationsgehaltes: $I(G', Int_e) < I(G, Int_e)$

Abb. 2a: Beispiel für die Operation "Inhibition"

Operation "Entfernen von Redundanz" (Abb. 2b): Verkleinerung der Struktur bei Gleichbleiben des strukturellen Informationsgehaltes:

Die Ausgangsstruktur wird durch folgenden Graphen beschrieben:

$$G = (V, E, f, g)$$

mit $V = \{1,2,3,4,5,6\}$, $E = \{(1,2), (4,3), (6,5)\}$, $f(1) = \{a\}$, $f(2) = \{d\}$, $f(3) = \{b\}$, $f(4) = \{c\}$, $f(5) = \{b\}$, $f(6) = \{c\}$, $g((1,2)) = \{r_1\}$, $g((4,3)) = \{r_2\}$, $g((6,5)) = \{r_2\}$

Ausgangsgraph G	Operation: Entfernen von Redundanz	Zielgraph G´
	{b} ⑤ {r₂} 6 {c}	{a} {b} 1 3 {r ₁ }
Struktureller Informationsgehalt $I(G, Int_e) = \{(\{a\}, \{d\}; \{r_1\}), \{c\}, \{b\}; \{r_2\})\}$		Struktureller Informationsgehalt $I(G', Int_{\theta}) =$ $\{(\{a\}, \{d\}; \{r_1\}),$ $\{\{c\}, \{b\}; \{r_2\}\}\}$

Durch Anwendung der Operation:

Verkleinerung der Struktur: G' ist induzierter Untergraph von G *Gleichbleiben* des strukturellen Informationsgehaltes: $I(G', Int_e) = I(G, Int_e)$

Abb. 2b: Beispiel für die Operation "Entfernen von Redundanz"

Operation "Entfernen von Widersprüchen" (Abb. 2c): Verkleinerung der Struktur bei Vergrößerung des strukturellen Informationsgehaltes:

Die Ausgangsstruktur wird durch folgenden Graphen beschrieben:

$$G = (V, E, f, g)$$

mit $V = \{1,2,3,4,5,6\}$, $E = \{(1,2), (4,3), (5,6)\}$, $f(1) = \{a\}$, $f(2) = \{d\}$, $f(3) = \{b\}$, $f(4) = \{c\}$, $f(5) = \{b\}$, $f(6) = \{c\}$, $g((1,2)) = \{r_1\}$, $g((4,3)) = \{r_2\}$, $g((5,6)) = \{r_2\}$, r_2 : Ordnungsrelation (transitive, irreflexive, asymmetrische Relation).

Ausgangsgraph G	Operation: Entfernen von Widersprüchen	Zielgraph G´
{a} {b} {b} {b} 1 3 5 {r ₁ }	{b} ⑤ {r₂} ⑥ {c}	{a} {b} ① ③ {r ₁ }
Struktureller Informationsgehalt $I(G, Int_e) = \{(\{a\}, \{d\}; \{r_1\})\}$		Struktureller Informationsgehalt $I(G', Int_e) = \{(\{a\}, \{d\}; \{r_1\}), (\{c\}, \{b\}; \{r_2\})\}$

Durch Anwendung der Operation:

Verkleinerung der Struktur: G' ist induzierter Untergraph von G

Vergrößerung des strukturellen Informationsgehaltes: $I(G', Int_e) > I(G, Int_e)$

Abb. 2c: Beispiel für die Operation "Entfernen von Widersprüchen"

Auf der Basis des Modellansatzes können analog zu den demonstrierten elementaren kognitiven Operationen auch komplexere Operationen und Prozeduren formalisiert werden. Dazu stehen sowohl entsprechende Graphtransformationen zur Verfügung als auch unterschiedliche Interpretationssysteme (Sommerfeld 1994).

In die Systematik kognitiver Strukturtransformationen haben wir die von Friedhart Klix empirisch aufgezeigten kognitiven Operationen und Prozeduren eingeordnet und können sie auf dieser Grundlage systematisieren sowie mit Hilfe des formalen Ansatzes mathematisch exakt beschreiben.

2.2 Einordnung der Klix-Operationen und -Prozeduren in die Systematik kognitiver Strukturtransformationen

In Abbildung 3 ist die Einordnung der Klix- Operationen und -Prozeduren in die Systematik skizziert.

Die Begründungen für die Zuordnung der einzelnen Operationen und Prozeduren zu den Zellen der Matrix finden sich in Sommerfeld (1994, S. 72–79).

Struktur Informa- tionsgehalt	keine Änderung	Vergrößerung	Verkleinerung	Vergrößerung und Verkleinerung
keine Änderung		spezifische Inversion von K ₁ (+)	Spezifische K ₂ (-)	spezifische Inversion von K_1 (+) und spezifische K_2 (-)
Vergrößerung	-	K ₃ (+), K ₄ (+), K ₅ (+), K ₆ (+), K ₇ (+), K ₈ (+), K ₉ (+)	spezifische K ₂ (-)	K _i (+), i=3,,9 und spezifische K ₂ (-)
Verkleinerung	-	spezifische Inversion von K ₁ (+)	K ₁ (-), K ₂ (-)	K _i (-), i=1,2 und spezifische Inversion von K ₁ (+)
Vergrößerung und Verkleinerung	-	Ki (+), i=3,,9 und spezifische Inversion von K1 (+)	K _i (-), i=1,2 und spezifische K ₂ (-)	K1 (+), K2 (+), K3 (-), K4 (-), K5 (-), K6 (-), K7 (-), K8 (-), K9 (-)

Abb. 3: Einordnung der Klix-Operationen und –Prozeduren (symbolisiert durch $K_{i, i} = 1,...,9$) in die Systematik

K₁: Aktivation, K₂: Inhibition, K₃: Substitution, K₄: Transition, K₅: Projektion, K₆: Vergleich, K₇: Verkettung, K₈: Verdichtung, K₉: Verkürzung, K₁₀: Inversion. In die Matrix sind die Original-Operationen und -Prozeduren eingetragen, nicht ihre Inversionen.

Die (+) und (-) zeigen an, ob die Ausgangsinformation mitgespeichert wird (+) oder nicht (-). (basierend auf Sommerfeld 1994)

Die Abbildung zeigt, dass die von Klix empirisch aufgezeigten Klassen von Operationen und Prozeduren, die in der menschlichen Informationsverarbeitung sehr häufig auftreten, in der Diagonale der Matrix liegen. Mit Bezug zum theoretischen Ansatz heißt das: Die Klix-Operationen und Prozeduren sind in der großen Mehrheit der Fälle formal dadurch ausgezeichnet, dass sich bei ihrer Anwendung *Information* und *Struktur* (der repräsentierenden kognitiven Struktur) gleichsinnig verändern.

Operationen, die in der menschlichen Informationsverarbeitung relativ selten auftreten, liegen außerhalb der Diagonale der Matrix. Wie die Abbildung zeigt, stehen Klix-Operationen und -Prozeduren auch dafür zur Verfügung – allerdings in ganz spezifischer Form.

Analog zu den Klix-Operationen und -Prozeduren können auch weitere kognitive Operationen und Prozeduren in die Systematik eingeordnet und formal beschrieben werden.

Damit wird es möglich, diese Operationen und Prozeduren auf theoretisch-formaler Ebene zu den Klix-Operationen und -Prozeduren in Beziehung setzen.

Als nächstes betrachten wir die Einordnung von Operationen und Prozeduren aus *Modellansätzen* aus der Literatur in die Systematik.

2.3 Einordnung von Operationen und Prozeduren aus Modellansätzen aus der Literatur in die Systematik kognitiver Strukturtransformationen

Bei der Analyse von verschiedenen Begriffen für kognitive Operationen und Prozeduren aus einer Reihe von Modellansätzen aus der Literatur zeigte sich, dass sich relevante kognitive Operationen und Prozeduren zwar relativ gut in die Klassen der Systematik einordnen lassen, diese Zuordnung jedoch in manchen Fällen ohne Formalisierung nicht eindeutig gemacht werden kann, weil Operationen zum Teil nicht exakt beschrieben bzw. definiert sind. Darüber hinaus existieren zuweilen in unterschiedlichen Modellansätzen auch unterschiedliche Bezeichnungen für den gleichen Operationstyp sowie auch gleiche Bezeichnungen für unterschiedliche Typen von Operationen (vgl. Sommerfeld 1994).

Ein möglicher Zugang zu einer eindeutigen Charakterisierung der Operationen und Prozeduren besteht in einer eindeutigen Zuordnung zu den in der Systematik definierten Klassen von Kombinationen bestimmter Informationsund Strukturänderungen, verbunden mit der formalen Beschreibung.

Diesbezüglich analysiert und in Beziehung zu den Klix-Operationen und -Prozeduren gesetzt haben wir bisher folgende Operationen und Prozeduren aus acht Modellansätzen aus der Literatur: Differenzierung (S₁), Komplex-bildung (S₂), Komplexproduktion (S₃) und Abstraktion (S₄) (Selz 1913), Vergleichen (L₁), Abstrahieren (L₂) (Lompscher 1972), Verknüpfen (D₁), Aktivieren (D₂), Hemmen (D₃) (Dörner 1974), Wissenserwerb durch Abstraktion (Ro₁) (Rost 1980), Diskrimination (A₁) (Anderson 1983), Auslassung (Ki₁), Generalisierung (Ki₂), Bildung eines Situationsmodells (Ki₃) (Kintsch/van Dijk 1978; van Dijk/Kintsch 1983), Bildung eines mentalen Modells (J₁) (Johnson-Laird 1983), Erweiterung (Klu₁) (Kluwe/Haider 1990).

Diese Operationen und Prozeduren sind mit Bezug zu ihrer Einordnung in die Systematik in Sommerfeld (1994, S. 72–79) charakterisiert. Hier beschränken wir uns auf die Übersicht der Einordnung. Diese ist in Abbildung 4 skizziert.

Struktur Informa- tionsgehalt	keine Änderung	Vergrößerung	Verkleinerung	Vergrößerung und Verkleinerung
keine Änderung				
Vergrößerung	ı	S ₁ (+), S ₂ (+), S ₃ (+), L ₁ (+), D ₁ (+), Klu ₁ (+)	Spezifisches Ro ₁ (-)	
Verkleinerung	-		D ₂ (-), S ₄ (-), L ₂ (-), D ₃ (-), A ₁ (-), Ki ₁ (-)	
Vergrößerung und Verkleinerung	-			Ro1 (-), S2 (-), S3 (-), L1 (-), Ki2 (-), Ki3 (-), J1 (-)

Abb. 4: Einordnung von kognitiven Operationen und Prozeduren aus acht Modellansätzen aus der Literatur in die Systematik (Zuordnung der Bezeichnungen im Text)

Die (+) und (-) zeigen an, ob die Ausgangsinformation mitgespeichert wird (+) oder nicht (-). (basierend auf Sommerfeld 1994)

Die Abbildung zeigt: Die Modell-Operationen und -Prozeduren liegen bis auf einen Spezialfall in der Diagonale der Matrix. Das bedeutet, dass sie, analog zu den Klix-Operationen und -Prozeduren, in der großen Mehrheit der Fälle formal dadurch ausgezeichnet sind, dass sich bei ihrer Anwendung Information und Struktur (der repräsentierenden kognitiven Struktur) gleichsinnig verändern.

Basierend darauf kann für vierzehn der sechzehn oben angeführten Modell-Operationen und -Prozeduren aufgezeigt werden, dass sie auch durch die Klix-Operationen und -Prozeduren bzw. durch Kombinationen daraus beschrieben werden können. Um diesbezüglich auch für die Prozeduren "Bildung eines Situationsmodells" nach Kintsch und van Dijk (Ki3) und "Bildung eines mentalen Modells" (J1) nach Johnson-Laird präzise Aussagen machen zu können, sind noch weitere Analysen erforderlich. Entsprechendes gilt auch für Aussagen zu neueren Modellen.

Mit der Systematik kognitiver Strukturtransformationen können wir den Klix-Operationen und -Prozeduren modelltheoretisch ausgezeichnete Eigenschaften zuordnen. Auch für kognitive Operationen und Prozeduren aus acht Modellansätzen der Literatur erhalten wir eine analoge Zuordnung. Das un-

terstreicht die Relevanz der modelltheoretisch so ausgezeichneten Eigenschaften unserer Systematik.

Die große Ähnlichkeit der Verteilungen in Abbildung 3 und Abbildung 4 lässt vermuten, dass die von Klix aufgezeigte Eigenschaft der Anforderungsinvarianz seiner Operationen und Prozeduren auch für die Operationen und Prozeduren aus den anderen Modellansätzen gelten. Ein inhaltlicher Vergleich der durch die jeweiligen Operationen bzw. Prozeduren beschriebenen Abläufe unterstreicht diese Vermutung. Insofern können wir von modelltheoretischer Seite her die Aussage von Klix und Lanius unterstützen:

"Allem Anscheine nach haben wir es hier mit der Entstehung von Universalien im menschlichen Denken zu tun." (Klix/Lanius 1999)

Nach dem Bezug der Klix-Operationen und -Prozeduren zu Operationen und Prozeduren aus Modellansätzen haben wir auch nach Beziehungen gefragt zu *experimentell* nachgewiesenen Operationen und Prozeduren, und zwar zu solchen, die Elemente einer *vollständig* systematisierbaren und formalisierbaren Menge sind.

2.4 Einordnung von experimentell nachgewiesenen Operationen und Prozeduren in die Systematik kognitiver Strukturtransformationen

Die untersuchte Problemklasse ist die Klasse der linearen Ordnungsprobleme (vgl. z.B. Bower 1970; Potts 1975; Banks 1977; Groner 1978; Pliske/Smith 1979; Krause 1982, 2000; Sommerfeld 1994, 2008; Petrusic 2001). Für die Lösung eines linearen Ordnungsproblems bekommen die Vpn Aussagen der Form $v_i r v_j$ (i, j = 1,..., n) über Paare ($v_i v_j$) von n Elementen (einer gegebenen Menge), die in einer Ordnungsrelation (d.h. in einer transitiven, irreflexiven, asymmetrischen Relation) r stehen, sukzessiv dargeboten. Die Elemente sind z.B. Begriffe oder Bilder (bzw. Bildelemente). Über der Menge der Elemente besteht eine lineare Ordnung bezüglich r. Die Vpn erhalten nur Informationen über Elemente, die in dieser Ordnung direkt benachbart sind (dargeboten in einer Zufallsreihenfolge). Sie müssen auf der Grundlage der extern gegebenen Information über die Menge von Aussagen der Form "v_i r v_i" eine interne Repräsentation aufbauen, um in der anschließenden Phase die an sie gestellte kognitive Anforderung bewältigen zu können. Diese Anforderung besteht darin, alle möglichen Fragen der Art $v_k r v_l$?" (k, l = 1,..., n) nach gegebener und daraus ableitbarer Information beantworten zu können.

Die Klasse der linearen Ordnungsprobleme hat den Nachteil, relativ speziell zu sein. Sie hat jedoch den Vorteil, dass intern ausgebildete *kognitive*

Strukturen auf der Basis von Reaktionszeitfunktionen (bestimmt durch den Symbol-Distanz-Effekt, Pliske/Smith 1979) experimentell nachgewiesen werden können (Krause 1982, 1985). Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Menge der Operationen und Prozeduren der Klasse der linearen Ordnungsprobleme vollständig systematisierbar und formalisierbar ist (vgl. Groner 1978; Sommerfeld, 1994). Experimentelle Ergebnisse zu unterschiedlichen linearen Ordnungsproblemen liegen vor (Krause et al. 1987, 1989; Kotkamp 1999; Sommerfeld 1994; Krause 2000; vgl. auch Sommerfeld/Krause 2013).

Wenn nun die *experimentell nachgewiesenen* Operationen und Prozeduren dieser *speziellen*, jedoch *vollständig* systematisierbaren und formalisierbaren Problemklasse den *anforderungsinvarianten* Klix-Operationen bzw. -Prozeduren (oder Kombinationen daraus) entsprechen würden, dann würde das einen wichtigen Hinweis dafür liefern, dass die Klasse der Ordnungsprobleme zur Messung geistiger Leistungen geeignet ist – für den Fall, dass die Denkleistung über die Anwendung (bewerteter) Operationen gemessen wird.

In Abbildung 5 ist die Einordnung der experimentell nachgewiesenen Operationen und Prozeduren aus der Klasse der linearen Ordnungsprobleme in die Systematik skizziert.

Struktur Informa- tionsgehalt	keine Änderung	Vergrößerung	Verkleinerung	Vergrößerung und Verkleinerung
keine Änderung				
Vergrößerung	-	Inferenz, Integration		
Verkleinerung	-		Selektion	
Vergrößerung und Verkleinerung	-			hierarchische Struktur- bildung

Abb. 5: Einordnung der experimentell nachgewiesenen Operationen und Prozeduren aus der Klasse der linearen Ordnungsprobleme in die Systematik

(basierend auf Sommerfeld 1994)

Die Abbildung zeigt: Die experimentell nachgewiesenen Operationen und Prozeduren aus der Klasse der linearen Ordnungsprobleme liegen in der Diagonale der Matrix. Das bedeutet, dass sie, analog zu den Klix-Operationen und -Prozeduren, formal dadurch ausgezeichnet sind, dass sich bei ihrer Anwendung Information und Struktur (der repräsentierenden kognitiven Struktur) gleichsinnig verändern. Basierend darauf kann gezeigt werden, dass diese Operationen und Prozeduren der *speziellen* Klasse der linearen Ordnungsprobleme auch durch die *universellen* Klix-Operationen und –Prozeduren (bzw. durch Kombinationen daraus) beschrieben werden können.

Damit lassen sich den experimentell nachgewiesenen kognitiven Strukturen dieser speziellen Klasse Eigenschaften zuordnen wie sie für die Messung von Denkleistungen eine Rolle spielen. Die Verknüpfung der Eigenschaft "Anforderungsinvarianz" der Klix-Universalien mit den Eigenschaften "exakte Definition", "experimenteller Nachweis auf der Basis von Reaktionszeitfunktionen" und "vollständige Systematisierbarkeit und Formalisierbarkeit" der Ordnungsproblem-Operationen und -Prozeduren unterstreicht die Bedeutung von Ordnungsproblemen für die Messung geistiger Leistungen.

3. Zusammenfassung

Gehen wir nun zurück zum Ausgangspunkt des Vortrags und fassen zusammen.

"Eine Denkoperation ist eine innere Transformation von Informationen von einer Form in eine andere. Solche Operationen löschen die bereits bestehenden Gedächtnisstrukturen nicht aus, sondern schaffen neue Strukturen..." (Posner 1976)

Für eine Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung sind sowohl die inhaltliche und formale Definition von Denkoperationen erforderlich als auch ihr empirischer Nachweis.

- 1. Friedhart Klix hat sechs elementare kognitive Operationen und vier kognitive Prozeduren *empirisch* aufgezeigt, und er hat sie durch ihre *evolutionäre Herausbildung* begründet. Damit ist sowohl ihre Anforderungsrelevanz als auch ihre Anforderungsinvarianz belegt worden.
- 2. In diesem Beitrag wurden kognitive Operationen von der *theoretisch-systematischen* Seite her definiert und auf dieser Basis auch von modelltheoretischer Seite her die Universalität der Klix-Operationen und –Prozeduren gestützt. Das ist ein möglicher *Weg*, um in Richtung einer Vollständigkeitsbetrachtung für kognitive Operationen zu gehen.

Basierend darauf wurde weiterhin aufgezeigt, wie der universelle Charakter der Klix-Operationen und -Prozeduren als Basis dienen kann für die Bewertung einer speziellen Problemklasse als eine mögliche Methode zur Messung geistiger Leistungen.

Literatur

- Anderson, John R.; Bower, Gordon H. (1973): Associative Memory. Washington: Winston
- Anderson, John R. (1983): The Architecture of Cognition. Cambridge/MA: Harvard University Press
- Banks, William P. (1977): Encoding and processing of symbolic information in comparative judgements. In: Bower, Gordon H. (ed.): The Psychology of Learning and Motivation, Vol. 11. New York: Academic Press, S. 101–106
- Bower, Gordon H. (1970): Analysis of mnemonic device. In: American Scientist, 58, S. 496-510
- Buffart, Hans; Leeuwenberg, Emanuel (1983): Structural Information Theory. In: Geißler, Hans-Georg; Buffart, Hans, Leeuwenberg, Emanuel; Sarris, Victor (eds.): Modern Issues in Perception. Berlin, Amsterdam: DVW, North Holland, S. 48–72
- Collins, Allan M.; Quillian, M. Ross (1969): Retrieval time from semantic memory. In: Journal Verbal Learning and Verbal Behavior, 8, S. 241–248
- Coombs, Clyde H.; Dawes, Robyn M.; Twersky, Amos. (1970): Mathematical Psychology. Englewood Cliffs/N.J.: Prentice Hall
- Dörner, Dietrich (1974): Die kognitive Organisation beim Problemlösen. Bern: Huber
- Feger, Hubert (1972): Skalierte Informationsmenge und Eindrucksurteil. Bern: Huber
- Fleischer, Lutz-Günther (2013): Information und Entropien: Komplexe Werk- und Denkzeuge des Prinzips Einfachheit. Vortrag im Arbeitskreis "Prinzip Einfachheit" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 21.03.2013 (Abstract: http://leibnizsozietaet.de/tagung-des-arbeitskreises-prinzip-einfacheit/#more-4991)
- Fleissner, Peter; Hofkirchner, Wolfgang (1995): Informatio revisited. Wider den dinglichen Informationsbegriff. In: Informatik Forum Bd. 9, H. 3, S. 126–131 (http://cartoon.iguw.tuwien.ac.at/igw/menschen/hofkirchner/papers/InfoConcept/Informatio_revisited/in-format.pdf)
- Fuchs, Christian; Hofkirchner, Wolfgang (2002): Ein einheitlicher Informationsbegriff für eine einheitliche Informationswissenschaft. In: Floyd, Christiane; Fuchs, Christian; Hofkirchner, Wolfgang (Hg.): Stufen zur Informationsgesellschaft. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski. Frankfurt/M.: Peter Lang, S. 241–281
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1999): Information, Selbstorganisation und Evolution Informationsentstehung – eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie. Paper eines Vortrages am 7. Internationalen Kongress der Internationalen Gesellschaft für Semiotik (IASS/AIS) "Sign Processes in Complex Systems" am 04.10.1999 in Dresden (zitiert in Fuchs/Hofkirchner 2002)

- Groner, Rudolf (1978): Hypothesen im Denkprozess. Bern: Huber
- Harary, Frank (1969): Graph Theory. Reading/MA: Addison-Wesley. New edition (1994): Perseus Books
- Harary, Frank; Norman, Robert Z.; Cartwright, Dorwin (1965): Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs. New York: Reading
- Hörz, Herbert (1984): Information und Weltanschauung. In: Pädagogische Forschung, Wissenschaftliche Nachrichten, H. 25 2, S. 13–25
- Johnson-Laird, Philip N. (1983): Mental Models: Toward a Cognitive Science of Language. Cambridge/MA: Harvard University Press
- Kintsch, Walter; van Dijk, Teun A. (1978): Towards a model of text comprehension and production. In: Psychological Review, 85, S. 363–394
- Klimesch, Wolfgang (1988): Struktur und Aktivierung des Gedächtnisses. Das Vernetzungsmodell: Grundlagen und Elemente einer übergreifenden Theorie. Berlin: DVW
- Klix, Friedhart (1962): Elementaranalysen zur Psychophysik der Raumwahrnehmung. Berlin: DVW
- Klix, Friedhart (1971): Information und Verhalten. Berlin: DVW
- Klix, Friedhart (1990): Wissensrepräsentation und geistige Leistungsfähigkeit im Lichte neuer Forschungsergebnisse der kognitiven Psychologie. In: Zeitschrift für Psychologie, H. 198, S. 165–187
- Klix, Friedhart (1992): Die Natur des Verstandes. Göttingen u.a.O.: Hogrefe
- Klix, Friedhart (1993): Erwachendes Denken. Heidelberg u.a.O.: Spektrum Akademischer Verlag
- Klix, Friedhart (2004): Information in Evolution und Geschichte. In: Krause, Bodo; Krause, Werner (Hg.): Psychologie im Kontext der Naturwissenschaften. Festschrift für Friedhart Klix zum 75. Geburtstag. In: Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 12, S. 27–41
- Klix, Friedhart; Krause, Bodo (1969): Zur Definition des Begriffs "Struktur", seinen Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie. In: Zeitschrift für Psychologie, H. 176, S. 22–54
- Klix, Friedhart; Lanius, Karl (1999): Wege und Irrwege der Menschenartigen. Wie wir wurden, wer wir sind. Stuttgart u.a.O.: Kohlhammer
- Kluwe, Rainer H.; Haider, Hilde (1990): Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. In: Sprache und Kognition, H. 4, S. 173–192
- Kotkamp, Uwe (1999): Elementares und komplexes Problemlösen. Über Invarianzeigenschaften von Denkprozessen. Lengerich: Pabst
- Krause, Werner (1982): Eye fixation and three-term series problems, or: Is there evidence for task-independent information units. In: Groner, Rudolf; Fraisse, Paul (eds.): Cognition and Eye Movements. Berlin: DVW, S. 122–138
- Krause, Werner (1985): Komponentenanalyse des Symbol-Distanz-Effektes mit Hilfe von Augenbewegungsmessungen. In: Zeitschrift für Psychologie, H. 3, S. 259–272
- Krause, Werner (2000): Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht. Göttingen u.a.O: Hogrefe
- Krause, Werner; Seifert, Rosemarie; Sommerfeld, Erdmute (1987): Ausbildung und Transformation kognitiver Strukturen im Problemlösen. ZKI-Informationen 2/87. Berlin: AdW der DDR

- Krause, Werner; Sommerfeld, Erdmute; Höhne, Günter; Sperlich, Horst (1989): Aufwandsminimierende Umstrukturierung von Wissensstrukturen der Konstruktion im menschlichen Gedächtnis. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Ilmenau, H. 89, S. 51–54
- Lewin, Kurt (1936): Principles of Topological Psychology. New York: McGraw-Hill
- Leeuwenberg, Emanuel (1968): Structural Information of Visual Patterns. Paris: Mouton & Co.
- Lompscher, Joachim (1972): Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung geistiger Fähigkeiten. Berlin: DVW
- MacKay, Donald M. (1950): Quantal aspects of scientific information. In: Philosophical Magazine, 41, S. 289–311
- Nenniger, Peter (1980): Anwendungsmöglichkeiten der Graphentheorie in der Erziehungswissenschaft. In: Zeitschrift für empirische Pädagogik, H. 4, S. 85–106
- Opwis, Klaus; Lüer, Gerd (1996): Modelle der Repräsentation von Wissen. In: Albert, Dietrich; Stapf, Kurt-Hermann (Hg.): Enzyklopädie der Psychologie, Ser. 2, Kognition, Bd. 4, Gedächtnis. Göttingen u.a.O.: Hogrefe, S. 337–431
- Petrusic, William M. (2001): Contextual effects and associative processes in comparative judgements with perceptual and symbolic stimuli. In: Sommerfeld, Erdmute; Kompass, Raul; Lachmann, Thomas (eds.): Fechner Day 2001: The 200th Birthday of Gustav Theodor Fechner. Proceedings of the Seventeenth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics. Lengerich u.a.O.: Pabst Science Publishers, S. 75–80
- Pliske, Rebecca M.; Smith, Kirk H. (1979): Semantic categorization in a linear order problem. In: Memory and Cognition, 7, S. 297–302
- Posner, Michael I. (1976): Kognitive Psychologie. München: Juventa
- Potts, George R. (1975): Bringing order to cognitive structures. In: Restle, Frank; Shiffrin, Richard M.; Castellan, N. John; Lindman, Harold R.; Pisoni, David B. (eds.): Cognitive Theory, Vol. 1. New York: Wiley, S. 247–270
- Prinz, Wolfgang (1983): Wahrnehmung und Tätigkeitssteuerung. Göttingen u.a.O.: Hogrefe
- Rost, Jürgen (1980): Gedächtnispsychologische Grundlagen naturwissenschaftlichen Wissens. Basel: Beltz
- Sachs, Horst (1970): Einführung in die Theorie der endlichen Graphen. Leipzig: Teubner
- Selz, Otto (1913): Über die Gesetze des geordneten Denkverlaufs. Stuttgart: Spemann
- Shannon, Claude E.; Weaver, Warren (1949): Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. München, Wien: Oldenbourg
- Sommerfeld, Erdmute (1994): Kognitive Strukturen. Münster, New York: Waxmann
- Sommerfeld, Erdmute (2008): Memory Psychophysics an interdisciplinary approach. In: Plath, Jörg Peter; Haß, Ernst-Christoph (eds.): Vernetzte Wissenschaften Crosslinks in Natural and Social Sciences. Berlin: Logos, S. 205–241
- Sommerfeld, Erdmute (2009): Aufklärung von Basisprozessen menschlicher Informationsverarbeitung. Ein systematischer Zugang durch Elementaranalyse von Denkprozessen bei der Lösung von Ordnungsproblemen? In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 101, S. 93–110 (Ausführliche Fassung in Leibniz-Online 6/2009. www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/11/05-Sommerfeld 2009 04 281.pdf)

- Sommerfeld, Erdmute; Krause, Werner (2013): "Objektiv, aber speziell": Psychologie als Naturwissenschaft. Leibniz Online 15/2013 (www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2013/11/sommerfeld krause-3.pdf)
- Sommerfeld, Erdmute; Sobik, Fred (1994): Operations on cognitive structures their modelling on the basis of graph theory. In: Albert, Dietrich (ed.): Knowledge Structures. Berlin u.a.O: Springer, S. 146–190
- Sydow, Hubert (1980): Mathematische Modellierung der Strukturrepräsentation und der Strukturrekennung in Denkprozessen. In: Zeitschrift für Psychologie, H. 2, S. 166–197
- Sydow, Hubert; Petzold, Peter (1981): Mathematische Psychologie. Berlin: DVW
- van Dijk, Teun A.; Kintsch, Walter (1978): Strategies of Discourse Comprehension. New York: Academic Press

Joachim Hoffmann

Anticipations in Perception and Action Control

Prologue

The basics for a 'Psychology of Human Information Processing' were led in the middle of the last century: In 1949, Claude Elwood Shannon and Warren Weaver published a book entitled 'The mathematical theory of communication' which provided the mathematics for a measurement of information (cf. Shannon/Weaver 1949). One year before, Norbert Wiener argued that control and communication can be likewise studied in animal and machine (cf. Wiener 1948). Allan M. Turing discussed in 1950 'intelligence' as being a possible feature of computing machines and John von Neumann delivered the structural architecture of such 'intelligent machines' (cf. Turing 1950; v. Neumann 1958).

All these developments strongly influenced academic psychology and when William Edmund Hick from Cambridge reported that the reaction time (RT) linearly increase with the information (the entropy) of the presented stimuli, the strong belief emerged that the perception of stimuli and the selection and performance of an appropriate response can be described as processing of information (cf. Hick 1952). The arising hope, that human information processing can be finally understood by its simulation in 'intelligent machines' was confirmed, only nine years later, by Alan Newell and Herb Simon from Carnegie Mellon University (cf. Newell/Simon 1961). They implemented a computer program, the so called 'General Problem Solver', which was able to solve simple problems like the tower of Hanoi. The information processing approach was born and Ulric Neisser gave the new movement its name by a book he entitled "Cognitive Psychology". Neisser defined 'cognition' as referring ,....to all the processes by which sensory input is transformed, reduced, elaborated, stored, recovered, and used." (Neisser 1967, S. 4). Accordingly, academic psychology started to analyse all these processes, i.e. perception, attention, memory, language, thinking, learning etc.

Friedhart Klix not only integrated all these new approaches in his seminal book 'Information und Verhalten' (information and behaviour) but additionally argued that organismic information processing can be only understood if it is related to its function in the control of behaviour (cf. Klix 1971). In the present text I depart from this fundamental insight. I will especially argue that the reception of information and the control of behaviour are related to each other by anticipations.

Anticipations in Perception

Any action, as simple as it may be, produces changes of the sensory input. Whether we move a finger, our eyes and even if we just talk, in any case we produce some new sensory input for ourselves. Thus, our mind continuously has to distinguish what of the sensory input has been induced by ourselves, and what has been caused otherwise. Without distinguishing self-induced sensory effects from other sensory input, no valid perception, i.e. no valid processing of the information carried by the stimuli, would be possible. An early solution of this basic problem delivered the Reafference Principle (henceforth RP). The RP has been first discussed by Erich von Holst and Horst Mittelstaedt in a paper published in 1950. In the introduction the authors explained their concern as follows (Holst/Mittelstaedt 1950 p.464):

"Wir fragen nicht nach der Beziehung zwischen einer gegebenen Afferenz und der durch sie bewirkten Efferenz, also nach dem "Reflex", sondern gehen umgekehrt von der Efferenz aus und fragen: was geschieht im ZNS mit der von dieser Efferenz über die Effektoren und Rezeptoren verursachten Afferenz, die wir die "Reafferenz" nennen wollen?"

(We do not ask for the relation between an afference and the resulting efference i.e. the reflex but rather depart with the efference and ask what happens in the CNS with the afference which has been caused by it, which we call the reafference, translation by the author).

Figure 1 presents a schematic illustration of what von Holst and Mittelstaedt assumed to happen with the 'reafference'. According to the RP any efferent motor command causes via corresponding neuronal networks some action in an effector (e.g. an eye movement). Additionally changes in the environment may happen. The immediate sensory consequences of the action (e.g. the shift of the retinal image) are called reafferences and the sensory input from other sources (e.g. retinal image shifts due to environmental movements) are called exafferences. Both are fed back via corresponding neuronal networks for perception. So far it is a matter of course. The critical assumptions of the RP concern two points: 1) Any efferent motor command goes along with a corollary discharge – the so called efference copy and 2)

The efference copy and the reafference cancel each other out. As a result, only the ex-afferences are transmitted for perception.

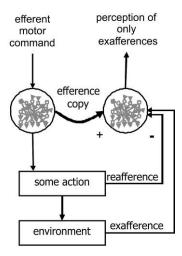


Figure 1: A simplified schematic outline of the reafference principle

There are many observations which confirm the validity of the RP (cf. Holst/Mittelstaedt 1950): For example, in patients suffering from Polyneuritis the kinaesthetic feedback from the muscles is generally reduced. If these patients are pressing a hand against a wall, they report a feeling as if the wall would move back a little bit from the pressure of the hand. According to the RP the phenomenon appears because the kinaesthetic reafference is less strong than the efference copy so that the difference between the copy and the reafference becomes positive what corresponds to a situation in which the wall would move a little bit away, exactly what is perceived.

Or imagine an experiment conducted by the physician Kornmüller. Kornmüller paralysed eye muscles by an injection of curare but gave nevertheless the order to move the gaze to the right. Trying to look to the right, participants reported to see a short flip of the whole environment to the right. Again, the reason is that the shift of the retinal image which typically goes along with a gaze shift fails to appear what corresponds to a situation in which the environment would move with the gaze shift, exactly what the participants have seen.

The RP can be also considered as being responsible for that it is difficult to tickle oneself, what has been very nicely experimentally demonstrated

(cf. Blakemore et al. 2000). The reason is that if we tickle ourselves the efference copies of our movement commands cancel out parts of the resulting sensations (the reafference) so that their tickling effect vanishes or is at least reduced.

Despite the convincing evidence in favour of the RP, there remains a problem: Efferent motor commands and afferent sensations are incommensurable to each other. Consider for example an eye movement. The motor command for an eye movement refers to the contraction of at least three pairs of muscles whereas the resulting shift of the retinal images refers to spatially distributed signals from the retinae. That is, the efference copy cannot be a pure copy of a motor command but must somehow contain anticipations of the to be expected reafference – otherwise it is impossible to see how the "copy" might cancel out the arriving reafference. Thus, the gist of the RP is: Motor commands go along with anticipations of their reliable effects which are charged against the resulting sensory input (cf. Hoffmann 1993).

Anticipations in the Control of Behaviour

It is noteworthy that another theoretical conception claimed a crucial role of anticipations in the control of voluntary behaviour already half a century before the RP: the Ideo-Motor Principle (henceforth IMP). The IMP has British and German roots. In Britain Thomas Laycock and William Carpenter and in Germany Johan Friedrich Herbart, Hermann Lotze and Emil Harless already propagated the idea that the motor outcome influences retroactively the motor control (cf. Stock/Stock 2004). William James finally tied together the ideas of all these scholars to the IMP in his seminal Book "Principles of Psychology" (cf. James 1890/1981). Figure 2 presents a schematic illustration of the basic ideas, reduced to the fewest possible terms.

In the beginning we have some external stimulation 'S' which triggers a motor command 'M' causing via corresponding neuronal networks some action and according changes in the environment, which are fed back by what has been called by James resident and remote effects 'K'. Furthermore, James assumed that by repetition new connections are formed between neuronal representations of 'K' and 'M' (Fig.2, left side). These new connections, he assumed, change the flow of activation in the following way (James 1890/1981 p. 586):

"K may be aroused in any way whatsoever (not as before from S or from without) and still it will tend to discharge into M; or, to express it in psychic terms,

the idea of the movement M's sensory effects will have become an immediately antecedent condition to the production of the movement itself. ...Here, then, we have the answer to our original question of how a sensory process which, the first time it occurred, was the effect of a movement, can later figure as the movement's cause."

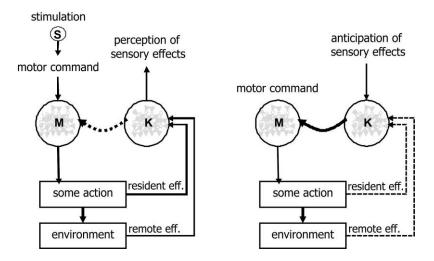


Figure 2: A simplified schematic outline of the Ideomotor Principle

The gist of the IMP is that actions become connected to their sensory consequences so that anticipations (the idea) of such consequences gain the power to trigger the movements that formerly brought them about. In other words: voluntary movements or actions become determined by *anticipations* of their own sensory consequences (cf. Fig. 2, right side).

The IMP was widely acknowledged in the beginning of the last century. However, for the upcoming behaviourism at that time, the assumption that behaviour is determined by something unobservable like an idea was a sacrilege so that behaviourists rejected the IMP in total. For example: Edward Thorndike mocked the IMP in his presidential lecture at the APA Congress in 1913, by saying (Thorndike 1913 p.101):

"Shocking as it may seem, it can be shown that the orthodox belief of modern psychologists, that an idea of a movement tend to produce the movement which is like it, is a true child of primitive man's belief that if you sprinkle water in a proper way your mimicry tends to produce rain."

Thus, it happened that the IMP remained almost without any significant influence on academic psychology for decades. However in the last twenty years the IMP experienced a renaissance especially in experimental psychology. For example, Shin, Proctor, and Capaldi noticed in a comprehensive review already in 2010 that PsycINFO listed 134 entries with ,ideomotor/ideo-motor' in the titles and 517 results with it as a keyword (Shin et al. 2010 p.943).

In order to verify the assumption of an impact of anticipated sensory consequences on the release of an voluntary act, many experiments used an experimental setting proposed by Anthony Greenwald (cf. Greenwald 1970): In a typical choice reaction time experiment the response alternatives are to be connected with different but distinctive sensory consequences so that a possible impact of the sensory consequences on the responses, they are the result of, can be examined. Let us take an example for demonstration (cf. Kunde et al. 2004): In the corresponding experiment, participants are requested to press a key either softly or strongly in response to imperative colour stimuli. Doing so, they produce either a quiet or a loud effect tone. The critical variation concerns the assignment of the effect tones to the keystrokes. Strong keystrokes either produced loud and soft keystrokes produced quiet tones (compatible mapping), or vice versa, strong keystrokes produced quiet and soft keystrokes produced loud tones (incompatible mapping). The results reveal that participants respond faster if their responses triggered tones of compatible intensity than if they triggered incompatible tones. Furthermore the strength (peak forces) of both, of required soft and strong keypresses, are enhanced when a quiet tone results and they are reduced when a loud tone results. The outcome shows that the sensory effects of the required voluntary acts somehow influence their release as well as their performance. These reactive influences of sensory effects has been proven to be very robust (cf. Hoffmann et al. 2007). They appear for various response modes and various effect modalities. In all these experiments, the participants were never required to produce these effects but they simply appeared incidentally after the execution of the response. That they nevertheless impact response latencies and/or response execution shows that anticipations not only of intended but also of non-intended sensory effects are active before the responses were selected and initiated.

The Interplay of Reafference and Ideomotor Principle: Structuring the 'Mental World' by Anticipations

The experience and behaviour of humans are the central matter of psychology. The RP deals with a basic part of experience – perception, and the IMP deals with a basic part of behaviour – the control of voluntary actions. In both conceptions anticipations play a crucial role: in the RP, anticipations of action effects assure the stability of perception and in the IMP, anticipations of action effects allow the determination of voluntary actions. On the one hand it is assumed that sensory anticipations are triggered by actions and at the other hand it is assumed that anticipations trigger actions. In any case, perception as well as behavioural control seem to rely on coincidences between motor and sensory activations.

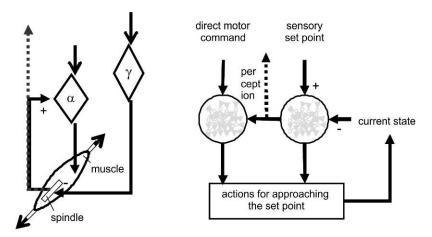


Figure 3: A simplified illustration of the basic elements of the Gammaspindle-loop (left side) and its principle structure (right side)

Coincidences between motor and sensory activation already play an important role in the control of the most elementary motor unit – the muscle. Figure 3 (left side) illustrates the basic elements of the so called gamma spindle loop: A skeletal muscle with enclosed spindles is depicted. The spindles serve as sensors for the current length of the muscle. They start to fire if the muscle is stretched or if the spindle itself (i.e. not the muscle) is contracted by gamma activation. Additionally there is alpha activation by which the skeletal muscle can be contracted. The critical point is that the

spindles have an excitatory connection to the alpha neurons so that a loop control of muscle length is created. Accordingly, there are two principle routes by which a muscle can be and is typically contracted, by direct commands via alpha neurons and by a control loop in which Gamma activation delivers a set point and the spindles work as controller.

On the right side of Figure 3 the principle structure of the gamma-spindle loop is depicted in general terms: A set point is generated which can be understood as the anticipation of a desired state or a goal (e.g. the desired length of a muscle by gamma activation). A comparison of the desired to the current state (e.g. accomplished by spindles) delivers the impulse for some action by which the difference between the current and the desired state is reduced (e.g. alpha activation via the excitatory connection between spindles and alpha neurons). Simultaneously, the differences are forwarded for perception and used in order to tune the activations of an additional direct motor pathway for triggering actions to achieve the set goal (e.g. direct alpha activation).

The point of the matter is the redundant control via two paths: a direct motor pathway and a sensory feedback loop. It might well be that this principle is not only realized for the control of muscles but on all levels of a hierarchical structure for the control of voluntary actions.

Figure 4 illustrates a tentative structure: For the sake of simplicity only four levels are distinguished. On the highest level desired effects (goals) in the environment are specified (e.g. to grasp a cup of coffee). On the next level corresponding effector unspecific set points are generated (e.g. the egocentric location of the cup is fixed to which all limbs have equal access). At this point it is not yet decided e.g. whether to grasp the cup with the right or the left hand. Next, corresponding set points for a certain limb are specified (e.g. the posture of the right arm that brings the right hand to the cup). Finally, the set points for the corresponding muscles are generated (in our example Gamma activations for the muscles of the right arm and hand might be fixed in order to execute a corresponding grasping act). Concurrently, direct motor activations are tuned step for step and level for level in dependence on the continuously reported differences between the forwarded set points and the confirmed current states. These differences simultaneously provide the data for perception.

On each of these levels the principal architecture of the gamma spindle loop with two paths is replicated: a sensory control loop and a direct motor path. And if we look on the architecture on the whole we find the reafference principle, i.e. the anticipation of to be expected reafferences (the set points or desired states) as well as the ideomotor principle, i.e. the determination of motor commands by anticipated sensory input, distributed over different levels.

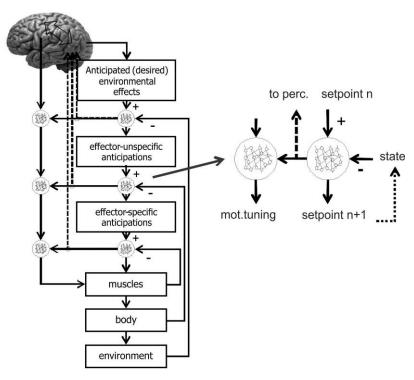


Figure 4: A tentative cascade of anticipative sensory loops and direct motor commands for the control of voluntary behaviour (left side) with an enlarged illustration of one level (right side)

A concrete act will be finally realized by a continuous cascade of sensory control loops running down from top to bottom und back from bottom to top as well as by consecutively tuned direct motor activations.

The learning dependent formation of such hierarchic structures for the control of voluntary acts would lead to the creation of memory structures at different levels (cf. Hoffmann/Engelkamp 2017): At the top, representations of states which are worth to aim at (set points or goal anticipations) are to be fixed by conceptual structures representing for example desired objects,

tools, situations to strive for, etc. Furthermore, it has to be learned which differences between anticipated goals and current states are relevant for the determination of set points or goal anticipations on the respective next subordinated level. In other words, the sensory features that are to attend to in order to behave successfully are accentuated and fixed. Finally, it has to be learned how to tune the accompanying direct motor commands according to the current sensory input that will transform the given states to the desired states. Thus, by a continuous adaptation of sensory anticipations and motor commands on different levels of abstraction we do not only learn how to behave in order to reach our goals, but at the same time we form our perception and the conceptual structure of our mind in accordance to our purposes, or how Friedhart Klix has put it already in 1971:

"Merkmalstransformationen durch aktive Verhalteneingriffe verändern die Umgebungszustände... Dieser Prozeß eröffnet die Ent-deckung der Tiefenstruktur von Informationsquellen. Er gestattet kognitive Strukturbildungen in individuellen Gedächtnissen zu fixieren..."

(The transformation of features by voluntary acts changes the environmental states ... this process allows for a dis-covery of the deep structure of the information sources. It allows the fixation of the created cognitive structures in individual memories ... translation by the author). (Klix 1971 p. 548).

References

- Blakemore, C.A.; Wolpert, D.; Frith C. (2000): Why can't you tickle yourself? NeuroReport, 11, R11-R16
- Greenwald, A. G. (1970): Sensory feedback mechanisms in performance control: with special reference to the ideo-motor mechanism. In: Psychological Review, 77, pp. 73–99
- Hick, W. E. (1952): On the rate of gain of information. In: Quarterly Journal of Experimental Psychology, 4, pp. 11–26
- Hoffmann, J. (1993): Vorhersage und Erkenntnis: Die Funktion von Antizipationen in der menschlichen Verhaltenssteuerung und Wahrnehmung (Anticipation and Cognition: The function of anticipations in the control of human behaviour and perception), Göttingen: Hogrefe
- Hoffmann, J.; Berner, M.; Butz, M. V.; Herbort, O.; Kiesel, A.; Kunde, W.; Lenhard, A. (2007): Explorations of Anticipatory Behavioral Control (ABC): A report from the Cognitive Psychology Unit of the University of Würzburg. In: Cognitive Processing, 8, pp. 133–142
- Hoffmann, J.; Engelkamp J. (2017): Lernen und Gedächtnis (2.Aufl.; Learning and Memory, 2nd ed.), Heidelberg: Springer

- James, W. (1981): The principles of psychology (Vol. 2). Cambridge/MA: Harvard University Press (orig. 1890)
- Klix, F. (1971): Information und Verhalten (Information and Behaviour), Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Kunde, W.; Koch, I.; Hoffmann, J. (2004): Anticipated action effects affect the selection, initiation and execution of actions. In: The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A: Human Experimental Psychology, 57A, pp. 87–106
- Neisser, U. (1967): Cognitive psychology. New York: Appleton
- Newell, A.; Simon, H. A. (1961): GPS, a program that simulates human thought. In: Billing, H. (ed.): Lernende Automaten. München: Oldenbourg, pp. 109–124
- Shannon, C. E.; Weaver, W. (1949): The mathematical theory of communication. Urbana/IL: The University of Illinois Press
- Shin, Y. K.; Proctor, R. W.; Capaldi, E. J. (2010): A review of contemporary ideomotor theory. In: Psychol. Bull., 136, pp. 943–974
- Stock, A.; Stock, C. (2004): A short history of ideo-motor action. In: Psychological Research, 68, pp. 176–188
- Thorndike, E. L. (1913): Ideo-motor action. In: Psychological Review, 20, pp. 91–106
- Turing, A. M. (1950): Computing machinery and intelligence. In: Mind, 59, pp.149-182
- von Holst, E.; Mittelstaedt, H. (1950): Das Reafferenzprinzip (The reafference principle). In: Naturwissenschaften, 37, pp. 464–476
- von Neumann, J. (1958): Die Rechenmaschine und das Gehirn (The Computer and the Brain). München: Oldenbourg
- Wiener, N. (1948): Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. New York: Wiley

Hans-Georg Geißler

Was sind und welche funktionale Bedeutung haben universelle Invarianten der menschlichen Informationsverarbeitung?

Vorbemerkung

Nach den Vorstellungen der modernen Physik wird die Evolution des Universums durch feste Grundgesetze und die darin eingeschlossenen Konstanten bestimmt, die in Abhängigkeit vom jeweils erreichten Zustand den weiteren Gang der Veränderungen determinieren. Fundamental ist hierbei der universelle Charakter der Gesetze und Konstanten, da ohne Gewährleistung ihrer Universalität weder eine zusammenhängende Entwicklung der Welt im ganzen noch ein gesetzmäßiger Ablauf lokaler Vorgänge gedacht werden kann. Dass etwas nicht ganz Unähnliches auch für das Gehirn als "großem System" gelten könnte, dass also insbesondere kognitive Leistungen unter der Wirkung universeller Prinzipien und Konstanten der Hirntätigkeit in Bindung an jeweils verfügbare Information und Verarbeitungsziel sich ganzheitlich organisieren, war über lange Zeit nicht viel mehr als eine interessante Denkmöglichkeit. Für ein vorläufiges, evidenzbasiertes System von Hypothesen, das auf die quantitative Beschreibung des Zusammenwirkens von festen Eigenschaften des verarbeitenden Systems und den jeweiligen inhaltlichen Vorgaben beim Ablauf kognitiver Prozesse abzielt, haben sich das Akronym TQM und im legeren Gebrauch die Bezeichnung "Zeitquantenansatz" durchgesetzt.

Der vorliegende Beitrag ist eine kurz gefasste Einführung in Hauptannahmen des Ansatzes. Für eine breitere Leserschaft werden diese im Kontext von Bedingungen skizziert, die dessen langsame stufenweise Entwicklung ermöglichten. Hierzu gehören maßgeblich Erfahrungen aus der Zeit des Anfangs in den sechziger Jahren am damaligen Berliner Institut für Psychologie in der Oranienburger Strasse 18 mit ihren in einer einmaligen Atmosphäre freundschaftlichen Streits geführten Debatten, an denen der Autor als Mitglied einer interdisziplinär zusammengesetzten Gruppe junger Mitarbeiter teilnehmen konnte – aber ebenso auch der freimütige Austausch über die sich parallel entwickelnden Forschungsvorhaben bis tief in die siebziger Jahre. Die-

ser Artikel ist damit zugleich eine Hommage an Friedhart Klix, der mit aufmerksamen Interesse und behutsamen Vorgaben nach innen und Durchsetzungskraft nach außen – mitten im Kalten Krieg – eine Oase der Wissenschaft möglich gemacht hat.

1. TQM: Anmerkungen zur Vorgeschichte

1.1 Information als funktional orientierter Schlüsselbegriff

Als ein in fortwährender Entwicklung befindlicher Ansatz zur Formulierung von Universalien der Kognition ist TQM angewiesen auf Ergebnisse aus möglichst unterschiedlichen Bereichen und über unterschiedliche Arten kognitiver Leistungen des Menschen und mit den sich ableitenden Fragestellungen zugleich auch auf verfügbare formal-mathematische Instrumente. Im Rückblick gesehen, konnte es sich daher kaum besser fügen als es sich mit den regelmäßigen interdisziplinären Kolloquien des Instituts ergab, zu deren Gästen Verhaltensforscher, Linguisten, Sprachpathologen, Neurophysiologen und Mathematiker aus der näheren Umgebung zählten, bald jedoch auch renommierte Besucher aus dem westlichen Ausland und dem Westen Deutschlands, die sich die Möglichkeit einer Visite über das Einfallstor West-Berlin nicht nehmen ließen.

Eine unter den Entstehungsbedingung von TQM gleichrangige Voraussetzung lag mehr auf begrifflicher Ebene: Zu Klix's "behutsamen Vorgaben" gehörte, dass er zu einer Zeit, in der kybernetische Netzwerkmodelle, Prinzipien der Regelungstheorie und der Selbstorganisation die allgemeine Debatte dominierten, auf 'Information' als übergreifendem Schlüsselbegriff gesetzt und damit die Tür für nachgeordnete problemangepasste Spezifizierungen offen gehalten hatte.

Um die Signifikanz dieser schon früh erkennbaren und 1970 in "Information und Verhalten" (Klix 1970) umfassend zur Wirkung kommenden Sichtweise für spätere Entwicklungen zu begreifen, lohnt es sich, für einen Moment bei ihrer Entstehung und Festigung zu verweilen: Bei Diskussionen zur Verhaltensrelevanz von Maßen der Information in den frühen 1960er-Jahren hatten Gespräche eine Rolle gespielt, zu denen Klix seine jungen Mitarbeiter regelmäßig ins sogenannte Polsterzimmer im dritten Stock des Instituts einlud. Latenter Ausgangspunkt waren omnipräsente Befunde über Reaktionszeiten. Das nach Hick benannte Gesetz besagt, dass, bei gleichberechtigten Antwortalternativen Latenzen in Wahlreaktionen mit dem Logarithmus dualis von deren Anzahl ansteigen, was als Spezialfäll des Shannon'schen Informationsmaßes verstanden werden kann. Funktionsbezogen

interpretiert erfolgt die Antwortauswahl demnach in Stufen binärer Entscheidung. Was aber galt bei ungleichberechtigten Alternativen? Was im Falle anderer Anforderungen, zum Beispiel bei der Suche nach einem bestimmten Objekt in einer Menge von Objekten ("Items")? Um solche und viele weitere Fragen zu beantworten, lag es nahe, den formal-begrifflichen Vorrat zu erkunden, der sich aus Weiterungen des Shannon'schen Informationsbegriffs ergab.

Gemeinsames Studienobjekt war die erste geschlossene Darstellung einer Generalisierung des Shannonschen Konzepts auf Informationsübertragung in Kanälen durch Amiel Feinstein (1958). Grundlage für diese Auswahl war also nicht die sich immer weiter differenzierende kybernetische Begriffswelt als solche, sondern die potentielle Brauchbarkeit der verfügbaren Modelle für die angemessene Darstellung von Funktionsprinzipien der anzunehmenden spezifischen Prozessabläufe. Dass hierzu auch andere, deterministische, Ansätze gehörten, war Klix lange schon bewusst gewesen. Nur hatten über viele Jahre effektiv nutzbare Beschreibungen gefehlt. Der Anschluss kam im Ergebnis zunehmender Bekanntheit des Berliner Arbeitskreises Ende der 1960er-Jahre sozusagen ins Haus gelaufen: an einem der Kolloquiums-Dienstage in der Person von Dr. Voss als Emissär des Nijmegener Instituts, mit E. Leuwenbergs Arbeit zur Strukturellen Information im Gepäck (Leeuwenberg 1967). Klix, der sich zu diesem Zeitpunkt zufällig auf Reisen befand, hat die Arbeit alsbald aufgegriffen. Für den Autor dieser Zeilen wurde sie zum Ausgangspunkt einer Zusammenarbeit, die - nach mehr als einem weiteren Jahrzehnt - in Leipzig schließlich in einen Universitätsvertrag einmünden sollte.

1.2 Mentale Operationszeiten bei einfachen und komplexen Anforderungen

Eine wichtige Implikation des von Leeuwenberg eingeführten Informationsmaßes bestand darin, dass für einfache Aufgaben eine serielle Verarbeitung von Informationseinheiten perzeptiver Repräsentationen nahe gelegt wurde. Für den an Prozessabläufen Interessierten hatten die Ergebnisse aber noch einen Mangel: Sie erlaubten keine Aussagen über verschiedene Anforderungen hinweg bezüglich vergleichbarer Verarbeitungsschritte und deren Verknüpfung in komplexen Abläufen.

Eine Nachricht, die sich für die Lösung dieses Problems als entscheidend erweisen sollte, war mit Mitteilungen über eine von Saul Sternberg (vgl. Sternberg 1966) entwickelte Experimentalsituation von ingeniöser Einfachheit bereits früher am Institut eingetroffen. Darin hatten Probanden unter-

schiedlich große Teilmengen von Mengen uniform strukturierter Objekte ("Items"), z.B. Ziffern, im Gedächtnis zu halten. Danach hatten sie, so schnell wie mit ausreichender Sicherheit möglich, zu entscheiden, ob ein dargebotenes Item zur jeweils memorierten Teilmenge gehörte oder nicht. Die in guter Näherung linearen, für positive und negative Antworten gleichen Anstiege der Reaktionszeiten mit der Anzahl der Items ließen sich zwanglos als Belege für einen im Gedächtnis ablaufenden erschöpfenden seriellen Vergleich des Testitems mit den dort gespeicherten Items interpretieren. Damit sollte die Zunahme der Reaktionszeit pro zusätzlichem Item ein Maß der für einzelne Items erforderlichen Operationszeit sein.

Nicht untypisch für das Flair und die vernetzte Arbeitsweise am Institut, hatte die Information über Sternbergs Experiment den Autor durch einen Anruf des Linguisten Manfred Bierwisch am Morgen desselben Tages erreicht, an dem Klix ihn gegen Mittag zu sich bat, um ihm die von einer Tagung mitgebrachte Arbeit Sternbergs zu überreichen. Er tat das mit der Bemerkung, dass damit nun wohl eine Prozedur zur Verfügung stehe, die im Grundsatz auch in anderen Situationen die Berechnung kognitiver Operationszeiten erlauben sollte.

Sternberg's Originalparadigma ist in ungezählten Abwandlungen zur Anwendung gekommen. Ganz im Geiste von Klix' Bemerkung, ging es in den späteren Arbeiten am Institut um etwas anderes, nämlich Übertragungen der grundlegenden Logik auf verschiedene Klassen von Anforderungssituationen. Die Umsetzung dieses Anliegens erforderte nicht nur Erkundungsversuche zum Zwecke der Erprobung neuer paradigmatischer Situationen, sondern auch den Aufbau von Forschungsgruppen, deren studentische Mitglieder zumeist die eigentlichen Träger der Forschungsarbeit wurden.

Unter den ausgereiften Studienobjekten der siebziger Jahre nahmen schließlich komplex strukturierte Objekte und Situationsbeschreibungen die Position uniformer Objekte im Sternbergparadigma und relationale Prüfalgorithmen die Stelle einfacher serieller Vergleiche ein. Zur Illustration möge die visuellen Testanforderungen entlehnte Experimentalsituation dienen, die in der von Autor zusammen mit Scheidereiter angeleiteten studentischen Forschungsgruppe "Perzeption" zur Anwendung kam. Als Testmaterial dienten hier Stränge aus unterschiedlich gemusterten quadratischen Elementen. Die Aufgabe der Probanden war es, Wiederholungen verschieden positionierter Teilstränge gleicher Musterung zu erkennen. Die Vergleichbarkeit des angenommenen Lösungsprinzips mit dem für Sternbergs Aufgabe unterstellten Prinzip bestand in der Annahme, dass in der erweiterten relationalen Anforderung interne isomorphe Repräsentationen der Musterstränge in seri-

ellen Schritten miteinander verglichen werden. Die Anlage des Experiments mit seinen Variablen erlaubte durch deren genau bestimmte Wirkung im Rahmen des Modells vielfältige Konsistenzprüfungen, die das angenommene Schema der Detektion von Wiederholungen eindrucksvoll bestätigten (vgl. Geissler et al. 1978).

2. Der TQM-Ansatz: Anlässe und Schritte der langsamen Entstehung

2.1 "Magische" Ordnung in Operationszeiten: Die Entdeckung ganzzahliger Beziehungen

Für die große Mehrheit quantitativ orientierter Psychologen sind Konstanten gewohnheitsgemäß (immer noch) nichts anderes als stabile Größen, die sich bei der Anpassung von Daten an angenommene, mathematisch ausdrückbare Gesetzmäßigkeiten ergeben können. Ebenso ist die Auffassung habituell, dass es darüber hinaus keine durch die Psychologie beantwortbare Frage zu deren Natur oder Herkunft gibt. Sollten sich Übereinstimmungen von Parameterschätzungen zwischen qualitativ unterschiedlichen Situationen herausstellen, so wird man bestenfalls auf deren Herkunft aus Eigenschaften der zu Grunde liegenden physiologischen Mechanismen und Vorgänge verweisen und damit die Hirnphysiologie in die Verantwortung nehmen.

Die Logik von TQM besagt, bezogen auf zeitliche Regularitäten der menschlichen Kognition, dass die Dinge auch ganz anders liegen könnten: Sollte sich nämlich zeigen, dass aus psychologischen Datensätzen stabile Konstanten herausgefiltert werden können, die die Wirkung externer Variablen auf mentale Leistungen und deren Zusammenhänge bestimmen, so könnten diese Konstanten und Beziehungsstrukturen gerade umgekehrt als effektive Hilfsmittel dazu dienen, in den sonst extrem unübersichtlichen Erregungsmustern des Gehirns die zugehörigen physischen Korrelate zu identifizieren.

Um eine solche Möglichkeit ernsthaft prüfen zu können, muss der Blick von den Inhalten der untersuchten Vorgänge weg auf scheinbar rein formale Aspekte gerichtet werden. Und an die Stelle der Würdigung der Resultate eines inhaltlich wohlgeplanten Versuchs muss die Analyse der Ergebnisse möglichst unterschiedlicher Experimente treten. Im Kontrast zu den gängigen Routinen des Forschungsalltags verlangte diese Option den Zugang zu ausreichend diskrepanten und dabei doch vergleichbaren Datenquellen. Am Tisch der gemeinsamen Kolloquien der Berliner Forschungsgruppen war gerade diese Bedingung erfüllt wie kaum irgendwo sonst.

Um das allmähliche Aufdämmern des Bilds einer strengen zeitlichen Ordnung einigermaßen nachzuvollziehen, genügt heute ein Blick in zwei Publikationen. Der oben schon zitierte Bericht der Arbeitsgruppe "Perzeption" weist als Schätzungen von Operationszeiten die Werte (in ms) 62, 62, 63 und 54 aus. In der zusammenfassenden Darstellung von Experimenten mit semantischen Materialien der Gruppe "Begriffsbildung" (vgl. Hoffmann et al. 1980) erscheinen dagegen in den meisten Fällen wesentlich höhere Werte. So erhielt Hoffmann neben einer Operationszeit von 55 ms auch Beträge von ungefähr 250 ms. Elke van der Meer konnte für die von ihr untersuchten Bedingungen zeigen, dass alle empirischen Werte mit hoher Präzision als Kombinationen apriori angenommener Operationszeiten von 220 ms oder 110 ms dargestellt werden können. Für sechs Fälle erhält man, in der berichteten Reihenfolge, als (relative) systematische Abweichungen von den empirischen Werten 0; 0; 0,007; -0,01; 0,016 und 0,028. Die Voraussagen liegen somit im Mittel nur ca. sieben Tausendstel über den empirischen Werten, was für 220 ms einem korrigierten Wert von 218,5 ms entspricht.

An den Schätzungen unmittelbar erkennbar ist eine Verdoppelungsbeziehung zwischen ausgezeichneten Operationszeiten in der Nähe von 55, 110 und 220 Millisekunden. Für eine umfassendere Beschreibung lag der Gedanke nahe, unter Einschluss der am besten gesicherten Operationszeiten für Ziffern im Sternbergversuch (36,81 \pm 0.71 ms) und dessen Replikation durch Marianne W. Kristofferson 1973 (36,2 \pm 0.7 ms) nach einem größten gemeinsamen Teiler Q in der Bedeutung einer modularen Einheit zu suchen. Die Brauchbarkeit dieser Idee illustriert schon ein Überschlag für den Wert Q = 9,1 ms, dessen Vielfache 4Q = 36,4 ms; 6Q = 54,6 ms; 7Q = 63,7 ms; 12Q = 109,2 ms und 24Q = 218.4 ms (!) den oben angegebenen Schätzungen sehr nahe kommen.

2.2 Umrisse diskreter Verarbeitungsstrukturen

Mit Strukturen der beschriebenen Art war eine den Daten innewohnende quantenhafte Ordnung aufgedeckt. Vor allem aber konnte mit einem gewissen Recht in dem gefundenen Grundintervall von ca. neun Millisekunden Dauer eine Invariante schrittweiser Informationsverarbeitung vermutet werden. Wie sich aus solchen Elementarzeiten in Verflechtung mit der Aufgabenlösung reguläre Zeitstrukturen wie die beobachteten ergeben können, lag jedoch noch im Dunklen. Um in Richtung auf eine verallgemeinerungsfähige Lösung des Problems voranzukommen, musste man zunächst möglichst nahe an den untersuchten Anforderungen bleiben, bei denen es sich

im weitesten Sinne um visuelle Erkennungssituationen handelte. Kritische Beiträge kamen in einem ersten Schritt aus Studien zur Aktualgenese an strukturierten Objekten, danach auch aus weiterführenden Analysen komplexerer Erkennungsleistungen.

Quantale Epochen der Aktualgenese

Die Möglichkeit eines Vergleichs von Leistungen im Sternbergversuch mit aktualgenetischen Befunden eröffnete sich erstmals 1974 mit einem Tagungsbeitrag von Vanagas et al. (1976). In den dort berichteten Experimenten wurden Probanden in der Erkennung von visuellen Mustern als Elementen von Mengen von Mustern unterschiedlichen Umfangs trainiert. Für den Nachweis elementarer Operationszeiten entscheidend ist, dass bei diesem Versuchstyp die Häufigkeiten richtiger Erkennung, dargestellt als Funktionen der Darbietungszeiten, in die Rolle von Reaktionszeiten als abhängigen Variablen im Sternbergversuch eintreten. Nach extensivem Training zeigten sich stufenartige Verläufe einer mittleren Stufenlänge von ca. neun Millisekunden, in guter Übereinstimmung mit den chronometrischen Schätzwerten für Q (siehe oben). Für die Anzahl der Stufen ergab sich angenäherte Proportionalität zum Logarithmus dualis des Mengenumfangs ("Alphabetgröße"), was auf eine stufenweise Abarbeitung analog der für das Hick'sche Gesetz angenommenen hinweist. Eine erst 1984 möglich werdende computergestützte Analyse in Zusammenarbeit mit H. Buffart (vgl. Geissler 1985a) erbrachte als genauere Abschätzung von Q den Wert 9,14 ms, der sich in der Folge als Standard bewährte (vgl. auch Geissler 2018, Tab.1.1, S. 12).

Repräsentation und serielle Abarbeitung: Das Problem der "Scheinbaren Redundanz"

Zusammengenommen stützen die bisher angeführten Beispiele die Annahme, dass unter Bezug auf aufgabenspezifische interne Repräsentationen von Information unterschiedliche, in ihrer zeitlichen Gliederung in quantalen Einheiten aber gleichartige serielle Prozesse ablaufen. Eine volle Deckung zwischen Substrukturen der Objektrepräsentation und zeitlichen Einheiten der ablaufenden Prozesse ist nur bei der Gedächtnissuche im Sternbergexperiment, und auch dort nur im Falle gleichmäßiger Merkmalskodierung, gegeben. Das Prinzip aufgabenabhängiger Nutzung mentaler Repräsentationen ist als "Geleitete Inferenz" zuerst in Geissler und Buffart (1985) vorgestellt worden. Grundlegend für den experimentellen Nachweis seiner Gültigkeit sind regelhafte Abweichungen ("Scheinbare Redundanz") der beobachteten

Verarbeitungszeiten von Voraussagen, die sich aus der Anzahl der, in einer gegebenen Situation rein logisch notwendigen, Prüfschritte ergeben (Geissler 1985b; vgl. auch Geissler 2004).

Im Weiteren werden Hauptannahmen anhand exemplarischer Befunde eingeführt.

3. TQM: Drei Hauptannahmen im Schnelldurchgang

Hinweise auf universelle Grundlagen

Schon die ersten Anzeichen für gequantelte Abläufe bei einfachen Erkennungsaufgaben hatten die Frage nach einer breiteren oder gar universellen Signifikanz zeitlich quantenhafter Verarbeitung aufgeworfen. Auf der Ebene direkt beobachtbarer Regularitäten waren relevante Vorgänger rasch gefunden, die schon früher erhebliche Aufmerksamkeit auf sich gezogen hatten. Eine einschlägige Entwicklungslinie hatte ihren Ursprung schon Mitte des 19. Jahrhunderts in der durch den Biologen von Baer vorgetragenen Idee einer kleinsten zeitlichen Einheit der Perzeption, dem Psychologischen Moment, die eine vorläufige Bestätigung in Berichten über Verschmelzungsschwellen von 1/18 Sekunden (~55,5 ms) fand. Etwa der gleiche Wert wurde später von Brecher (Brecher 1933) für den Tastsinn gefunden - mit dem Unterschied, dass Brecher verlässliche Einzeldaten für 14 Personen berichtete, die Messungen an Hautpartien unterschiedlicher Rezeptordichte sowie den Einfluss von Drogen einschlossen. Brechers Ergebnisse wurden schließlich durch von Békésy aufgegriffen in einem Experiment zur Wahrnehmung schwellennaher periodischer Luftdruckschwankungen im Infraschallbereich (v. Békésy 1936), das das erste Beispiel multipler Zeitstrukturen anlog den für Operationszeiten in Erkennungssituationen berichteten Zeiten erbrachte. Im Experiment waren, beginnend im unterschwelligen Bereich, für feste Frequenzen die Reizintensitäten kontinuierlich bis zur Wahrnehmbarkeit gesteigert worden. Im sonst stetigen Schwellenverlauf zeigten sich hierbei senkrechte Brüche, dargestellt als Funktion der Periodendauer bei Perioden von ~27, ~31, ~36, ~45, ~55, ~72, ~90, ~110 und ~220 Millisekunden, deren partielle Deckung mit den oben für Erkennungssituationen berichteten Operationszeiten (fette Ziffern) offensichtlich ist. Gemäß 3 × 9.1 = 27.3; $4 \times 9.1 = 36.4$; $5 \times 9.1 = 45.5$; $6 \times 9.1 = 54.6$; $8 \times 9.1 = 72.8$ und $10 \times 9.1 = 91$ fügen sich aber auch die restlichen Daten perfekt in das Schema ein - mit einer Ausnahme: dem Wert von 31 ms, der ungefähr in der Mitte zwischen zwei benachbarten Werten liegt. Für eine später von Latour (1967) untersuchte ähnlich einfache Situation galt das Gleiche. Es wurden neben Latenzen von Augenbewegungen erstmals auch EEG-Alphaperioden vor und während des Experiments gemessen. Auch hier fand sich eine Ausnahme, die auf die mögliche Existenz eines halb so großen Moduls hinwies.

Diese und weitere Beispiele verdeutlichten, dass die für gedächtnisbasierte kognitive Operationen gefundenen Gesetzmäßigkeiten ganz analog auch für Leistungen galten, die üblicherweise vorgeordneten sensorischen Prozessen zugerechnet werden. Andererseits wiesen die Ausnahmen von der formulierten Ordnung auf die Existenz einer noch feinkörnigeren zeitlichen Strukturierung hin. Damit stand die Herausforderung, alle als Grundlage für die weitere theoretische Arbeit erkennbaren Regularitäten in ein universell formuliertes System konsistenter Annahmen zu gießen.

Die im Folgenden umrissenen Hypothesen knüpfen in ihrer Formulierung jeweils an Gültigkeitsbeschränkungen von bisher formulierten Regularitäten an.

Hypothese H1: Zeitquantum und Hierarchien quantaler Zeitbereiche

Die vordergründig stärksten Einwände gegen ein Zeitintervall von rund neun Millisekunden Dauer als universelle Einheit ergaben sich aus dem Umfang des insgesamt abzudeckenden Bereichs: Als Untergrenze wurde der Wert durch eine steigende Zahl von Ausnahmen in Frage gestellt, die für eine feinere zeitliche Körnung sprachen. Gegen seine Relevanz für längere Perioden – etwa Zyklen des Memorierens im Kurzzeitgedächtnis der Größenordnung von zehn Sekunden – sprach schon allein die anzunehmende Unschärfe seiner Umgrenzung infolge des Weber'schen Gesetzes.

Bei dieser Ausgangslage war nur Verlass auf bewährte Prinzipien der Theoriebildung. Das Auftauchen quantitativ vergleichbarer Strukturen sowohl in elementaren sensorischen Leistungen als auch in Charakteristiken komplexer Informationsverarbeitung sollte danach als Hinweis auf eine breite Relevanz der zugrunde liegenden Regularitäten gedeutet werden, die den Versuch einer stark verallgemeinerten Formulierung rechtfertigt. Eine solche wurde erstmalig in Geissler (1987) vorgestellt und diskutiert. Hierin wurde Q durch eine universelle Grundeinheit Q_0 der halben Größe ersetzt, bezogen auf den vielfach bestätigten Standardwert also durch $Q_0 = 9,14/2$ ms = 4,57 ms, aus der sich größere quantale Einheiten als ganzzahlige Vielfache $Q_q = q \times Q_0$ ableiten ("Zeitquantenhypothese"). Die heutige Datenlage stützt eine noch stärkere Einschränkung, wonach als Vielfache q nur Potenzen von 2 in Frage kommen. Aus theoretischer Sicht ist diese Option inso-

fern bevorzugt, als nur sie einer dichtesten, gleichmäßig aufgebauten Gesamtstruktur aus koexistierenden Zeitbereichen entspricht.

Der zweite Bestandteil der Verallgemeinerung betrifft die Längen möglicher Ketten oder Folgen aus quantalen Perioden Q_q . In Übereinstimmung mit einer uniformen Aufbauregel müsste deren Obergrenze eine universelle Konstante M sein, für mögliche Kettenlängen N also $1 \le N \le M$ gelten ("Bereichshypothese"). Alle dem Autor bekannt gewordenen aussagekräftigen Daten sprechen für M = 30 bei normal befähigten Erwachsenen.

Exemplarische Befunde

Der unter Nutzung des Freiraums abstrakter Theoriebildung abgeleitete Vorschlag einer ganzen Hierarchie von Zeitbereichen hat sich bisher noch nicht definitiv gegenüber einer nach den Grundsätzen empirischer Verallgemeinerung abgeleiteten Hypothese Cavanaghs (1972) durchgesetzt. Danach geht es um einen einzigen Zeitbereich, der sich für Behaltensvorgänge im Kurzzeitgedächtnis aus dessen Kapazitätsbeschränkungen ergibt. Gruppenversuche mit uniformem Material lieferten hypothesenkonforme Abschätzungen (vgl. Bredenkamp in diesem Band). Dass solche Resultate das Vorhandensein einer übergreifenden zeitlichen Organisation nicht ausschließen, zeigen Ergebnisse anderer Analysen, die neben Variationen von Objektklassen- und Anforderungsstruktur auch individuelle Unterschiede einschlossen. In komprimierter Form dokumentiert Abbildung 1a Anzeichen einer versteckten hierarchischen Ordnung. Hierin repräsentieren schwarze Symbole in Anlehnung an Cavanagh für Einzelpersonen berechnete Werte (Puckett/ Kausler 1984). Offene Symbole stehen für Schätzungen aus elf Gruppenexperimenten unter Nutzung funktionaler Spannen, die als Schnittpunkte bilinearer Approximationen der Reaktionszeitcharakteristiken für das Kurzzeitbehalten überschreitende Listenlängen berechnet wurden (Puffe 1990).

In der Clusterstruktur der Darstellung finden sich klar abgegrenzte Lücken oberhalb von Höchstwerten in enger Nachbarschaft der theoretischen Abschlußzeiten von $30Q_0 = 30 \times 4,57$ ms $\equiv 137,1$ ms und $30 \times 2Q_0 = 30 \times 9,14$ ms $\equiv 274,2$ ms. Das nächsthöhere Vielfache bei etwa 550 ms wird nicht erreicht, liegt aber, wie eine Extrapolation aus dem vorangehenden Cluster (gerahmte Dreiecke) illustriert, genau im Trend.

Wir übergehen hier weniger scharf begrenzte Häufungen in der Nähe der Zwanzigfachen von Q₀, 2Q₀, und 4Q₀, die sich als Substrukturen in die beschriebene Ordnung einfügen.

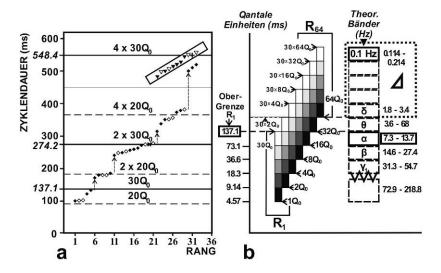


Abb. 1: a: Empirische Hinweise auf hierarchische Bereichsstrukturen;
 b: Hierarchie von Zeitbereichen nach TQM und ihre hypothetischen Entsprechungen in Bändern zyklischer Hirnaktivität. Erläuterung im Text

Für das Schicksal der Bereichsannahme entscheidend ist der Nachweis ihrer Gültigkeit auch für Intervalle im Sekunden- und Minutenbereich. Eine ausreichende quantitative Übereinstimmung mit Voraussagen im Geiste von TOM ist nur dann zu erwarten, wenn die funktionale Unabhängigkeit modularer Instanzen der Kognition mit deren Einbindung in ein System ganzheitlicher zeitlicher Organisation verträglich ist. Als Grundlage für eine erste Prüfung ist die Hierarchieannahme auf der linken Seite von Abbildung 1b verbildlicht bis zu einem Vielfachen von 30×2⁶, also dem 1920fachen der quantalen Einheit Oo, was einer Maximaldauer von 8,77 Sekunden entspricht. Dieses Vielfache ist als Obergrenze eines Bereichs (R₆₄) dadurch ausgezeichnet, dass die zugehörige Modulare Grundeinheit der Dauer von $2^{6} \times Q_{0} = 292.5$ ms oberhalb der Obergrenze des kleinsten Bereichs R₁ der Hierarchie bei $30 \times Q_0 = 137$ ms – und somit außerhalb der Darstellungsmöglichkeiten in diesem Bereich – liegt. Deshalb sollte auch bei präzisest möglicher zeitlicher Koordination die "modulare Unabhängigkeit" der in beiden Bereichen ablaufenden Prozesse garantiert sein.

Zyklen einer Dauer von bis zu ca. zehn Sekunden sind bekanntlich für Vorgänge der auffrischenden Wiederholung im Kurzzeitgedächtnis typisch. Das wirft die Frage nach der Relevanz der quantitativ vorausgesagten Obergrenze auf. Eine vorläufige Antwort kommt aus Studien von Stebel (1987; vgl. hierzu Geissler 2018, S. 26). Von den unterschiedlich ermittelten Schätzungen von 8,2 s; 8,4 s und 8,8 s fällt die höchste mit der vorausgesagten Obergrenze von 8,77 s praktisch zusammen.

Hypothese H2: Hierarchische Segmentierung

Eine andere Beschränkung der formulierten Bevorzugung von annähernd ganzzahligen Vielfachen einer Grundeinheit bestand darin, dass diese Beschreibung Anzeichen massiver Ungleichberechtigung von Mehrfachen unterschiedlicher Größe ignoriert. Besonders auffällig in Reaktionszeitdaten ist der Gegensatz zwischen der dichten Lage kleiner und der weiträumigen Anordnung "großer" kritischer Vielfacher N > 10. Daneben zeigten sich aber auch starke Unterschiede in quantitativen Effektausprägungen, in von Békésys Daten zum Beispiel zwischen großen Sprunghöhen bei Perioden von ~220, ~110 und ~ 55 ms Dauer einerseits und schwach ausgeprägten Diskontinuitäten bei etwa 91, 72 und 45 ms (in Entsprechung zu N = 20, 16 und 10) andererseits. In dieses Bild fügen sich auch Lücken in der Reihe der Mehrfachen bei kleinen Primzahlen ein, die sich bei Gelegenheit einer Nachanalyse fanden (Geissler 1990).

Insgesamt vermittelten diese Ergebnismuster den zwingenden Eindruck, dass als entscheidender Faktor für alle beschriebenen Merkmale nur die Zerlegbarkeit der jeweils anzunehmenden Vielfachen in Frage kommt. Dieser Annahme kam auch insofern herausragende Bedeutung zu als ihre Bestätigung ein Netz von Überprüfungsmöglichkeiten ausspannen sollte. Aber welche auf quantale Epochen bezogene Beschreibung machte sie plausibel? Eine bis heute überzeugende Antwort auf diese Frage wurde als Synchrony-Hierarchie Hypothese zuerst in Geissler (1985b) vorgeschlagen. Die Hypothese hat zwei Bestandteile: (H₁₁) Operative wirksame Ketten quantaler Epochen sind kodiert als Bestandteile von Hierarchien synchroner zyklischer Aktivität; (H₂₂) Je nach Aufgabenstellung bestimmt die Anzahl möglicher alternativer hierarchischer Kodierungen die Wahrscheinlichkeit und/oder die Ausprägung des realisierten Prozesses oder Zustands.

Quantitative Belege aus der Analyse von Betabewegungen

H₂₂ ist in der vorliegenden Formulierung unvollständig spezifiziert und daher in erster Linie als Ausgangspunkt für die Ableitung genauerer anforderungsabhängiger Beschreibungen zu verstehen. Eine besonders einfache Form nehmen diese an, wenn es um Wahrscheinlichkeiten von Übergängen zwischen unterschiedlichen perzeptiven Interpretationen ein und derselben Reizstrukturen geht. Dieser Fall liegt vor bei spontanen Übergängen zwischen sogenannten Betabewegungen, induziert durch zyklische Ortsveränderungen eines unveränderlichen Einzelreizes, und alternativen Repräsentationen der Darbietungsequenzen als ortsgebundene oszillatorische Veränderungen zweier Objekte. Bei solchen Anordnung treten für feste Darbietungszeiten der Einzelreize Übergänge gehäuft in der Nähe kritischer zeitlicher Abstände (ISIs) zwischen den Darbietungen auf. Um die Annahme einer Beziehung zur Mannigfaltigkeit möglicher hierarchischer Kodierung zu erhärten, ist eine große Zahl von Daten erforderlich. Diese Bedingung konnte erstmalig in Experimenten zu Betabewegungen von Schebera erfüllt werden (vgl. Geissler et al. 1999). Abbildung 2 zeigt Übergangshäufigkeiten aus drei Experimentalserien mit 46 Versuchspersonen, dargestellt als Funktion

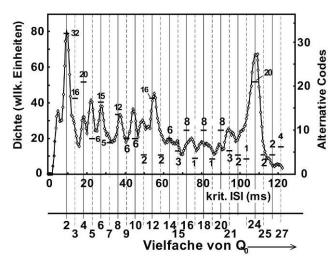


Abb. 2: Übergangshäufigkeiten (geglättet) von Betabewegungen zu ortsfesten Reizinterpretationen in Beziehung zu Anzahlen alternativer Kodierungen quantaler Zyklen (waagerechte Balken). Weitere Erläuterung im Text

der kritischen ISIs zusammen mit der Anzahl alternativer hierarchischer Darstellungen der nächstgelegenen Vielfachen von Q_0 als Maß von deren Bevorzugung entsprechend Hypothese H_{22} . Zwischen beiden Größen ergibt sich eine Maßkorrelation von r=0,86. In Anbetracht nicht präzise kontrollierbarer Overshoots als Folge interindividuell variierender Reaktionslatenzen dürfte diese Zahl die Enge der tatsächlich bestehenden Beziehung noch beträchtlich unterschätzen.

Hypothese H3: Die verallgemeinerte Überlagerungshypothese

Ein besonders schwerwiegender Mangel aller bisher betrachteten Formulierungen zeitlicher Regularitäten besteht darin, dass der stochastische Charakter mentaler Prozesse weitgehend unberücksichtigt bleibt. Weitgehend – genau genommen mit einer Ausnahme, denn, als Vorgang interpretiert, kann die Realisierung einer bestimmten Option nach dem obigen Schema hierarchischer Segmentierung als Zufallsentscheidung im Wettbewerb zwischen sich überlagernden alternativen hierarchischen Darstellungen verstanden werden. Hypothese H3 verallgemeinert die Überlagerungsannahme und behandelt ihre Gültigkeit unter verschiedenen Bedingungen als eine Hauptquelle stochastischer Variabilität.

Als zentral für die Weiterführung des TQM-Ansatzes stellt sich ihre Anwendung auf eine fundamentale Form stochastischer Variabilität dar, deren Beschreibung durch G. Th. Fechner als Weber'sches Gesetz am Anfang der wissenschaftlichen Psychologie stand. Abbildung 3 veranschaulicht die Herleitung des Gesetzes für mentale Repräsentationen von Zeit, auf der Grundlage einer einfachen, erstmalig in Geissler (1985b) diskutierten Darstellung²

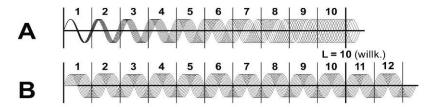


Abb. 3: Schematische Erläuterung des Webergesetzes für Zeit als Konsequenz der Überlagerung zyklische Träger unterschiedlicher Zyklendauer (A) und Phasenlage (B). Erläuterung im Text

² Diese Darstellung setzt für die Komponenten präzise Frequenzen voraus. Für realistischere Versionen ergeben sich ähnliche etwas komplexere Schlussfolgerungen.

als Konsequenz der Überlagerung von oszillatorischen Trägerprozessen leicht voneinander abweichender Periodendauer.

Es ergeben sich zwei Implikationen, die keine direkte Entsprechung im Webergesetz für wahrgenommene Intensitäten besitzen: (1) Wie in Schema A für anfängliche Synchronie dargestellt überdecken die Phasenlagen der sich überlagernden Komponenten infolge ihrer wachsenden Streuung nach einer endlichen Anzahl L von Perioden die nominelle Überlagerungsperiode und beenden damit deren mögliche Funktion als operative Einheit (Hypothese "beschränkter Kohärenzdauer"). (2) Im Kontrast hierzu bleibt die anfängliche Streuung der Phasenlagen bei gleicher Periodendauer der Komponenten (Schema B) erhalten. Beide Eigenschaften zusammen ergeben das von empirischen Fassungen des Gesetzes her für Ebenmerkliche Unterschiede bekannte Bild der Summe aus einem mit konstantem Anstieg linear wachsenden Anteil und einer bedingungsabhängigen Konstante entsprechend $\Delta t = C \cdot t + K$ – wobei nur für C ein konstanter Wert von universeller Geltung für mentale Zeit in allen ihren Erscheinungsformen erwartet wird.

Die Eigenschaft (1) ist grundlegend für eine Re-Interpretation der bisherigen Strukturannahmen. Danach entspricht L ("Kohärenzlänge") dem postulierten Bereichslimit M, und die von TQM angenommene Verdoppelungsordnung folgt als Konsequenz aus dem lückenlosen Übergang zur jeweils nächstgrößeren quantalen Einheit. Zusätzlich ergibt sich mit der Voraussage einer festen Bindung zwischen M und der (dem Webergesetz folgenden) stochastischen Variabilität – eine Beziehung, deren experimentelle Überprüfung 1985 noch in weiter Ferne zu liegen schien. Die Möglichkeit ergab sich erstmals für die Daten aus den Untersuchungen zu Betabewegungen. Wie Kompass (2001) zeigen konnte, kommt der Anstieg der Antwort-Variabilität von ~1/27×ISI in der Tat dem theoretisch postulierten Verhältnis nahe (vgl. Geissler 2018, S. 35).

Hier gilt es festzuhalten, dass die geschilderte Re-Interpretation weit verbreiteten Annahmen über Ursprung und Bedeutung der stochastischen Variabilität mentaler Vorgänge widerspricht, wonach es sich bei kapazitiven und zeitlichen Beschränkungen kognitiver Prozesse, insbesondere von Gedächtnisfunktionen, um Konsequenzen unvermeidlichen neuronalen "Rauschens" handelt. Im Gegensatz hierzu stützt die TQM-basierte Interpretation die Annahme einer streng gesetzmäßig gesteuerten und für alle Funktionen und Zeitbereiche einheitlich implementierten Ordnung zeitlicher Begrenzung, deren Prinzipien bei ungestörter Wirkung die jeweils möglichst "rechtzeitige" Freigabe von verfügbarer Kapazität und eine damit harmonisierte Übernahme zu bewahrender Information sicherstellen.

4. Schlussbetrachtung: TQM als Werkzeug integrativer Theoriebildung

Zum Abschluss der vorliegenden skizzenhaften Einführung in Logik und empirische Grundlagen des TQM-Ansatzes liegt es nahe, nach Perspektiven seiner Fortführung und seinem denkbaren Beitrag zu forschungsstrategischen Veränderungen zu fragen.

Bezüglich einer möglichen Rolle des Ansatzes als Bestandteil und Instrument psychologischer Theoriebildung müssen wir uns hier auf die Nennung von Aspekten beschränken. Im Vergleich zum gegenwärtigen Stand der Entwicklung muss im nächsten Schritt seiner Bewährung naturgemäß die dynamische Implementation der abgeleiteten numerischen und strukturellen Invarianten im Vordergrund stehen. Der zu erwartende Gewinn besteht wesentlich in der Aufdeckung und Nutzung von Zusammenhängen in der Prozessarchitektur, die bei traditionell fallbezogener Analyse verborgen bleiben müssen, und in deren Rolle als Kriterien der Kreuzvalidierung spezifischer Voraussagen.

Eine zweite mögliche Entwicklungslinie bezieht sich auf den Ansatz selbst: Die bisherige Beschränkung auf zeitbezogene Invarianten besagt nicht, dass nicht auch Konstituenten anderer Dimensionalität als Teil einer allgemeineren, auf universelle Invarianten bezogenen Darstellung zu verstehen sind. Im Gegenteil, Befunde von Teghtsoonian (1971), deren Diskussion den Rahmen dieses Berichts überschreitet, weisen auf enge Parallelen zwischen Invarianten bereichsbezogener Repräsentationen von Zeit und Intensität hin (vgl. Geissler 2018, S. 36).

TOM als Ausgangspunkt integrativ psycho-physischer Analysen

Mit den so formulierten Erwartungen bleibt die wahrscheinlich fundamentalste Option der Weiterführung noch außer Betracht: Konstanten wie Q₀, M und C haben ihre Basis nicht in den variablen Inhalten menschlicher Kognition, sondern sie verkörpern funktionell wirksame Eigenschaften ihres physischen Trägers, des Gehirns. Zugleich sind sie in der nach TQM anzunehmenden tragenden Rolle für den koordinierten Ablauf kognitiver Prozesse in der Hirnforschung bisher noch unbekannt. Die zu Recht beklagte weitgehende Unverbundenheit psychologischer und hirnphysiologischer Theoriebildung stellt sich aus dieser Sicht als Folge eines grundlegenden Mangels dar: dem Fehlen einer wechselseitig akzeptierten Theorie der Beziehungen zwischen verhaltensbasierten und physiologischen Konstrukten, die als Basis einer integrativen psycho-physischen Forschungsstrategie die-

nen könnte. Dabei hat es historisch an relevanten Konzepten nicht gefehlt, die als Ansätze in dieser Richtung verstanden werden können. So definierte Fechner 1860 als sogenannte Psychophysische Tätigkeit denjenigen Teil von Vorgängen im Gehirn, die in eindeutiger Entsprechung zu psychologisch dokumentierten geistigen Phänomenen und Vorgängen stehen (Fechner 1860; Bd. 1, S. 10). Ähnlich postulierte die Gestaltpsychologie ihr Isomorphieprinzip unter Bezug auf das sogenannte Psychophysische Niveau als notwendige und hinreichende Voraussetzung der Organisation von Hirnprozessen.

In der durch TQM vermittelten Sicht entfällt die Notwendigkeit, in diesem Sinne als neurales Äquivalent psychologisch identifizierter Repräsentationen ausgezeichnete Substrukturen der Hirntätigkeit anzunehmen. Dagegen stellt sich die *funktionelle Organisation* von Hirnprozessen als eine unter der Wirkung metrischer und struktureller Invarianten hierarchisch gegliederte Sequenz von ganzheitlichen Resonanzzuständen dar. Dieser strategisch neuen Beschreibung wohnt inne (1), dass es (jedenfalls über eine bestimmte Komplexitätsstufe untersuchter Vorgänge hinaus) nur mit Kenntnis auf der Verhaltensebene objektivierter funktionaler Gesetzmäßigkeiten möglich ist, die jeweils relevanten physischen Äquivalente zu entschlüsseln. Umgekehrt gilt aber auch (2), dass der Ausbau einer zusammenhängenden verhaltensbasierten Darstellung ohne Kenntnis physischer Entsprechungen bestenfalls nur höchst fragmentarisch möglich ist.

Wenn diese Annahmen wohlbegründet sind, kann man in TQM die Anfänge einer Theorie erblicken, die eine permanente Form interdisziplinärer Erforschung kognitiver Prozesse fundiert. Bezüglich einer breiteren Ausleuchtung dieser Perspektive sei auf Geissler (1991, 1992, 1997, 2000) und auf weitere einschlägige Arbeiten mehrerer Autoren in Lachmann und Weis (2018) verwiesen. Hier müssen zum Ausblick am Schluss der Arbeit zwei illustrierende Beispiele genügen.

Bezüglich (A) ergibt sich ein relevantes Problem aus trotz ihrer langen Bekanntheit noch wenig verstandenen hirnphysiologischen Ergebnissen, die für eine ausgezeichnete Stellung des EEG Alphabands in der zeitlichen Architektur menschlicher Kognition sprechen. Bei der Ableitung einer verhaltensbasierten Hypothese hierzu kann die rechte Seite von Abbildung 1 gute Dienste leisten. Darin sind hypothetische EEG-Frequenzbänder in 1:1-Korrespondenz zu regulären Substrukturen der links dargestellten Hierarchie von Zeitbereichen definiert. Aus dieser Korrespondenz folgt für das angenommene, dem Alpha-Frequenzbereich entsprechende Band eine bevorzugte Stellung daraus, dass seine Obergrenze (als Periodendauer ausgedrückt) mit der des kleinsten quantalen Zeitbereichs R₁ zusammenfällt, während die

Obergrenzen der übrigen Bänder sich entweder als ganzzahlige Teiler oder Vielfache hieraus ableiten. Die angenommene Entsprechung ermöglicht quantitative Vergleiche zwischen verhaltens- und substratbasierten Konstrukten. Eine erste Einschätzung erlaubt Abbildung 4. Hierin sind für das Alphaband vorausgesagte Grenzen zusammen mit 22 von Experten benutzten physiologischen Definitionen (nach Klimesch 1999) dargestellt. Unter den nach TQM formal zulässigen Werten³ 28, 30 und 32 für M, ergibt sich nur für den aufgrund von Verhaltensdaten empirisch ausgezeichneten Wert von M = 30 eine genähert symmetrische Beziehung zwischen vorausgesagter Erstreckung und empirisch fundierter Verteilung.

Im Falle weiterer Bestätigung der betrachteten Re-Interpretation von EEG-Bändern dürfte ein tiefgreifender Unterschied gegenüber üblichen Auffassungen in den Mittelpunkt rücken, der sich aus der Überlappung von Zeitbereichen in Entsprechung zu einer richtungsabhängig asymmetrischen Generierung zyklischer Trägerprozesse ergibt.

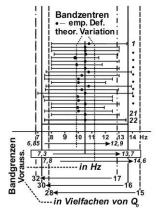
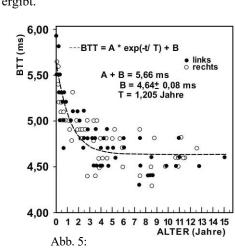


Abb. 4: Empirische Experten-Definitionen des EEG-Alphabands (22 begrenzte Waagerechte) sind nur mit der TQM-Voraussage M = 30 verträglich*



Hirnstamm-Übertragungszeiten (BTT) nach Fabiani et al. (1979) als hypothetisches Maß des Entwicklungsgangs von Q_0 von der Geburt bis zum Alter von 15 Jahren*

^{*} Erläuterung im Text

³ Die Primzahl-Vielfachen 29 und 31 von Q₀ scheiden aus weil nicht gleichmäßig segmentierbar.

Abbildung 4 illustriert exemplarisch die umgekehrte Möglichkeit, wie in Fällen, in denen TQM derzeit keine Voraussagen gestattet, aus physiologischen Befunden hypothetische Aussagen über mögliche Verhaltensäquivalente gewonnen werden können. Abbildung 5 zeigt nach Fabiani et al. (1979) für Kinder im Alter bis zu 15 Jahren sogenannte Brain-Stem Transmission Times (BTTs), definiert als Zeitabstände zwischen Ableitungsextrema. In diesem Falle spricht ein Schätzwert der Asymptote von 4,64 \pm 0,08 ms zusammen mit den hier gut bekannten neuronalen Grundlagen für die Vergleichbarkeit mit dem für Q_0 angenommenen Standardwert von 4,57 ms für Erwachsene. Das Ergebnis begründet somit die Annahme, dass der wiedergegebene Trend den Entwicklungsgang der universellen Konstante repräsentiert.

Literatur

- Békésy, G. v. (1936). Über die Hörschwelle und Fühlgrenze langsamer sinusförmiger Luftdruckschwankungen. In: Annalen der Physik, Bd. 5/H. 26, S. 554–566
- Brecher, G. A. (1933). Die Entstehung und biologische Bedeutung der subjektiven Zeiteinheit des Momentes. In: Zeitschrift für vergleichende Physiologie, Bd. 18, S. 204–243
- Cavanagh, J. P. (1972): Relation between the immediate memory span and the memory search rate. In: Psychological Review, Bd. 79, S. 525–530
- Fabiani, M.; Sohmer, H.; Tait, C.; Gafni, M.; Kinarti, R. (1979): A functional measure of brain activity: Brain stem transmission time. In: Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Bd. 47/H. 4, S. 483–491
- Fechner, G. Th. (1860), zit. nach Fechner, G. Th. (1964): Elemente der Psychophysik. Teil I, S. 1–336; Teil II, S. 1–569. Nachdruck E. J. Bonset, Amsterdam
- Feinstein, A. (1958): Foundations of Information Theory. New York: McGraw Hill
- Geissler, H.-G.; Klix, F.; Scheidereiter, U. (1978): Visual Recognition of Serial Structure: Evidence of a Two-stage Scanning Model. In: Leeuwenberg, E. L. J.; Buffart, H. F. J. M. (eds.): Formal Theories of Perception. Chichester u.a.O.: John Wiley and Sons, S. 299–314
- Geissler, H.-G. (1985a): Zeitquantenhypothese zur Struktur ultraschneller Gedächtnisprozesse. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 193/H. 4, S. 347–362
- Geissler, H.-G. (1985b): Sources of seeming redundancy in temporally quantized information processing. In: d'Ydewalle, G. (ed.): Cognition, information processing, and motivation. Proceedings of the XXIII International Congress of Psychology of the I.U.Psy.S.. Selected/ Revised Papers. Bd. 3. Amsterdam: North-Holland, S. 199–228
- Geissler, H.-G. (1987): The temporal architecture of central information processing: Evidence for a tentative time-quantum model. In: Psychological Research, Bd. 49/H. 2–3, S. 99–106
- Geissler, H.-G. (1990): Foundations of quantal processing. In: Geissler, H.-G. (ed.): Psychophysical explorations of mental structures. Göttingen: Hogrefe, S. 193–210

- Geissler, H.-G. (1991): Zeitcodekonstanten ein Bindeglied zwischen Psychologie und Physiologie bei der Erforschung kognitiver Prozesse? Hypothesen und Überlegungen zu Quantenstrukturen in der Alphaaktivität des Gehirns. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 199/H. 2, S. 121–143
- Geissler, H.-G. (1992): New magic numbers in mental activity: On a taxonomic system for critical time periods. In: Geissler, H.-G.; Link, S. W.; Townsend, J. T. (ed.): Cognition, Information Processing and Psychophysics. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, S. 293–321
- Geissler, H.-G. (1997): Is there a Way from Behavior to Nonlinear Brain Dynamics? On Quantal Periods in Cognition and the Place of Alpha in Brain Resonances. In: International Journal of Psychophysiology, Special Issue, Bd. 26, S. 381–393
- Geissler, H.-G. (2000): Zeitverarbeitung Verarbeitungszeit: Temporale Invarianten und oszillatorische Mechanismen in Wahrnehmung und Gedächtnis. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 208. S. 129–168
- Geissler, H.-G. (2004): Functional Architectures in Structural Recognition and the Role of "Seeming Redundancy". In: Kaernbach, Chr.; Schröger, E.; Müller, H. (eds.): Psychophysics beyond Sensation. London u.a.O.: Lawrenc Erlbaum Ass., S. 157–196
- Geissler, H.-G. (2018): Deciphering the Time Code of the Brain: From Psychophysical Invariants to Universals of Neural Organization. In: Lachmann, Th.; Weis, T. (eds.): Invariances in Human Information Processing. New York, London: Routledge, Tayler and Francis, S. 3–50
- Geissler, H.-G.; Buffart, H. (1985): Task-dependency and quantized processing in classification. In: d'Ydewalle, G. (ed.): Cognition, information processing, and motivation. Proceedings of the XXIII International Congress of Psychology of the I.U.Psy.S.. Selected/Revised Papers. Bd. 3. Amsterdam: North-Holland, S. 277–294
- Geissler, H.-G.; Schebera, F.-U.; Kompass, R. (1999). Ultra-precise quantal timing: Evidence from simultaneity thresholds in long-range apparent movement. In: Perception & Psychophysics, Bd. 61/H. 4, S. 707–726
- Hoffmann, J.; Klix, F.; van der Meer, Elke; Metzler, P. (1980): Structure and Process in Human Memory. In: Klix, F.; Krause, B. (eds.): Pychological Research. Humboldt Universität Berlin 1960–1980. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 133–161
- Klimesch, W. (1999): EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. In: Brain Research Reviews, Bd. 29/H. 2–3, S. 169–195
- Klix, F. (1970): Information und Verhalten. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Kompass, R. (2001): Zur Analyse zeitlich-diskreter Strukturen in der Wahrnehmung. Lengerich: Pabst Science Publishers
- Kristofferson, M. W. (1973): Effects of practice on character-classification performance. In: Canadian Journal of Psychology, Bd. 26/H. 1, S. 54–60
- Lachmann, Th.; Weis; Tina (eds.) (2018): Invariances in Human Information Processing. New York, London: Routledge, Tayler and Francis
- Latour, P. L. (1967): Evidence of internal clocks in the human operator. In: Acta Psychologica, Bd. 27, S. 341–348
- Leeuwenberg, E. L. J. (1967): Structural Information of visual patterns: An efficient coding system in perception. The Hague u.a.O.: Mouton

- Puckett, J. M.; Kausler, D. H. (1984): Individual differences and models of memory span: A role for memory search rate? In: Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition, Bd. 10/H. 1, S. 72–82
- Puffe, M. (1990): Quantized speed-capacity relations in short-term memory. In: Geissler, H.-G. (ed.): Psychophysical explorations of mental structures. Göttingen: Hogrefe, , S. 290–302
- Stebel, J. (1987): Gedächtniswirkungen im Sekundenbereich untersucht an Reaktionen auf zyklisch dargebotene Lichtsignale. In: Geissler, H.-G.; Reschke, K. (Hg.), Psychophysische Grundlagen mentaler Prozesse. Leipzig: Universitätsverlag, S. 93–121
- Sternberg, S. (1966): High-speed scanning in human memory. In: Science, Bd. 153 (3736), S. 652-654
- Teghtsoonian, R. (2012): The standard model for perceived magnitude: A framework for (almost) everything known about it. In: American Journal of Psychology, Bd. 125/H. 2, S. 165–174
- Vanagas, V.; Balkelite, O.; Bartusjavicus, E.; Kirvialis, D. (1976): The quantum character of the recognition process in the visual analysator of humans (in Russian). In: Gleser, V. D. (ed.): Information processing in the visual system. Leningrad: Akademie der Wissenschaften der UdSSR. S. 26–30

Jürgen Bredenkamp

Die Verknüpfung verschiedener Invarianzhypothesen in der Lern- und Gedächtnispsychologie

In diesem Beitrag geht es um die Integration von Invarianzhypothesen aus verschiedenen Gebieten der Lern- und Gedächtnispsychologie. Eine derartige Verknüpfung versucht zum einen, der Zersplitterung einer Disziplin in kleinste Ausschnitte, die unverbunden nebeneinander stehen, entgegenzuwirken. Zum anderen führt diese Verknüpfung zu einem empirischen Gehalt der neu entstandenen Theorie, der den der einzelnen zu ihr gehörenden Hypothesen übertrifft. Damit ist im Sinne der Logik der Forschung von Popper (1982) gemeint, dass durch die Verknüpfung der Hypothesen der Eintritt bestimmter empirischer Resultate verboten wird, die für eine der Einzelhypothesen denkbar gewesen wären. Die Gefahr einer fälschlichen Bestätigung der durch Verknüpfung empirisch bewährter Einzelhypothesen entstandenen Theorie wird dadurch geringer. Dieser Aspekt ist auch angesichts des Problems, dass in der Psychologie empirische Befunde oftmals nicht zu replizieren sind, von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Die folgende Darstellung fasst frühere Arbeiten des Autors zusammen, ohne auf bestimmte Details wie die Konstruktion des Lernmaterials und die statistische Hypothesenprüfung einzugehen, die in den zitierten Originalarbeiten dargestellt wurden. Erwähnt sei nur, dass dem Desiderat einer hohen Teststärke immer Rechnung getragen wurde. Die erste hier zu betrachtende Hypothese entstammt der Psychologie des verbalen Lernens und wurde die Total-Time Hypothesis (TTH) genannt. Danach ist die gesamte Zeit, die zur Beherrschung eines Lernstoffes benötigt wird, unabhängig von der Darbietungszeit dieses Stoffes konstant. Wenn also bei einer Darbietungszeit von zehn Sekunden sechs Lernversuche benötigt werden, dann sind nur drei Lernversuche bei einer Darbietungszeit von 20 Sekunden notwendig. In beiden Fällen beträgt die Gesamtzeit bis zur Erreichung des Lernkriteriums 60 Sekunden. Formal ausgedrückt lautet die TTH:

(1)
$$T_v = Y_{jv} t_j$$

Dabei ist T_v die gesamte für die Beherrschung des Lernstoffes v benötigte Lernzeit, t_j ist die Darbietungszeit in der j-ten Versuchsbedingung und Y_{jv} die Anzahl der für die Erreichung des Lernkriteriums benötigten Versuche. Spätestens mit dem Sammelreferat von Cooper und Pantle (1967) ist diese Hypothese bekannt geworden. Sie gilt den Autoren zufolge dann, wenn die effektive Lernzeit eine lineare Funktion der nominalen Zeit T_v ist. Neuere Publikationen weisen ihr noch eine gewisse Bedeutung zu (vgl. Baddeley 1997; Ulrich et al. 1996), obwohl sie empirisch falsch ist. Nach Bredenkamp (1975) gilt eine modifizierte TTH (mTTH) in folgender Form:

(2)
$$Y_{jv} = a_v + b_v / t_j$$

 a_v und b_v sind materialspezifische Konstanten, die zunächst noch keine psychologische Bedeutung aufweisen.

Die zweite zu betrachtende Hypothese ist die einer sogenannten konstanten Langzeit-Gedächtnisspanne von Nevelski (1970), die formal so geschrieben werden kann:

$$(3) I_{v} = Y_{jv} r_{j}$$

 I_{V} ist der gesamte zu verarbeitende Informationsgehalt in der informationstheoretischen Einheit Bit und r_{j} der bei Darbietungszeit t_{j} verarbeitete Informationsbetrag in Bit. Gemäß der Hypothese ist er unabhängig von der insgesamt zu verarbeitenden Information. Wenn also insgesamt 50 Bit an Informationen zu verarbeiten sind und fünf Bit bei einer Darbietungszeit von zehn Sekunden verarbeitet werden, sind zehn Lernversuche erforderlich, um das Kriterium zu erreichen. Sind insgesamt 100 Bit zu verarbeiten, wären gemäß dieser Hypothese 20 Lernversuche notwendig.

Eine Verknüpfung der Hypothesen (1) und (3) würde die unrealistische Folgerung implizieren, dass die verarbeitete Information linear mit der Darbietungszeit wächst. Auch aus diesem Grund ist der mTTH der Vorzug zu geben, deren Verknüpfung mit Nevelskis Hypothese zu einer hyperbolischen Funktion führt:

$$(4) r_j = \frac{I_v}{a_v + b_v/t_j}$$

Diese Funktion ist von demselben Typ wie die hyperbolische Funktion, mit der bereits 1917 Thurstone die Lernkurve beschrieben hat, die den Zusammenhang zwischen Übung und Lernleistung spezifiziert. Hier ergibt sie sich als logische Folgerung aus der mTTH und Nevelskis Hypothese. Die Gültigkeit dieser Beziehung ist in mehreren Experimenten geprüft worden, in

denen unabhängig voneinander die Darbietungszeit und der statistische Informationsgehalt der Items m_{ν} manipuliert wurden, deren Reihenfolge zu erlernen war. Insgesamt ergaben sich bestätigende Befunde (Bredenkamp/Hager 1979; Bredenkamp/Klein 1998; Bredenkamp/Hamm 2001). Eine Voraussetzung für die Bestätigung ist, dass der Umfang der Items, deren Abfolge zu erlernen ist, größer als die Kurzzeit-Gedächtnisspanne ist.

Die Asymptote der Funktion (4) ist

$$(5) A = r_{max} = I_v / a_v$$

Sie gibt die in einem Lernversuch maximal zu verarbeitende Informationsmenge wieder. Eine weitere Annahme der hier vorgestellten Theorie ist, dass sie der Kurzzeit-Gedächtnisspanne in Bit entspricht. Sollte sich diese Annahme bestätigen lassen, ließe sich die Verknüpfung der mTTH und der Nevelski-Hypothese mit der einflußreichen Theorie des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch (vgl. Baddeley1997) und mit der Hypothese von Cavanagh (1972) verbinden. Bezüglich des empirischen Gehalts der Theorie ist zu betonen, dass die Gleichsetzung der Asymptote der Funktion (4) mit der Kurzzeit-Gedächtnisspanne in Bit die Menge zulässiger empirischer Resultate weiter einschränkt.

Zunächst gehen wir auf die Verbindung mit der Arbeitsgedächtnistheorie von Baddeley und Hitch ein. Zum Zeitpunkt unserer empirischen Untersuchungen bestand diese Theorie aus der Annahme einer zentralen Komponente und verschiedener modalitätsspezifischer "Sklavensysteme". Die zentrale Exekutive überwacht und koordiniert die Tätigkeit der "Sklavensysteme". Von den letzteren interessiert hier nur die phonologische Schleife, die für die Verarbeitung sprachlicher Informationen zuständig ist. Sie besteht laut Theorie aus einem phonologischen Speicher und einer aktiven Komponente, der ständigen subvokalen Artikulation. Der Speicher hält die Informationen für 1.5 bis 2 Sekunden fest, bevor die Gedächtnisspur zerfällt, falls die Informationen nicht ständig memoriert werden. Für diese Theorie gab es zahlreiche bestätigende Befunde. Sie kann auch den Befund, dass chinesische Probanden über eine größere Gedächtnisspanne für Zahlen als andere Probanden verfügen, obwohl kein Unterschied in der Zerfallszeit von 1.5 bis 2 Sekunden besteht, gut erklären. Die größere Gedächtnisspanne der chinesischen Probanden ist darauf zurückzuführen, dass sie die Zahlen schneller artikulieren.

Nach Baddeley (1997) gilt:

$$(6) B = u_{\nu} g_{\nu}$$

 u_v ist die für die Artikulation eines Items benötigte Zeit, g_v ist die Kurzzeit-Gedächtnisspanne, die im Folgenden immer gemeint ist, und B gibt die Zeitspanne von 1.5 bis 2 Sekunden wieder. Wenn die Asymptote der Funktion (4) der Kurzzeit-Gedächtnisspanne in Bit $(m_v g_v)$ entspricht, muss ebenfalls gelten:

$$(7) A = Bm_v / u_v$$

Aus einem Versuch, der die Artikulationszeiten und Gedächtnisspannen für Items unterschiedlichen Informationsgehalts ermittelt, sollte sich die Asymptote für einen Lernversuch mit diesen Items prognostizieren lassen, in dem ein größerer Informationsbetrag als r_{max} zu verarbeiten ist. Geprüft wurde dies von Bredenkamp und Klein (1998, Experiment 1-3). Verwendet wurden Bigramme, deren Informationsgehalt zwischen zwei und vier Bit variierte. Wie erwartet kovariierten Gedächtnisspanne und Artikulationszeit sowie Gedächtnisspanne und Informationsgehalt negativ. Zusätzlich ließ sich zeigen, dass die Gleichung (6) mit B = 1.96 Sekunden galt. Ein Lernexperiment mit denselben Items, in dem zusätzlich die Darbietungszeiten variiert wurden, führte zur Bestätigung der Funktion (4). Weiterhin ergab sich, dass die Asymptote dieser Funktion so genau aus Gleichung (7) prognostiziert werden konnte, dass die Abweichungen der tatsächlichen Lernversuche bis zum Kriterium von den prognostizierten Werten minimal und insignifikant waren. Mit anderem Lernmaterial (Wörter) hat Hamm (2004) dieselbe Struktur der Ergebnisse gefunden, wobei B = 1.83 Sekunden war.

Bevor die Ergebnisse weiterer Experimente berichtet werden, sei nochmals auf Gleichung (2) eingegangen. Diese Gleichung zeigt, dass jede experimentelle Manipulation, die sich ausschließlich auf a_v und nicht auch auf b_v auswirkt, die Lernleistung nach den bisher berichteten Ergebnissen nur über die Veränderung der Kurzzeit-Gedächtnisspanne beeinflusst. Dies gilt nach den Resultaten von Bredenkamp und Hamm (2001) für eine zusätzliche Belastung der zentralen Exekutive und für die Störung der Verarbeitung durch irrelevante Sprache. Gemäß Arbeitsgedächtnistheorie stört eine Sprache, die man nicht versteht, die Verarbeitung der Zielitems umso mehr, je größer die Möglichkeit der Interferenz durch Klangähnlichkeit ist. Bredenkamp und Hamm (2001) haben dies mit Polnisch und Rumänisch als irrelevante Sprachen untersucht, wobei die Zielitems wieder Bigramme waren, deren Informationsgehalt variierte. Alle Lernkurven ließen sich mittels Gleichung (4) beschreiben. Ihre Asymptoten ließen sich sehr genau aus den Gedächtnisspannenversuchen, die unter denselben störenden Bedingungen wie die Lernversuche stattfanden, prognostizieren. Eine Absenkung der Gedächtnis-

spanne und damit der Asymptote ließ sich nur bei Belastung der zentralen Exekutive durch eine Zusatzaufgabe, die nicht auch die "Sklavensysteme" beeinflusst, und für Rumänisch als irrelevante Sprache nachweisen. Polnisch als irrelevante Sprache hatte keinen Effekt, was wegen der geringen Interferenz mit den Bigrammen nicht unerwartet war. Alle anderen bisher geschilderten Bedingungen hatten nur einen Einfluss auf a_v , nicht auf b_v . Das verhält sich anders, wenn die Artikulation der Zielitems unterdrückt werden muss (Bredenkamp/Klein 1998). Unter dieser Bedingung sollten die Items gemäß der Theorie von Baddeley und Hitch nicht in der phonologischen Schleife verarbeitet werden können. Wie erwartet war die Gedächtnisspanne unter dieser Bedingung geringer als mit der Möglichkeit zur Artikulation. Aus der Gedächtnisspanne unter der Bedingung der artikulatorischen Unterdrückung ließ sich auch hier die Asymptote der Funktion (4) für ein Lernexperiment unter derselben Bedingung sehr genau vorhersagen. Der Abfall der Lernleistung ist aber nicht nur auf die geringere Gedächtnisspanne zurückzuführen. Im Unterschied zu den anderen Bedingungen liegt bei artikulatorischer Unterdrückung eine Beeinträchtigung der Übertragung der Informationen in den Langzeitspeicher vor, die sich in dem erhöhten Wert b_v ausdrückt. Nach allen bisherigen Ausführungen kann a_v als die Anzahl der Lernversuche interpretiert werden, die für die Verarbeitung im Kurzzeitspeicher benötigt werden. Könnte in jedem Lernversuch so viel an Information verarbeitet werden wie r_{max} , ohne dass sich die Informationen überlappen, würden augreichen, um das Lernkriterium zu erreichen. Die über diese minimal erforderliche Anzahl von Lernversuchen hinaus gehende Anzahl gibt der Ausdruck b_v / t_i wieder, der sich auch wie folgt schreiben lässt (vgl. Bredenkamp/ Klein 1998):

(8)
$$b_v / t_j = Y_{jv} (1 - r_j / r_{max})$$

Dieser Ausdruck wird als die Anzahl der Lernversuche interpretiert, die notwendig sind, um die Informationen im Langzeitgedächtnis zu speichern. Nur wenn bei artikulatorischer Unterdrückung die zentrale Exekutive ohne Assistenz der phonologischen Schleife die sprachlichen Informationen verarbeiten muss, ist dieser Wert erhöht.

Da die bisher dargestellten Befunde die Beziehung der Asymptote der Lernkurve in Gleichung (4) und der Gedächtnisspanne in Bit untermauert haben, bietet sich eine weitere Untersuchung dieser Beziehung über Cavanaghs Hypothese an. Seine Hypothese bezieht sich auf die Relation zwischen der Kurzzeitgedächtnisspanne und der Suchzeit in einem Sternberg-Versuch. In einem derartigen Versuch wird den Probanden eine Reihe von Items, die nicht den Umfang der Kurzzeitgedächtnisspanne übertreffen (memory set), präsentiert, und kurz danach wird ein einzelnes Testitem dargeboten, das entweder zur Menge der vorher dargebotenen Items gehört oder nicht. Der Proband soll so schnell wie möglich die Entscheidung der Zugehörigkeit treffen. Ein immer wieder gefundenes Ergebnis ist, dass die zur Entscheidung benötigte Zeit linear mit der Größe des memory set ansteigt. Der lineare Regressionskoeffizient gibt die Zeit an, die für den Vergleich eines Items aus dem memory set mit dem Testitem benötigt wird (Suchzeit). Nach Cavanagh (1972) gilt:

(9)
$$C_v = s_v g_v$$

 s_v ist die Suchzeit in einem Sternberg-Versuch für Material v und C_v eine Zeitkonstante, die Cavanagh (1972) mit 243 Millisekunden angibt. Inzwischen ist aber klar, dass C_v mit den Materialien und auch interindividuell variiert. Nicht tangiert wird dadurch die Gültigkeit der Funktion (9). Wenn die Asymptote der Lernkurve (A) in Gleichung (4) der Gedächtnisspanne in Bit $(m_v g_v)$ entspricht und Cavanaghs Hypothese zutrifft, muss auch gelten:

(10)
$$A = m_v C_v / s_v$$

Diese Hypothese wurde von Bredenkamp (2004) für Bigramme, deren Informationsgehalt variierte, untersucht und bestätigt. Für Wörter hat Hamm (2004) die in Gleichung (10) wiedergegebene Beziehung ebenfalls bestätigen können.

Cavanagh hat seiner Relation verschiedene Interpretationen gegeben. Eine geht davon aus, dass jedes Item aus einem Bündel von Merkmalen besteht. Um die in der Sternberg-Aufgabe geforderte Entscheidung treffen zu können, werde der Testreiz Merkmal für Merkmal mit der gespeicherten Information verglichen. Cavanagh (1972) ließ offen, um welche Merkmale es sich handelt. Nach den dargelegten Befunden spricht einiges dafür, dass es sich um Informationseinheiten handelt. In diesem Fall muss ein Proband im Sternberg-Versuch so viele Merkmale durchsuchen, wie es der Gedächtnisspanne in Bit entspricht. Wenn jeder Merkmalsvergleich z Millisekunden dauert und die Asymptote A der Lernkurve in Gleichung (4) der Kurzzeitgedächtnisspanne in Bit entspricht, kann z durch die Gleichung (11) geschätzt werden:

$$(11) z = C/A$$

Die Schätzungen für z sollten der Zeitquant-Theorie von Geissler (1990) zufolge ein ganzzahliges Vielfaches von 4.56 Millisekunden sein, wobei diese

Größe die kleinste für elementare Operationen benötigte Zeit ist. Bredenkamp (2004) hat die Gleichung (11) benutzt, um z aus seinen Versuchen zu schätzen. Es ergab sich ein Wert von 27.76 Millisekunden, der ziemlich genau dem Sechsfachen von 4.56 entspricht. Über weitere Befunde, die nicht im Rahmen der hier dargelegten Theorie erhoben wurden und Geisslers Theorie bestätigen, berichtet Krause (2000).

In seinem grundlegenden Werk "Information und Verhalten" führt Klix (1971) aus, dass es Fakten und Fakten gebe:

"Einmal solche, die gleichsam nur für sich stehen. Es sind Singularitäten der Erkenntnis, deren Wert sich mit dem Wissen um die Tatbestände ausschöpft. Und es gibt Fakten … in denen hochgradig verdichtete Information vorliegt, durch die sich Grundgesetze von weit ausstrahlender Gültigkeit wie in einem Brennpunkt bündeln." (Klix 1971, S. 23)

Krause (2000, S. 337) unterstreicht in seinem Werk über das Denken und das Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht die Wichtigkeit der Erforschung von Invarianzleistungen auch außerhalb der Psychophysik, und mit dem hier vorgestellten Ansatz der Verknüpfung verschiedener Invarianzhypothesen wurde versucht, zu einer Gesetzeshypothese zu gelangen, die über ein weiteres Gebiet der Lern- und Gedächtnispsychologie ausstrahlt als die Einzelhypothesen zu den singulären Fakten. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die hier betrachteten Hypothesen und empirischen Befunde eine Verknüpfung der Kurzzeit- mit der Langzeitgedächtnis-Forschung ermöglichen: Die Arbeitgedächtnistheorie von Baddeley und Hitch, Cavanaghs Hypothese sowie Geisslers Zeitquant-Theorie können so mit der Langzeitgedächtnisforschung verzahnt werden, dass für experimentelle Untersuchungen exakte quantitative Prognosen möglich sind, die genau überprüft werden können. Allerdings setzt die hier vorgenommene Verzahnung von Kurz- und Langzeitgedächtnis-Forschung voraus, dass die verarbeitete Information in der informationstheoretischen Einheit Bit angegeben werden kann. Deshalb wurde das verwendete Lernmaterial so konstruiert, dass der Informationsgehalt genau angegeben werden kann. Häufig können Probanden aber durch informationsreduzierende Strategien bzw. Strukturierung des Lernmaterials (vgl. Krause 2000) die Verarbeitung effektiver gestalten. Sofern der subjektive Informationsgehalt, der nicht dem statistischen Informationsbetrag entsprechen muss, in der informationstheoretischen Einheit Bit angegeben werden kann (vgl. hierzu Weltner 1970), lässt sich der dargestellte theoretische Ansatz prinzipiell auch auf diese Situation anwenden. Erfolgreich haben Bredenkamp und Hager (1979) die Verknüpfung der

mTTH und Nevelski-Hypothese auf das Textlernen angewandt; die Verzahnung mit der Kurzzeitgedächtnis-Forschung, sofern die subjektive Information erfasst wird, fehlt aber noch. Ebenfalls offen bleibt die theoretische Beziehung der Cavanagh-Hypothese zur Theorie des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch.

Literatur

- Baddeley, Alan (1997): Human Memory. Theory and Practice. Hove, East Sussex: Psychology Press
- Bredenkamp, Jürgen (1975): Die modifizierte Invarianzhypothese und die Hypothese einer konstanten Langzeitgedächtnisspanne. In: Psychologische Beiträge, Jg. 17, S. 483–496
- Bredenkamp, Jürgen (2004): Cavanagh's Hypothesis within the context of other Invariance Hypotheses: Theory and Data. In: Kaernbach, Christian; Schröger, Erich; Müller, Hermann (Hg.): Psychophysics beyond sensation. Laws and Invariants of human Cognition. Mahwah, New Jersey u.a.O.: Lawrence Erlbaum Associates, S. 319–329
- Bredenkamp, Jürgen; Hager, Willi (1979): Experimentelle Befunde zur modifizierten Invarianzhypothese und zur Hypothese einer konstanten Langzeitgedächtnisspanne. In: Psychologische Beiträge, Jg. 21, S. 382–400
- Bredenkamp, Jürgen; Hamm, Silke (2001): Further experimental tests of invariance hypotheses on learning and memory processes. In: Zeitschrift für Psychologie, Jg. 209, S. 227–244
- Bredenkamp, Jürgen; Klein, Klaus-Martin (1998): Experimental tests of a model connecting three Invariance Hypotheses on learning and memory processes. In: Zeitschrift für Psychologie, Jg. 206, S. 107–124
- Cavanagh, J. Patrick (1972): Relation between the immediate memory span and the memory search rate. In: Psychological Review, Jg. 79, S. 525–530
- Cooper, Elaine H.; Pantle, Allan J. (1967): The Total-Time Hypothesis in Verbal Learning. In: Psycholgical Bulletin, Jg. 68, S. 221–234
- Geissler, Hans-Georg (1990): Foundations of quantized processing. In: Geissler, Hans-Georg (Hg.): Psychophysical explorations of mental structures. Toronto u.a.O.: Hogrefe & Huber Publishers, S. 193–210
- Hamm, Silke (2004): Prognose der Kurzzeitgedächtnisspanne durch verschiedene Invarianzhypothesen. In: Erdfelder, Edgar; Funke, Joachim (Hg.): Allgemeine Psychologie und deduktivistische Methodologie. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, S. 225–244
- Klix, Friedhart (1971): Information und Verhalten. Bern u.a.O: Huber.
- Krause, Werner (2000): Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht. Göttingen u.a.O: Hogrefe
- Nevelski, P. B. (1970): Comparative investigations of the short-term and long-term memory span. In: Pribram, Karl H.; Broadbent, Donald E. (Hg.): Biology of memory. New York: Academic Press. S. 21–28
- Popper, Karl R. (1966): Logik der Forschung. Tübingen: J. C. B. Mohr

- Thurstone, Louis Leon (1917): The learning curve equation. In: Psychological Bulletin, Jg. 14, S. 64–65
- Ulrich, Rolf; Stapf, Kurt-Hermann; Giray, Markus (1996): Faktoren des Einprägens und Erinnerns. In: Albert, Dietrich; Stapf, Kurt-Hermann (Hg.): Gedächtnis = Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Serie 2, Band 4. Göttingen: Hogrefe, S. 95–179
- Weltner, Klaus (1970): Informationstheorie und Erziehungswissenschaft. Quickborn: Schnelle.

Heinz-Jürgen Rothe

Mensch-Maschine-Systeme in der Industrie 4.0 – Zur Aktualität der ingenieurpsychologischen Arbeiten von Friedhart Klix

1. Allgemeine Probleme künftiger Arbeit

Der Begriff "Industrie 4.0" ist in wenigen Jahren seit der Hannover-Messe 2013 zu einem Schlagwort mit nicht exakt definierter Bedeutung geworden. Die Zahl der Publikationen, die dieses Schlagwort im Titel führen, ist kaum noch zu übersehen.

Aus unserer Sicht lassen sich ein weiter und ein enger Bedeutungshof unterscheiden. Im weiteren Sinne umfasst Industrie 4.0 Digitalisierungsprozesse in vielen Lebensbereichen. So erwartet Bendel (2017) z.B. die Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen in selbstständig fahrenden Autos, die Daten sammeln und zu Werkstätten und Hersteller weiterleiten oder Operations-, Pflege-, Therapie- und allgemeine Serviceroboter, die menschliche Fachkräfte ergänzen, rund um die Uhr relevante Informationen auswerten und elektronische Patientenakten anlegen. Im Kern geht es also darum, dass bisher von Menschen ausgeführte Informationsverarbeitungsprozesse und daraus resultierende Eingriffshandlungen in reale Prozesse von technischen Systemkomponenten übernommen, menschliche Arbeit ersetzt wird. Folgerichtig kommt es dadurch zu Veränderungen bezüglich der Arbeitsaufgaben und der Arbeitsbedingungen von Erwerbstätigen. In dem Maße, wie die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien in der Wirtschaft eines Industrielandes wie Deutschland angewendet werden, sind immer mehr Arbeitsplätze von diesen Veränderungen betroffen. Das charakterisiert die "Arbeit 4.0".

Im engeren Sinne geht es um die Automatisierung von Wertschöpfungsketten zur Herstellung von Produkten. Informations- und Kommunikationstechnologien werden mit Produktionsprozessen verknüpft, es entstehen cyberphysische Systeme (CPS). Diese sollen im günstigsten Fall ermöglichen, dass nach der Auftragserteilung die Herstellung eines Produktes von der Materialbeschaffung über den Bearbeitungsprozess bis zur Auslieferung des Produktes an den Kunden automatisiert organisiert ist. Das setzt voraus, dass es zu

einem Informationsaustausch zwischen technischen Systemkomponenten kommt. Man spricht vom sogenannten Internet der Dinge, in dem durch Cloud-Computing Datenbanken und Programme von verschiedenen Prozessen entlang der Wertschöpfungskette aufgebaut, gespeichert und untereinander vernetzt werden. Offen sind vor allem solche grundsätzlichen Fragen wie die nach den neuartigen Merkmalen von Inhalt und Struktur der geänderten Arbeitsanforderungen und deren Auswirkungen auf die Gesundheit von Erwerbstätigen sowie nach Art und Umfang der Folgen des Automatisierungsprozesses auf den Arbeitsmarkt.

2. Spezifische Probleme der Veränderung von Arbeitstätigkeiten

2.1 Technisierungsstufen

In den Arbeitswissenschaften besteht Konsens darüber, dass menschliche Arbeit nach Technisierungsstufen klassifiziert werden kann. So differenziert z.B. Luczak (1993) zwischen manuellen, mechanisierten und automatisierten Arbeitssystemen. Sie haben sich in der Menschheitsgeschichte nacheinander entwickelt und lassen sich weiter untergliedern. So ist die manuelle Arbeit durch den Gebrauch von (Hand-)Werkzeugen gekennzeichnet; die für deren Handhabung benötigte Energie muss der Mensch aufbringen. In mechanisierten Arbeitssystemen bedient der Mensch Maschinen, die wesentliche Verrichtungen des Menschen übernommen haben und die durch technische Energieformen angetrieben werden. Über die Mechanisierung von Arbeitsvollzügen hinausgehend übernimmt in automatisierten Arbeitssystemen das technische Teilsystem auch wesentliche Komponenten der Steuerung und Kontrolle der Prozesse zur Herstellung von Produkten.

2.2 Arbeit in Mensch-Maschine-Systemen

Es ist das Verdienst von Friedhart Klix, bereits 1971 auf der Grundlage einer differenzierten Analyse der damals in verschiedenen industriellen Bereichen zu findenden automatisierten Arbeitssysteme unabhängig vom jeweiligen Automatisierungsgrad, das Gemeinsame der Arbeitssituationen in Bezug auf die Anforderungen an den Menschen herausgearbeitet zu haben, indem er definierte (Klix 1971a, S. 43):

"Unter einem Mensch-Maschinen-System verstehen wir die zeitweilige Verbindung und Wechselwirkung zweier Systeme, eines biologischen, historischen und speziell gesellschaftlichen Gesetzen der Informationsverarbeitung unterworfenen steuernden Systems und eines physikalischen Gesetzen unterworfenen gesteuerten Systems mit dem Ziel, höchstmöglichen Nutzen durch die bestmögli-

che Zusammenfassung, Kontrolle und Führung einer Vielzahl von Prozessparametern oder Operationen zu erzielen. Im Besonderen gilt: Beide Systeme nehmen für die Zeit ihrer Verbindung wechselseitig Information in kodierter Form auf. Dabei verändert das gesteuerte System je nach der aufgenommenen Information seinen momentanen Zustand, das steuernde System hingegen verändert je nach der Rückinformation über diese Zustandsänderung und der gesellschaftlichen Zielstellung seines Handelns seine Entscheidungen oder seine Entscheidungsstrategie."

Die Relevanz dieser Definition für den aktuellen wissenschaftlichen Diskurs belegen z.B. die Ergebnisse des Forschungsprojektes. "Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Wissenschaftliche Standortbestimmungen" (vgl. Robelski 2016) und das "Handbuch Industrie 4.0" (vgl. Vogel-Heuser et al. 2017).

Zwei Aspekte der Klix'schen Mensch-Maschine-System-Definition sind meines Erachtens für die Lösung von Problemen der aktuellen Forschung von Relevanz. Zum einen geht es um den Hinweis, dass beide Systeme wechselseitig Information in kodierter Form aufnehmen und zum anderen, dass sie unterschiedlichen Gesetzen unterliegen. Auf ersteres kommen wir noch zurück, letzteres ist zwar scheinbar trivial, hat aber meines Erachtens im Zusammenhang mit der Rolle der "künstlichen Intelligenz" von Computern in der Industrie 4.0 große Bedeutung. Die für cyber-physische Systeme charakteristische Verbindung zwischen realen technischen Systemen und software-technischen Systemen des Internets schließt auch die Verbindung mit Multiagentensystemen ein. Darunter sind nach Brödner (2017) interagierende, autonome Software-Agenten zu verstehen, die Daten aus der Umgebung aufnehmen, proaktiv nach eigenen Algorithmen, zumeist mittels maschineller Lernverfahren, verarbeiten und resultierende Daten wieder nach außen abgeben. Diese Daten sind also das Ergebnis elektronischer Informationsverarbeitung, sie besitzen emergente Eigenschaften und deren Nutzung kann daher die vom Systementwickler vorgegebenen Algorithmen und Programme im weiteren Prozessablauf modifizieren. Aber: Emergenz ist nicht gleich Intelligenz. Intelligentes Verhalten führt zu effizienteren Problemlösungen, also zu Zeitersparnis oder Aufwandsminimierung. Ob die in einem konkreten automatisierten Produktions- oder Dienstleistungsprozess durch ein Multiagentensystem vorgeschlagenen Modifikationen des automatischen Ablaufs zu einer Effizienzerhöhung führen oder im ungünstigsten Fall die Erreichung vorgegebener Ziele verhindern, kann auf Grund des emergenten Charakters der Vorschläge nicht vorausgesehen werden. Während in der Planungsphase von Prozessabläufen die Auswirkungen emergenter Ereignisse beobachtet und im Falle negativer Effekte für die Zielerreichung diese eliminiert werden können, muss bei realen Prozessen beim Auftreten emergenter Informationen der Ablauf gestoppt und eine Meldung an die das Gesamtsystem kontrollierenden menschlichen Akteure erfolgen. Diese müssen dann – unter Umständen unter Einsatz von Assistenzsystemen – prüfen, welche Auswirkungen die konkreten emergenten Daten haben können und daraufhin Entscheidungen bezüglich des weiteren Prozessablaufes treffen. Das heißt, die "künstliche Intelligenz" des technischen Systems führt nicht automatisch zu einer effizienteren Herstellung von Produkten oder Dienstleistungen, aber zu einer neuen Qualität des Informationsaustausches zwischen Mensch und Maschine. Diesbezügliche Forschungen dazu müssen verstärkt werden.

2.3 Zur Optimierung des Informationsaustausches im Mensch-Maschine-System

Als eines der Hauptprobleme zur Optimierung des Informationsaustausches in Mensch-Maschine-Systemen charakterisierte Klix (1971a) das Kodierungsproblem. Es basiert auf der von ihm (vgl. Klix 1971b) differenziert begründeten Arbeitsweise der menschlichen Sinnesorgane bei der Verhaltensregulation des Individuums in seiner Umgebung, die durch variierende spezifische Reizkonfiguration gekennzeichnet ist: Die von den Rezeptorsystemen wahrgenommenen Reizkonfigurationen müssen danach klassifiziert werden, welcher Umgebungszustand sie geprägt oder kodiert hat. Entscheidend dabei ist: Die physikalischen Reize besitzen Bedeutungen, die im Gedächtnis gespeichert sind, d.h., irgendwann erlernt worden sein müssen. Ist das nicht der Fall, sind sie für das Individuum Lichtreize, Geräusche oder Gerüche, mit denen es nichts anzufangen weiß. Oder anders gesagt, physikalische Reize sind gewissermaßen zu Kodes für Objekte, Sachverhalte oder Vorgänge geworden, die bestimmte individuelle Verhaltensweisen induzieren, wenn sie in bekannten Kontexten auftreten.

In Mensch-Maschine-Systemen verkompliziert sich dieser Dekodierungsprozess (siehe Abb. 1).

"Die wesentlichen steuerbaren oder zu kontrollierenden Größen eines Fertigungsprozesses werden durch elektronische Messfühler aufgenommen, in Impulse bzw. in Spannungsschwankungen umgesetzt und auf einem Tableau sichtbar gemacht. Die physikalisch wirkenden Signale werden dort erst einer natürlichen Kodierung unterworfen und dem Wahrnehmungssystem des Operateurs zugänglich gemacht. Dessen Nervensystem muss jetzt die Reizeigenschaften am Tableau

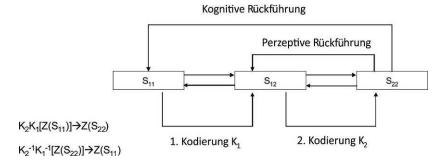


Abb. 1: Die Kodierungsstufen in Mensch-Maschine-Systemen

S₁₁, S₁₂, S₂₂: Systemzustände (vgl. Klix 1971a)

entziffern und daraus rückwärts die Zustandsgrößen des Fertigungsprozesses identifizieren. Es wird ganz klar, dass zwei Kodierungsstufen unterschieden werden müssen, nämlich (1) die Umsetzung der Prozessparameter in skalierbare physikalische Zustandsänderungen wie z.B. Potentialsprünge, Feldstärkeänderungen, Stufen variabler Lichtemission u.a., (2) die Umsetzung dieser physikalischen Zustandsänderungen in Prozessgrößen, die in der Lage sind, Erregungsveränderungen der Rezeptorfelder an den Sinnesorganen hervorzurufen. Wir müssen bei der ingenieurpsychologischen Behandlung von Mensch-Maschine-Systemen von der zweiten Kodierungsstufe ausgehen. Über sie läuft die Verbindung der Menschen für den zu steuernden Prozess. Hier kommt es darauf an, dass die physikalischen Zustandsänderungen als Kodierungen des realen Prozesses so dargestellt werden, dass jeder zu unterscheidende Zustand auch eine sensorisch eindeutig unterscheidbare Darstellung erhält und dass die Menge der zu kontrollierenden Zustandsänderungen auch die Menge der verarbeitbaren Signaländerungen nicht übersteigt." (Klix 1971a, S. 57/58)

Und ergänzend:

"Welche Parameter in welche physikalischen Zustandsänderungen überführt, welche miteinander verknüpft und welche unabhängig voneinander dargeboten werden, ist auch deshalb so wesentlich, weil der Operateur, von der zweiten Kodierung ausgehend, die mit dem erkannten Signal übertragene reale Prozessgröße erschließen muss." (Ebd., S. 59)

Seit den 70er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden insbesondere in den europäischen Ländern und den USA unzählige Studien einerseits zur Entwicklung von Kodezeichen durchgeführt, die geeignet sind, Informationen über Merkmale technischer Systeme an den Menschen im Mensch-Ma-

schine-System zu übermitteln. Sie lassen sich nach ihrer Modalität und Komplexität klassifizieren. Tabelle 1 enthält typische Beispiele.

Modalität	Beispiele
Visuell	Symbole und Piktogramme
	digitale Anzeigen
	Diagramme
	Schaltbilder
	Animationen und Videos
	Abkürzungen, Wörter und Texte
Auditiv	Töne
	Klänge
	gesprochene Wörter und Texte

Tab. 1: Kodes in Mensch-Maschine-Systemen

Hinsichtlich der "Signalgeber" hat sich eine Entwicklung von maschinengebundenen Messgeräten über Displays und Tableaus bis zu computergebundenen Monitoren vollzogen. Andererseits ging es um die Gewinnung von Erkenntnissen über die Kodezeichengestaltung. Sie konzentrierten sich sowohl auf die schnelle und fehlerfreie Wahrnehmbarkeit der Zeichen als auch auf die Minimierung des kognitiven Dekodierungsaufwandes zur Ermittlung ihrer Bedeutung. Ihren Niederschlag fanden die Forschungsergebnisse in Gesetzen und Normen (vgl. z.B. DIN EN ISO 9241 2008; BMAS 1998). Durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zur Standortbestimmung bezüglich der Erkenntnisse zur "Psychischen Gesundheit in der Arbeitswelt" publiziert, die allein für das Themenfeld Mensch-Maschine-Interaktion auf der Auswertung von mehr als 20.000 Publikationen basiert. Im Ergebnis der letztlich in die inhaltliche Analyse speziell zur Gestaltung der Schnittstelle zwischen Maschine und Mensch einbezogenen 40 empirischen Studien kommt die Autorin in ihrem Abschlussbericht (vgl. Robelski 2016, S. 78) allerdings zu der Schlussfolgerung, dass

"im Hinblick auf neue Technologien und Interaktionskonzepte wie sie im Rahmen von Industrie 4.0 (z.B. Echtzeitfähigkeit, zunehmende Vernetzung) propagiert werden, das vorliegende Scoping Review nur wenige Aussagen [trifft]. Obwohl die Datenbankrecherchen den Stand von Juli 2014 ausweisen und der Großteil der extrahierten Studien aus den vergangenen 10 Jahren entstammt, werden neue Technologien von einem vergleichsweise geringen Teil der Studien im Review betrachtet."

Aus meiner Sicht gibt es dafür vor allem zwei methodologische Ursachen:

- (1) Trotz häufiger Bekundungen der Notwendigkeit waren Ingenieurpsychologen nur sehr selten in die Entwicklungsteams bei Automatisierungsvorhaben einbezogen. Die Lösung der Kodierungsprobleme auf der 1. Stufe erfolgte intuitiv und pragmatisch durch Ingenieure, Informatiker und Technologen. Der Erkenntnisgewinn bezüglich der Optimierung des Informationsaustausches im Allgemeinen und der konkreten Kodierungen im Speziellen also auf der 2. Kodierungsstufe erfolgte im Nachhinein im Ergebnis von "Korrektur- oder Trainingsstudien" mittels alternativer Kodealphabete und Dialogtechniken.
- (2) Felduntersuchungen experimentellen Charakters mit realen Mensch-Maschine-Systemen wurden aus ökonomischen Gründen selten durchgeführt. Es handelte sich stattdessen in der Regel um Simulationsexperimente im Labor mit Probanden, die über unterschiedliche Fachkenntnisse auf dem Gebiet des Mensch-Maschine-Systems, für das der Informationsaustausch simuliert wurde, verfügten (z.B. Überwachung der Steuerung eines Kraftwerkes, Montage eines Autos). In mehr als 50% aller Studien waren es Studenten. Daraus resultierte die Notwendigkeit zur Durchführung von vorherigen Trainings bezüglich der Bedeutung von verwendeten Kodezeichen und zur Reduzierung der mit den dekodierten Informationen zu lösenden Aufgaben auf einfache kognitive Leistungen.

Essenzielle Beiträge zur menschengerechten Umsetzung des Industrie 4.0-Konzeptes kann die Ingenieurspsychologie aber erbringen, wenn sie sich in ihren künftigen Forschungen zur Schnittstellengestaltung von Mensch-Maschine-Systemen auf die 1. Kodierungsstufe im Klix'schen Sinne konzentriert: In der einschlägigen Literatur werden die in cyber-physischen Systemen zu erwartenden Anforderungen an den Menschen nur allgemein beschrieben. So spricht Hirsch-Kreinsen (2015, S. 16) von einem "Upgrading geforderter Qualifikationen infolge der Substituierung einfacher Tätigkeiten durch computertechnische Automatisierung". Kagermann (2017, S. 240) erwartet, dass in der Industrie 4.0 der Mensch "weniger als "Maschinenbediener" eingesetzt [wird], sondern mehr in der Rolle des Erfahrungsträgers, Entscheiders und Koordinators". In frühen Phasen der Entwicklung konkreter cyber-physischer Systeme muss also geklärt werden, worin die Aufgaben bei der Kontrolle und Steuerung des Systems bestehen und insbesondere welche Informationen zur Aufgabenlösung benötigt werden. Diese In-

formationen betreffen Objekte, Zustände und Ereignisse des jeweiligen automatisierten Produktions- oder Dienstleistungsprozesses. Es müssen die konstituierenden Merkmale dieser zu kodierenden Informationen differenziert erfasst und davon ausgehend die Kodezeichen und deren Gestaltung bestimmt werden. Auf der 2. Kodierungsstufe ist dann zu prüfen, ob die daraus resultierenden Dekodierungsprozesse auf der Grundlage individueller Gedächtnisleistungen bewältigt werden können oder ob zusätzlich Assistenzsysteme zur Verfügung gestellt und deren Nutzung ebenfalls projektiert werden muss. Zudem ist zu gewährleisten, dass die projektierten Arbeitssituationen nicht zu Gesundheitsgefährdungen bei den Betroffenen führen. Zweifellos kann dieser Forschungsprozess nur optimal erfolgen, wenn Ingenieure, Informatiker und Psychologen kooperieren. Seitens der Arbeitsund Ingenieurpsychologie sind hierbei zunächst vor allem die Erkenntnisse über prospektive Arbeitsanalyse, Arbeitsgestaltung und Arbeitsbewertung (vgl. Hacker 1986) einzubringen. Für die Bestimmung der Kodealphabete und für die konkrete Kodezeichengestaltung können die Erkenntnisse aus den vorliegenden Simulationsexperimenten über menschliche Dekodierungsleistungen genutzt werden.

3. Fazit

Bezüglich des Entwicklungstrends der Mensch-Maschine-Interaktion schlussfolgerte Klix vor mehr als 40 Jahren (Klix 1971a, S. 48):

- "(1) Die Grundstruktur für die Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen bleibt erhalten: Das dem Menschen über den Prozess übertragene Informationsangebot wird zunehmend reduziert; dies aber nur relativ und nicht absolut. Die relative Senkung der rückgemeldeten Information wird durch zunehmende Komplexität des zu steuernden Prozesses aufgewogen und erhöht dadurch die ökonomische Fondsbelastung der Entscheidungshandlung von Operateuren.
- (2) Das ursprüngliche informationsvermittelnde Teilsystem wird zu einem echten informationsverarbeitenden System umgewandelt. Damit werden Kontroll-, Überwachungs- und Entscheidungsfunktionen des Menschen vom Maschine-System übernommen. Es gewinnt damit den Charakter eines kybernetischen Systems.
- (3) Die Kontroll- und Steuerfunktion des Menschen geht von einer mehr sensorischen und motorischen Beanspruchung mehr und mehr über in eine kognitive, vorwiegend geistige Arbeitsanforderung.
- (4) In der höchsten Entwicklungsphase sind Mensch-Maschine-Systeme und Mensch-Rechner-Systeme identisch."

Abstrahiert man von den konkreten Erscheinungsformen der Verknüpfung der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien mit Produktions- und Dienstleistungsprozessen – die für die Industrie 4.0 charakteristisch sind – und fokussiert auf die Mensch-Maschine-Interaktion in cyber-physischen Systemen, kommt man heute im Kern zu den gleichen Schlussfolgerungen. In der Wissenschaftsgeschichte ist es nur wenigen Wissenschaftlern gelungen, in genialer Weise zu ihren Lebzeiten künftige Entwicklungen in ihrem Forschungsgebiet zutreffend vorauszusehen. Friedhart Klix gehört zweifellos dazu.

Literatur

- Bendel, Oliver (2017): Die Industrie 4.0 aus Sicht der Ethik. In: Reinheimer, Stefan (Hg.): Industrie 4.0. Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele. Wiesbaden: Springer, S. 161–171
- Brödner, Peter (2017): Die dritte Welle der "automatischen Fabrik" Mythos und Realität semiotischer Maschinen. In Banse, Gerhard; Busch, Ulrich; Thomas, Michael (Hg.): Digitalisierung und Transformation. Industrie 4.0 und digitalisierte Gesellschaft. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, S. 165–184
- Bundesministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales (BMAS) (1998): Bildschirmarbeitsverordnung. BGB II Nr. 124/1998
- DIN EN ISO 9241-110: 2008-09 (2008): Ergonomie der Mensch-Maschine-System-Interaktion Grundsätze der Dialoggestaltung. Berlin: Beuth
- Hacker, Wilfried (1986): Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Hirsch-Kreinsen, Harmut (2015): Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In Hirsch-Kreinsen; Hartmut; Ittermann; Peter; Niehaus; Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S. 9–30
- Kagermann, Henning (2017): Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Vogel-Heuser, Brigitte; Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael (Hg.): Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4. Allgemeine Grundlagen. Berlin: Springer Nature, S. 235–257
- Klix, Friedhart (1971a): Die Optimierung des Informationsaustausches in Mensch-Maschine-Systemen als psychologische Aufgabenstellung – Versuch einer Präzisierung des Gegenstandsgebietes der Ingenieurpsychologie in der sozialistischen Industrie. In Klix, Friedhart; Neumann, Jochen; Seeber, Andreas; Timpe, Klaus-Peter (Hg.): Psychologie in der sozialistischen Industrie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 40–74
- Klix, Friedhart (1971b): Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung. Einführung in naturwissenschaftliche Grundlagen der Allgemeinen Psychologie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften

- Robelski, Swantje (2016): Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt. Mensch-Maschine-Interaktion. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hg.): Forschung Projekt F 2353. Dortmund u.a.O.: BAuA
- Vogel-Heuser, Brigitte; Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael (Hg.) (2017): Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4. Allgemeine Grundlagen. Berlin: Springer Nature

Anna-Marie Metz

Psychophysiologie und menschliche Informationsverarbeitung

"Psychophysiology has developed as a result of efforts made to attribute physiological correlates to the knowledge of man's mental or motivational performances."

(Klix et al. 1980, S. 162)

Persönliche Vorbemerkung

Friedhart Klix kenne ich seit Beginn meines Studiums an der Humboldt-Universität, zunächst als – damals noch – Dozenten. Als er nach seiner Jenenser Zeit nach Berlin zurückkam, betreute er meine Diplomarbeit und anschließend meine Dissertation. Obwohl ich meine wissenschaftliche Arbeit jenseits der Promotion außerhalb der Berliner Universität fortsetzte, blieben doch diese frühen Jahre in mehrfacher Hinsicht prägend. Fachlich war es die intensive Beschäftigung mit der mir bis dato kaum vertrauten Psychophysiologie im Kontext der kognitiven Psychologie. Auf der Metaebene war es die experimentell-naturwissenschaftliche Orientierung unseres Faches, der ich mich bis heute verbunden fühle, auch wenn arbeitspsychologische Themen in praxi kaum mit dem Prinzip der "isolierenden Bedingungsvariation" eines Experiments bearbeitet werden können. Allerdings bin ich überzeugt – praktische Anwendung bedarf eines soliden Grundlagenbezugs. Das Lewin zugeschriebene Zitat, dass nichts so praktisch sei wie eine gute Theorie, gilt noch immer.

So werde ich mit der Perspektive "von außen" versuchen, wichtige Entwicklungen psychophysiologischer Forschung am Berliner Psychologischen Institut in der Zeit von F. Klix zu würdigen und im zweiten Teil exemplarisch auf eigene psychophysiologische Arbeiten einzugehen.

Anfänge psychophysiologischer Forschung in den 60er-Jahren

1962 waren die technischen Voraussetzungen psychophysiologischer Forschung am Berliner Institut aus heutiger Sicht bescheiden. Im Wesentlichen

154 Anna-Marie Metz

stand nur ein analog aufzeichnendes achtkanaliges Verstärker- und Registriergerät samt Faradayschem Käfig zur Verfügung. Obwohl eigentlich für EEG-Ableitungen ausgelegt, ließ es sich auch zur Aufzeichnung anderer bioelektrischer Signale wie der Pupillenreaktion und der Muskelaktivität nutzen. Aufzeichnung und (manuelle) Datenauswertung erforderten nicht nur hohen personellen Aufwand, sondern auch Hartnäckigkeit und Frustrationstoleranz gegenüber diversen technischen Problemen.

In einer der frühen experimentellen Arbeiten am Institut wurde die Aktivität der Willkürmuskulatur als Indikator für das Erlernen sensomotorischer Bewegungen herangezogen. Pursuit-Tracking-Aufgaben sollten erlernt werden; die Leistungsgüte wurde quantitativ bestimmt über die Abweichungen des Folgepunktes von dem zu verfolgenden Kurvenzug. Zugleich wurde die bioelektrische Aktivität der an der Bewegung hauptsächlich beteiligten Muskeln biceps brachii und triceps brachii bipolar abgeleitet. Über die Verhaltensdaten hinaus, die sich wie erwartet einer exponentiellen Lernkurve anpassen ließen, konnten aus der registrierten Muskelaktivität zusätzliche Informationen bezüglich der Organisation des sensomotorischen Verhaltens gewonnen werden. Die Muskelaktivität, genauer die Innervationsdauer nimmt während des Lernens deutlich ab. Zum anderen wird die Koordination zwischen agonistisch und antagonistisch wirkenden Muskeln lernabhängig verändert: Die Aktivität des Antagonisten verschwindet gegen Ende des Lernprozesses, das Aktivitätsniveau des Agonisten wird minimiert. Im trainierten Zustand ist insgesamt ein effizientes Bewegungsmuster ausgebildet, das eine hohe Leistungsgüte sichert und zugleich den physiologischen Aufwand optimiert (vgl. Metz 1970).

Ging es im beschriebenen Ansatz um die Bestimmung des physiologischen Aufwands während des Erlernens einer koordinierten Bewegung, ist die Messung der "biologischen Kosten" in überwiegend kognitiven Prozessen ein zentrales Problem der Psychologie. In welchem Maße eine von außen gegebene psychische Belastung sich im Erleben, im Leistungsverhalten und im Aufwand zur Bewältigung von Belastung niederschlägt, ist mit solchen Fragen verbunden wie: Kann arbeitsbezogene psychische Belastung minimiert/optimiert werden? Welche Copingmechanismen befähigen Beschäftigte, Fehlbelastungen zu bewältigen? Wie kann die eigene Gesundheit vor negativen Folgen von Fehlbeanspruchungen geschützt werden?

Hier ordnet sich die Arbeit von Maspfuhl aus den 60er-Jahren ein. Sie variierte die Schwierigkeit einer relativ einfachen Aufgabe, nämlich in visuell dargebotenen 8x8-Matrizen mit unterschiedlicher Relation schwarzer und weißer Felder zu schätzen, wie viele weiße Flächen in der jeweiligen Matrix sind. Die Schwierigkeit der Aufgabe lässt sich durch die Anzahl der Felder

problemlos variieren, sie wird subjektiv von den Versuchspersonen auch so wahrgenommen (gemessen über Paarvergleiche). Die parallel registrierte Muskelaktivität indizierte sehr differenziert den durch die unterschiedlich schwierigen Aufgaben ausgelösten physiologischen Aufwand. Als Marker wurde in diesem Experiment die Dauer der muskulären Präaktivierung von der Präsentation der Aufgabe bis zur Reaktion (Tastendruck) gewählt, d.h. genau die Zeit, in der die Verarbeitung der Information und die Organisation der Antwortreaktion erfolgt. Somit ist in beiden Paradigmen die bioelektrische Muskelaktivität sensitiv, zum einen bezogen auf Lernprozesse, zum anderen bezogen auf einfache kognitive Informationsverarbeitung.

Beide Arbeiten gehören zu den ersten psychophysiologischen Publikationen aus den frühen Jahren (vgl. Maspfuhl/Metz 1969 sowie Metz 1970). Ebenfalls in dieser Zeit veröffentlichten Klix und Giesbier (1969) erste Ergebnisse zur Messung des Aktivierungsniveaus mit Hilfe der Infrarot-Pupillografie während der Bearbeitung von Rechenaufgaben sowie während eines Gedächtnisexperiments. Zuvor war bereits 1967 von Strauss ebenfalls mit Hilfe der Infrarot-Pupillograpfie geprüft worden, in welcher Weise Psychopharmaka die Pupillenmotilität beeinflussen (vgl. Strauss 1967). Weinrich (1968) wiederum bestimmte anhand der Grundaktivität des Spontan-EEG den zentralnervösen Aktivierungszustand und setzte diesen in Beziehung zu einfachen Signalentdeckungsleistungen. Nicht überraschend erwies sich der entspannte Wachzustand mit einem hohen Anteil von Alpha-Aktivität als optimale Voraussetzung für die erfolgreiche Signalentdeckung. Anfang der 1970er-Jahre war damit im wesentlichen das noch immer bescheidene technische Equipment entwickelt und erprobt sowie erste Erfahrungen mit psychophysiologischen Experimenten gesammelt. Bevorzugt wurde die experimentelle Suche nach tonischen Veränderungen der jeweiligen biologischen Parameter, die Indikatoren für psychische Zustände wie Wachheit, psychische Belastung durch kognitive Prozesse oder pharmakologisch bedingte Effekte. Phasische Reaktionen mit einem genau definierten Zeitbezug zu den auslösenden (Einzel)-Ereignissen/Aufgabenanforderungen konnten mit der vorhandenen Technik noch nicht mit hinreichender Genauigkeit bearbeitet werden.

Psychophysiologie am Psychologischen Institut in den Jahren 1970–1990

Die psychophysiologische Forschung wurde in diesen Jahren deutlich ausgeweitet und vertieft.

Zum einen ging es um die Differenzierung der Komponenten, der Struktur und der Prozesse menschlicher Informationsverarbeitung anhand des von 156 Anna-Marie Metz

Klix ausgearbeiteten Modells des Informationsaustauschs zwischen Organismus und Umwelt (siehe Abb. 1) und deren physiologische Indikatoren. Damit gerieten phasische Reaktionen in den Fokus.

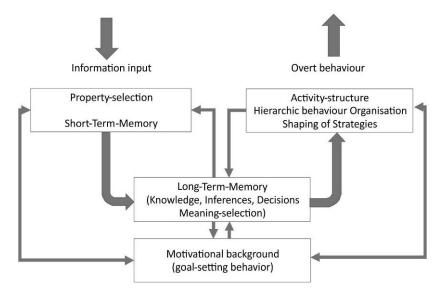


Abb. 1: Rahmenschema zur menschlichen Informationsverarbeitung (modifiziert nach Klix 1980, S. 16)

Zum anderen wurde das Methodenspektrum psychophysiologischer Messverfahren erweitert, die technische Basis zu Registrierung und Datenverdichtung ausgebaut und den damaligen technischen Standards angepasst. Die Installierung einer psychophysiologischen Arbeitsgruppe war eine weitere wichtige Voraussetzung, eigenständige Forschung zu betreiben. Dank der Einbeziehung von Diplomanden und Doktoranden konnte die personelle Kapazität nicht nur vergrößert, sondern auch die Themenvielfalt ausgebaut werden. Unter den psychophysiologischen Messverfahren spielten das EEG (Elektroenzephalografie), insbesondere die daraus abgeleiteten ereignisbezogenen Kenngrößen ERP (event related potential) wie N2, P3, CNV (contingent negative variation) sowie die Infrarot-Pupillografie eine herausgehobene Rolle. Peripherphysiologische Parameter wie Hautleitwert/elektrodermale Aktivität (EDA) sowie kardiovaskuläre Kenngrößen wie Herzfrequenz und Herzratenvariabilität wurden ebenfalls verwendet, jedoch eher

dann, wenn es um anwendungsbezogene Fragestellungen ging. Neben zahlreichen Publikationen wurden die Ergebnisse der Arbeit fachöffentlichkeitswirksam auf dem XXII. Internationalen Kongress der IUPsyS (International Union of Psychological Science) 1980 in Leipzig und dem gemeinsam mit Kollegen aus Finnland vorbereiteten 1. Psychophysiologischen Symposium 1983 in Berlin präsentiert (vgl. Klix et al. 1985).

In Vorbereitung auf den Leipziger Kongress gaben Klix, Rebentisch und Sinz (1980) einen noch heute lesenswerten zusammenfassenden Überblick zu wichtigen Ergebnissen und methodischen Ansätzen des bis dahin Erreichten. Deshalb beschränke ich mich hier auf die Nennung einiger Schwerpunkte (in Klammern jeweils die verwendeten physiologischen Kenngrößen):

- Einfluss der allgemeinen zentralnervösen Aktivierung auf Informationsaufnahme und Signaldetektion (Grundaktivität im EEG; ERP, insbesondere P300),
- allgemeine und selektive Aufmerksamkeit und ihre Bedeutung für die Informationsaufnahme (ERP),
- elementare Prozesse im Problemlösen bei Satz-Bild-Vergleichen (ERP),
- Gedächtnisleistung und elementare semantische Operationen (ERP),
- Indikation von allgemeiner Aktivierung sowie kognitiver Belastung durch psychophysiologische Parameter (Herzfreqenz, Herzratenvariabilität, EDA, ERP, speziell CNV).

Im Bericht über das oben genannte Symposium an der Humboldt-Universität 1983 wird deutlich, dass insbesondere die Arbeiten zum prozeduralen und stationären Gedächtnis, zur Begriffsbildung und den zwischen-, oberund unterbegrifflichen Relationen auch durch psychophysiologische Experimente mit Hilfe der Pupillografie sowie der ERP vorangetrieben worden waren (vgl. Klix 1985). Außerdem werden peripherphysiologische Änderungen während kognitver Informationsverarbeitung am Berliner Institut stärker thematisiert. Beispielhaft seien genannt die Publikationen von Klix, van der Meer und Preuß (1985) zu Reaktionen der Pupillenmotilität auf das Erkennen semantischer Relationen sowie von Schönebeck, Zimmer und Kniesche (1985) zur Herzratenvariabilität beim Textverstehen.

Im Ganzen ist die Periode von 1970 bis 1990 durch intensive psychophysiologische Forschung gekennzeichnet, fast immer im direkten Bezug zu den von Klix formulierten Schwerpunkten der Allgemeinen Psychologie, aber zunehmend auch mit Blick auf praktisch anwendbare Resultate, zum Teil auch auf in praxi zu nutzende Messverfahren. Die Erwartung, mit Hilfe

158 Anna-Marie Metz

psychophysiologischer Methoden einen Mehrwert gegenüber ausschließlich behavioralen Daten zu erhalten, hat sich als fruchtbar erwiesen. Mir scheint eine Besonderheit, dass im Institut für Psychologie der Humboldt Universität jedes psychophysiologische Experiment einer klaren psychologisch begründeten Fragestellung folgte und damit die Deutungshoheit auch immer diesem Kontext verpflichtet war – nicht selbstverständlich für psychophysiologische Arbeitsgruppen!

Eigene psychophysiologische Arbeiten

Nach einer langen Phase arbeitspsychologischer Forschung im außeruniversitären Bereich trat die Befassung mit psychophysiologischen Themen zwar in den Hintergrund, das Interesse und die Faszination für physiologische Prozesse blieb. Im Zusammenhang mit Experimenten zur Wirkung mechanischer Ganzkörperschwingungen - ein für Psychologen auf den ersten Blick abseitiges Thema - begegneten mir im interdisziplinären Team mit Medizinern, Physiologen und Physikern wieder die Physiologie in Form von Messung der Vestibularfunktionen sowie der muskulären Reaktionen während Schwingungseinwirkung. Intensiver wurde dann die Arbeit ab Mitte der 80er-Jahre im Bereich Physiologie am Zentralinstitut für Arbeitsmedizin. Das EEG Labor hatte für die damalige Zeit gute technische Voraussetzungen. Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Indikatorfunktion von Komponenten des ERP für kognitive Prozesse. Thematisch hatten sie somit Bezug zu den Stufen der Informationsverarbeitung, wie sie Klix konzipiert hatte. Jedoch waren die Forschungen stärker fokussiert auf die funktionelle Bedeutung der reizevozierten Potentiale, darunter vor allem der spät positiven Komponente P300. Sie galt lange als der Indikator für den kognitiven Verarbeitungsaufwand (vgl. auch die oben genannten Arbeiten aus dem Berliner Institut). Da sie allerdings durch sehr unterschiedliche Einflussgrößen ausgelöst wird, ist sie funktionell mehrdeutig. So wird sie z.B. beeinflusst durch die Unterscheidung relevanter und irrelevanter Reize, durch unterschiedliche Wahrscheinlichkeit von erwarteten Ereignissen, durch Abweichung von einem internen Modell durch unerwartete Ereignisse und durch Variation der Schwierigkeit kognitiver Anforderungen. In eigenen Experimenten konnten wir nachweisen, dass auch die Abweichung von einem experimentell induzierten Bezugsystem die Ausprägung der P300 Amplitude beeinflusst (vgl. Ullsperger et al. 1986 sowie Ullsperger et al. 1988). Gemeinsam ist den Interpretationen der P300 Resultate in diesen unterschiedlichen Untersuchungsansätzen, dass sie sich als Indikator bewusster Informationsverarbeitung interpretieren lassen.

Ein zweiter Zugang zur Aufwandsbestimmung wird über die Technik der Doppelaufgaben realisiert (vgl. u.a. Bornemann 1959; Isreal et al. 1980). Es wird angenommen, dass die limitierten Ressourcen, die für eine Aufgabe gefordert sind, für die zweite Aufgabe nicht mehr zur Verfügung stehen und damit die Leistung beinträchtigen. So würde über die "Restkapazität" messbar, welchen Aufwand eine bestimmte kognitive Aktivität erfordert. Das Arbeitsgedächtnis mit seiner begrenzten Kapazität muss diese Ressourcenallokation neben der Informationsspeicherung realisieren. Damit könnten Leistungen des Arbeitsgedächtnisses eine Schlüsselrolle für die Bestimmung mentaler Beanspruchung haben. Angesichts des gegenwärtig als geradezu typisch für die moderne Arbeitswelt benannten "multitasking" wird deutlich, dass diese Thematik heute hoch aktuell ist. Gemeinsam mit Herbert Hagendorf vom Institut für Psychologie der Humboldt Universität und Mitarbeitern der Abteilung Arbeits- und Organisationspsychologie an der Universität Potsdam (Groß, Grune, Kusak, Ribback) haben wir eine Reihe von Experimenten zum Arbeitsgedächtnis durchgeführt und publiziert u.a. Groß, Metz und Ullsperger (1992), Groß und Metz (1998) und Kusak et al. (1997, 2000).

Abschließend seien einige Experimente genannt, die peripher-physiologische Messungen nutzten. EEG-Ableitungen sind zur Zeit fast nur im Labor möglich, so dass ein praktischer Bezug zu realen Tätigkeiten nur über die Simulation von leistungsbestimmenden Teiltätigkeiten hergestellt werden können. Peripher-physiologische Messgrößen wie z.B. Herzrate und Blutdruck können prinzipiell sowohl im Labor wie auch am Arbeitsplatz eingesetzt werden. Dazu eignen sich insbesondere tonische Veränderungen, aus denen Aussagen über Zustandsänderungen in einer längeren Zeitspanne gewonnen werden können. Sie erlauben jedoch keinen eindeutigen zeitlichen Bezug zu den auslösenden Ereignissen. Wir beschränkten uns auf Laborexperimente, deren Fragestellungen unmittelbar aus arbeitspsychologischen Modellen abgeleitet sind. So ist z.B. vielfach beschrieben, dass soziale Unterstützung negative, gesundheitsbeeinträchtigende Effekte von arbeitsbedingtem Stress reduzieren kann (vgl. zusammenfassend Angerer et al. 2014 sowie Rau 2015).

Mit Hilfe eines einfachen Paradigmas vom Typ eines Memoryspiels ließen wir Paare von Versuchspersonen gegeneinander und miteinander spielen. In der Konkurrenz- und der Kooperationssituation sowie einer Kontrollbedingung (Einzelarbeit) wurden Fehler und Bearbeitungsdauer als Leistungsmaße und die physiologischen Kenngrößen Herzrate und Blutdruck registriert. Versuchsplan, technische Registrier- und Auswertungsdetails sind

160 Anna-Marie Metz

beschrieben in Metz (2017). Die Effekte von Kooperations- und Konkurrenzbedingung unterscheiden sich bezüglich der kardiovaskulären Reaktion:

Die über mehrere Versuchsdurchgänge gemittelte Herzfrequenz ist in der Kooperationsbedingung signifikant geringer als in der Konkurrenzbedingung (siehe Abb. 2). Der systolische Blutdruck ist in der Konkurrenzsituation im Vergleich zur Kooperationssituation signifikant erhöht.

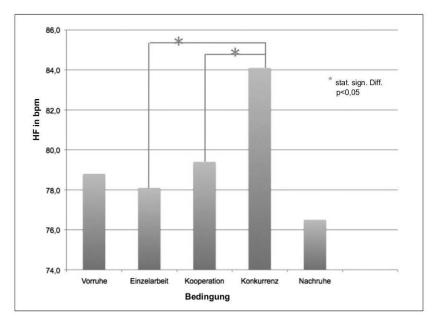


Abb. 2: Gemittelte Herzfrequenz (HF in beat per minute) während der drei experimentellen Bedingungen Einzelarbeit, Kooperation und Konkurrenz

(aus Metz 2017, S. 91)

Der Haupteffekt ist eindeutig – Konkurrenz ist im Vergleich zur Kooperation mit einer erhöhten kardiovaskulären Beanspruchung verbunden, indiziert durch höhere Herzfrequenz und erhöhten systolischen Blutdruck. Nicht die fehlende Unterstützung allein genügt, um Herzfrequenz und Blutdruck ansteigen zu lassen – dann sollte diese Reaktion auch unter der Bedingung der Einzelarbeit beobachtet werden. Vielmehr scheint erst ein aversiv getöntes Erleben von Konkurrenz mit dem Risiko eines Verlusts, eines Unterliegens notwendig, um eine entsprechende Reaktion auszulösen.

Diese Arbeiten leisten einen Beitrag zur Aufklärung des Wirkungsmechanismus der aus epidemiologischen Studien bekannten Rolle sozialer Unterstützung im Stressgeschehen sowie zur experimentellen Begründung von arbeitspsychologischen Stressmodellen.

Abschließende Bemerkungen

Welche Erfahrungen und Erkenntnisse aus der psychophysiologischen Forschung in der Ära Klix haben Bestand?

- 1) Zuvörderst ist es die Fokussierung auf ein zwar erweiterbares, aber doch klar umschriebenes Rahmenmodell, wie es Klix mit seinem Modell menschlicher Informationsverarbeitung vorgelegt hat. Bei Verfolgung der aktuellen Literatur erkennt man, dass auch um der Profilierung willen Fragestellungen bearbeitet werden, die für sich nicht uninteressant, aber schwer in einen gemeinsamen Kontext einzuordnen sind psychophysiologische Forschungsthemen scheinen hin und wieder ziemlich beliebig.
- 2) Die interdisziplinäre Arbeit ist in der genuin fächerübergreifenden Psychophysiologie ein Erfolgsfaktor. Klix hat durch seine Personalpolitik am Institut für Psychologie der Humboldt-Universität beispielhaft demonstriert, welche Chancen aus dem Zusammenwirken von Psychologen, Physiologen und Ingenieuren erwachsen. Ohne fundierten psychologischen Sachverstand läuft psychophysiologische Forschung Gefahr, nur danach zu fragen, welche biologischen Kenngrößen reagieren aber worauf? Umgekehrt bleiben physiologische Reaktionen im psychologischen Experiment ein unverbindliches Accessoire, wenn der biologische Wirkungsmechanismus nicht interessiert.
- 3) Die Verbindung zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung ist ein weiteres "Erfolgsgeheimnis". So hat sich die Arbeitsphysiologie seit jeher als angewandte Forschung im Arbeitskontext Verdienste für die menschengerechte Gestaltung körperlicher Arbeit erworben, dies aber immer in unmittelbarer Bindung an die Physiologie physischer Voraussetzungen und funktioneller Prozesse. Auch die Arbeitspsychologie bedarf einer theoretischen Fundierung, nicht zuletzt auch in der Allgemeinen Psychologie.

Die Kenntnisse zu den leistungsbestimmenden Teiltätigkeiten sowie zur Dynamik der Informationsverarbeitung (vgl. Klix, 1971) intensiver für die menschengerechte Gestaltung geistiger Arbeit zu nutzen, bleibt eine Herausforderung. In Anbetracht des grundlegenden Wandels der Arbeitswelt

162 Anna-Marie Metz

("Arbeit 4.0") werden die Leistungsmöglichkeiten und -grenzen für geistige, informationsverarbeitende Arbeit immer wichtiger. Hier kann Psychophysiologie einen gewichtigen Beitrag leisten. Leider hat sich die arbeitspsychologische Forschung aus der Psychophysiologie zumindest in Deutschland weitgehend verabschiedet. So bleibt zu hoffen, dass wenigstens die in den 70er- und 80er-Jahren gesammelten Erfahrungen nicht vergessen werden.

Literatur

- Angerer, P.; Siegrist, K.; Gründel, H. (2014): Psychosoziale Arbeitsbelastungen und Erkrankungsrisiken: Wissenschaftliches Gutachten (Expertise) im Auftrag des Landesinstituts für Arbeitsgestaltung des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf. In: Seiler, K.; Jansing, P.-J. (Hg.): Erkrankungsrisiken durch arbeitsbedingte psychische Belastung. Transfer4. Düsseldorf: LIA NRW, S. 31–169
- Bornemann, E. (1959): Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. Meisenheim a. Glan: Hain
- Groß, B.; Metz, A.-M.; Ullsperger, P. (1992): Die P300-Komponente des ereigniskorrelierten Hirnpotentials in einem Kurzzeitgedächtnisparadigma. In: Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, Bd. XXXIX (1), S. 56–67
- Groß, B.; Metz, A.-M. (1998): Evozierte Hirnpotentiale als Indikatoren für Arbeitsbeanspruchungen. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 42 (4), S. 213–218
- Isreal, J. B.; Chesney, G. L.; Wickens, C. D.; Donchin, E. (1980): P300 and tracking difficulty: evidence for multiple resources in dual-task performance. In: Psychophysiology, 17 (3), S. 259–273
- Klix, F. (1971): Die Optimierung des Informationsaustausches in Mensch-Maschine-Systemen als psychologische Aufgabenstellung – Versuch einer Präzisierung des Gegenstandsgebietes der Ingenieurpsychologie in der sozialistischen Volkswirtschaft. In: Klix, F.; Neumann, J.; Seeber, A.; Timpe, K-P. (Hg.): Psychologie in der sozialistischen Industrie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. S. 40–74
- Klix, F. (1980): General Psychology and the Investigation of Cognitive Processes. In: Klix, F.; Krause, B. (eds.): Psychological Research Humboldt-Universität Berlin 1960–1980. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 11–27
- Klix, F. (1985): On Microanalysis of Cognitive Performances: Correspondence with Psychological and Psychophysiological Parameters. In: Klix, R.; Näätänen, R.; Zimmer, K. (eds.): Psychophysiological Approaches to Human Information Processing. Amsterdam: Elsevier, S. 3–30
- Klix, F.; Giesbier, G. (1969): Zur Frage der Meßbarkeit des menschlichen Aktivitätsniveaus mit Hilfe der Infrarot-Pupillographie. In: Zeitschrift für Psychologie, 177, S. 1–34
- Klix, F.; Näätänen, R.; Zimmer, K. (Hg.) (1985): Psychophysiological Approaches to Human Information Processing. Amsterdam: Elsevier

- Klix, F.; van der Meer, E.; Preuß, M. (1985): Semantic Relations, Recognition Effort and Pupillary Reaction. In: Klix, F.; Näätänen, R.; Zimmer, K. (Hg.): Psychophysiological Approaches to Human Information Processing. Amsterdam: Elsevier, S. 313–329
- Klix, F.; Rebentisch, E. (1976): Psychophysiologische Untersuchungen zum Paradigma des Bild-Satz-Vergleichs. In: Zeitschrift für Psychologie, 3, S. 445–450
- Klix, F.; Rebentisch, E.; Sinz, R. (1980): Psychophysiological Approachs to the Analysis of Internal Condition Variables. In: Klix, F.; Krause, B. (Hg.): Psychological Research Humboldt-Universität Berlin 1960–1980. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 162– 181
- Kusak, G.; Grune, K.; Hagendorf, H.; Metz, A.-M. (1997): Wirkungen der Vorbelastung des Arbeitsgedächtnisses auf Komponenten evozierter Potentiale bei sequentiellem Einprägen verbalen Materials. In: Zeitschrift für experimentelle Psychologie, Bd. XLIV (1), S. 38–61
- Kusak, G.; Grune, K.; Hagendorf, H.; Metz, A.-M. (2000): Updating of working memory in a running memory task: an event related potential study. In: International Journal of Psychophysiology, 39, S. 51–65
- Maspfuhl, B.; Metz, A.-M. (1969): Veränderungen im Elektromyogramm bei der Beurteilung perzeptiver Muster unterschiedlicher Schwierigkeit. In: Zeitschrift für Psychologie, 177, S. 286–369
- Metz, A.-M. (1970): Änderungen der myoelektrischen Aktivität während eines sensomotorischen Lernprozesses. In: Zeitschrift für Psychologie, 178, S. 51–89
- Metz, A.-M. (2017): Konkurrenz oder doch besser Kooperation? Vom Wert sozialer Unterstützung. In: Busch, Ch.; Ducki, A.; Dettmers, J.; Witt, H. (Hg.): Der Wert der Arbeit. Augsburg: Hampp, S. 85–96
- Rau, R. (2015): Risikobereiche für psychische Belastungen. iga-Report 31 (www.iga-info.de/veroeffentlichungen/igareporte/igareport-31/?L=0)
- Schönebeck, B.; Zimmer, K. W.; Kniesche, R. (1985): Cognitive Strain in Text Comprehension and Heart Rate Variability. In: Klix, F.; Näätänen, R.; Zimmer, K. (Hg.): Psychophysiological Approaches to Human Information Processing. Amsterdam: Elsevier, S. 345–356
- Strauss, E.-H. (1967): Zur Bestimmung des menschlichen Aktivitätsniveaus mit Hilfe der Infrarotpupillographie. In: Zeitschrift für Psychologie, 168, S. 270–279
- Ullsperger, P.; Peikert, D.; Tessin, S.; Gille, H.; Metz, A.-M. (1986): Die P300-Komponente des ereignisbezogenen Hirnpotentials als Indikator in der Psychophysik kognitiver Prozesse. In: Zeitschrift für Psychologie, 194 (3), S. 365–375
- Ullsperger, P.; Metz, A.-M.; Gille, H. (1988): The P300 component of the event-related brain potential and mental effort. In: Ergonomics, 31 (8), S. 1127–1137
- Weinrich, L. (1968): Signalerkennung als Funktion des psychophysiologischen Aktivitätszustands. In: Zeitschrift für Psychologie, 175, S. 217–231

Experimentelles Denken in der Diagnostik kognitiver Funktionen

Als 1983 am Psychologischen Institut der Humboldt-Universität ein psychodiagnostisches Zentrum gegründet wurde, lag es nahe, der Tradition dieses Instituts folgend, experimentelles Denken in die Diagnostik kognitiver Leistungen einzubringen. Große Vorbilder wie Hermann Ebbinghaus, Wolfgang Köhler, Max Wertheimer und Kurt Lewin prägten seinerzeit die Berliner Schule, und auch die Zuordnung zur Naturwissenschaftlichen Fakultät war und ist eine begünstigende Bedingung für diesen Weg. Insbesondere war es Friedhart Klix, der einen richtungweisenden Einfluss auf Forschung und Entwicklung des Berliner Instituts hatte, mithin auch auf den Aufbau der Psychodiagnostik.

Die in den 1970er-Jahren aufkommende Kritik an der klassischen Testtheorie (Pawlik 1982) gehörte ebenfalls zu den Bedingungen, die experimentelles Denken auch in der Diagnostik förderte, wissend allerdings auch, dass das klassische Modell noch über lange Zeit fest etabliert sein wird: In den APA-Standards ist auch in der Ausgabe von 2014 keine Rede von experimentellen Validierungs-Methoden. Ein Blick in aktuelle Lehrbücher zeigt jedoch, dass experimentelles Herangehen an die Validierung diagnostischer Methoden durchaus schon als Möglichkeit gesehen wird (Rauch/Moosbrugger 2011; Schmidt-Atzert/Amelang 2012; Yousfi 2011).

Im Psychodiagnostischen Zentrum entstanden Arbeiten wie "Diagnostische Parameterfindung auf der Grundlage experimentell psychologischen Vorgehens" (Schaarschmidt/Berg 1985) oder "Intelligence – its measurement on the basis of cognitive psychology" (Berg/Schaarschmidt 1986). Einer der Bezugspunkte für Forschung und Entwicklung im Psychodiagnostischen Zentrum war das von Klix (1980) beschriebene Vereinfachungsprinzip:

"Die höhere Qualität einer Denkleistung stellt sich dar in der größeren Einfachheit und Effektivität des Lösungsgewinns." (Klix 1980, S. 264)

Einer der frühen Ansätze zur Entwicklung von Testverfahren (Berg/Schaarschmidt 1984) auf dieser Basis ging von dem so genannten Symbol-Distanz-Effekt aus (Potts 1972; Krause 1985). Nach dem Einlernen von paar-

weisen Relationen wie etwa: Paul ist größer als Fritz, Fritz ist größer als Emil, Emil ist größer als Klaus usw. und dem folgenden Abfragen aller möglichen Paarbeziehungen wie etwa: Ist Fritz größer als Klaus? – wurden nicht etwa die benachbarten Paarbeziehungen am schnellsten reproduziert, sondern die am weitesten entfernten. Für den entfernten Vergleich wurden also nicht alle jeweils benachbarten Relationen im Sinne einer Inferenz-Kette abgearbeitet, sondern die Elemente Paul usw. wurden – wahrscheinlich als visuelle Vorstellung – in eine Reihe gestellt, die man nur "anschauen" muss, um die Fragen zu beantworten.

Für die Validierung von Test-Gegenständen zur Erfassung kognitiver Leistungen lassen sich klassische experimentelle Befunde heranziehen, die wir "Marker-Effekte" nennen. Das sind Effekte, die wie eine Art Leit-Symptom typisch für einen Gegenstand der Erforschung kognitiver Leistung sind und an denen die Validierung entsprechender Leistungstests ansetzen kann. Der Symbol-Distanz-Effekt würde also die Fähigkeit kennzeichnen, räumliches Vorstellen zur Lösung von Inferenzaufgaben heranzuziehen. In weniger komplexen Anforderungssituationen sind Marker-Effekte im Allgemeinen noch klarer auf die jeweilige kognitive Leistung zu beziehen, um entsprechende Testverfahren daraus zu konstruieren. Das sind z.B. Interferenzeffekte als Marker für selektive Aufmerksamkeit oder Effekte mentaler Rotation für räumliches Vorstellen im engeren Sinne (spatial ability).

Das bedeutet zunächst auch:

Die Validierung eines Testverfahrens beginnt damit, es so zu konstruieren, dass das was erfasst werden soll, erfasst werden kann.

Für die Konstruktion von Testverfahren werden die Marker-Effekte dahingehend betrachtet, welche unabhängigen Variablen, den Effekt konstituierend bewirkt haben. Umgesetzt in Testanforderungen sind das jene Aufgabenvariablen, die die Schwierigkeit der Testaufgaben maßgeblich bestimmen.

Die Nutzung von Aufgabenvariablen als Ausgangspunkt für verschiedene Strategien der Testkonstruktion ist nicht ganz neu. Sie wurden und werden genutzt etwa von:

- Klauer (1987) zur Erzeugung eines "kontentvaliden" Itempools im Rahmen kriteriumsorientierter Diagnostik,
- Hornke (1991), unter dem Begriff "rationale Itemkonstruktion" zur Erzeugung von Items mit "bestimmbarer" Schwierigkeit,
- Embretson (1998), im Rahmen ihres "cognitive design systems approach", um theoriegeleitet einen Itempool zu konstruieren. "... construct validity is given on the item level" (S. 264).

Ganz allgemein können die IRT-(oder Rasch-)Modelle auch als verwandt zu den genannten Ansätzen gelten, weil darin die Aufgaben-Schwierigkeit auf derselben Skala liegt wie die angezielte Fähigkeit. Insbesondere expliziert Fischer (1974) in seinem LLTM-Modell (lineares logistisches Test-Modell) die Item-Schwierigkeit als gegeben durch kognitive Operationen.

In besonderer Weise steht der Ansatz von Borsboom, Mellenbergh und van Heerden (2004) für einen neuen Zusammenhang von Aufgabenvariablen ("Attribute") und Validität: "A test is valid for measuring an attribute if variation in the attribute causes variation in the test scores" (S. 1067). Danach ist Validität keine quantitative, methodologisch bestimmte Größe, sondern eine qualitative, durch Hypothesenprüfung über die Wirkung von Aufgabenvariablen gegebene Eigenschaft von Testmethoden. "In conclusion, the present conception of validity is more powerful, simple, and effective than the consensus position in the validity literature." (S. 1070)

Berg (1991, 1993) beschrieb unter dem Begriff "Konstituentenansatz" ein Vorgehen, bei dem Aufgabenvariablen zunächst den Zugang zu differentieller Validität von Testanforderungen bildeten, die mit unterschiedlichen Strategien (bzw. Leistungsvoraussetzungen) bearbeitet werden können. In der Folge entstehen unterschiedliche Schwierigkeitsprofile der Aufgabenvariablen. Später (Berg 1996) wurde der Ansatz auf interindividuell gleiche Schwierigkeitsprofile verallgemeinert.

Dieser Ansatz¹ stellt eine Möglichkeit der Konstruktion und Validierung psychologischer Testverfahren auf der Basis vorhandenen Wissens dar, mit dem Ziel, besonders ökonomische, erweiterbare Testsysteme mit unterschiedlichen Anforderungen zu konstruieren und zu validieren.

Ganz im Sinne von Borsboom et al. (2004) ist der Ansatz ein methodisch simpler und inhaltlich-substantiell bestimmter Zugang zur Validität, in dessen Zentrum auch, wie bei Hornke et al. (2000) und Embretson (2005) die Item-Schwierigkeit steht: Wenn auf der Grundlage kognitionspsychologischen Wissens erkannt ist, wodurch das Schwierigkeitsprofil einer Testanforderung entsteht, dann ist bekannt, was die Schwierigkeit einer Testaufgabe ausmacht und welche Art von Leistung die Aufgabe erfasst.

Der Konstituentenansatz

Den kognitionspsychologischen Ausgangspunkt der Testkonstruktion bilden, wie schon erwähnt, die aus dem jeweiligen Wissensgebiet bekannten, theo-

¹ Der Ansatz ist somit kein Mess-Modell, kann aber eine inhaltliche Basis dafür hergeben.

retisch (nicht notwendigerweise "endgültig") erklärten und empirisch nachgewiesenen Marker-Effekte. Auf diese bezogen werden Validitäts-Hypothesen formuliert, die die Wirkung der entsprechenden Aufgabenvariablen betreffen und mit dem Testmaterial ebenfalls empirisch prüfbar sind. Mit dem Konstituentenansatz wird Validität auch im Sinne von Borsboom et al. (2004) qualitativ definiert: Es wird gesagt, was gemessen wird und nicht (quantitativ) in welchem Maße das gemessen wurde, was gemessen werden sollte.

Beim Konstituentenansatz geschieht das durch Variation der (schwierigkeitsstiftenden) konstituierenden Aufgabenvariablen zur Verifikation von Hypothesen über deren Wirkung, abgeleitet aus den theoretisch erklärten Effekten der Validitäts-Marker. Alternativ-Hypothesen sind zu prüfen, wenn die Wirksamkeit anderer möglicher Testgegenstände oder von Strategien nicht ausgeschlossen werden kann (diskriminante bzw. differentielle Validierung).

Das Zueinander von systematischer Variation und bereichsweisem Konstant-Halten konstituierender Bedingungen wird durch Versuchspläne umgesetzt. Durch übergeordnete Variablen werden verschiedene Test-Anforderungen auseinander "verzweigt". Das so entstandene "Testsystem" erhält eine neue Validitäts-Komponente, die "Systemvalidität" (Validität eines Tests oder Subsystems in Relation zu anderen). Validiert werden jene Versuchspläne, die Tests und Subtests in Bezug setzen und so die angezielte Leistung zu präzisieren bzw. zu untersetzen gestatten. So ist z.B. eine unzureichende Leistung in einem Gedächtnistest keineswegs von vornherein als Gedächtnisdefizit zu interpretieren. Die Testleistung kann z.B. durch ein Aufmerksamkeitsdefizit verursacht sein.

Der Begriff "Konstituentenansatz" suggeriert eine ausschließlich auf die Wirkung und Variation der konstituierenden Bedingungen beschränkte Test-konstruktion. Um jedoch eine möglichst "reine" Wirkung der konstituierenden Bedingungen zu ermöglichen, ist eine gründliche Kontrolle der modifizierenden Bedingungen zwingend erforderlich.

Das Vorgehen, wie kognitionspsychologisch begründete Annahmen mit dem Konstituentenansatz als Konstruktions- und Validierungsprinzip für die Entwicklung eines Testsystems (Berg 1996) genutzt werden können, soll am Beispiel des Testsystems Corporal demonstriert werden.

Das Konstruktionsziel war ein Test-System zur Erfassung kognitiver Funktionen im bildlich-räumlichen Bereich, deren verschiedene Anforderungen zum Zweck der Eingrenzung von diagnostischen Aussagen aufeinander beziehbar sein sollten.

Die Kontrolle der Randbedingungen als unverzichtbarer Bestandteil der Testkonstruktion

Damit die Schwierigkeitskonstituenten der Testaufgaben störungsfrei wirken können, müssen gleich am Beginn der Testkonstruktion modifizierende Variablen, die nicht grundlegend den Testgegenstand bedingen, durch die Anwendung experimenteller Techniken (Eliminierung, Konstant-Halten, Randomisierung oder Balancierung) kontrolliert werden.

Hier war der Einfluss der jeweils speziellen Testanforderung, der Wechsel von einer Anforderung zu einer anderen, möglichst störungsfrei zu halten. Die Reaktionen sollten per Tastendruck erfolgen, aber so, dass die Position der Tasten die Reaktion auf die Aufgabenmerkmale nicht stört. Die Idee dazu war, die Positionen der Testfiguren (übereinstimmend mit der Position der Tasten) zum aufgabenrelevanten Merkmal zu machen. Um komplexere Anforderungen zu konstruieren, die über einfache Wahlreaktionen hinausgehen, wurde ein zweites Tastatur-kompatibles Merkmal der Testfiguren definiert. Bei einer zweidimensionalen Anordnung der Tasten ergab sich als Antwortvektor für beide Merkmals-Dimensionen: oben, unten, links, rechts (gleiche Wortmarken für unterschiedliche Merkmals-Dimensionen). Dazu wurde eine Testfigur (ein Pfeil) konstruiert, die nicht nur eine jeweilige Position einnehmen, sondern auch in die entsprechende, mit gleicher Wortmarke benannte Richtung zeigen konnte. Um die Unabhängigkeit der Wirkung beider Merkmals-Dimensionen prüfbar zu machen, wurde eine zweite Testfigur konstruiert, die nur das Positions-Merkmal tragen sollte - ein Kreuz. Abbildung 1 zeigt die nach diesen Vorgaben konstruierten Testfiguren.

Um die Wahrnehmbarkeit beider Figuren konstant zu halten, wurde deren kognitive Komplexität berechnet. Abbildung 2 zeigt die Berechnung des Strukturellen Informationsgehalts (Leeuwenberg/Buffart 1984) der Testfiguren als Nachweis gleicher kognitiver Komplexität.

Als weitere Voraussetzung dafür, dass jene Aufgaben-Variablen (die Merkmale Lokation und Orientierung und deren Verknüpfungen), die die Schwierigkeit der Einzel-Aufgaben bestimmen sollten, möglichst störungsfrei wirken können, wurde die Abfolge der jeweils relevanten Merkmale ausbalanciert. Das heißt, in der Item-Abfolge sollten die vier Einzel-Merkmale (oben, unten, rechts und links) und deren paarweise Abfolgen gleich häufig vorkommen. Die konkrete Item-Abfolge wurde nach einem Überkreuzungs-(Berenblut) Design (Krauth 2000) konstruiert.

Damit war ein potentieller Itempool geschaffen, auf den verschiedene kognitive Anforderungen zugreifen konnten. Angezielt waren zunächst: Funktionen der Aufmerksamkeit, des Arbeitsgedächtnisses und der Raumorientierung (spatial ability) mit jeweils einem Subsystem.



Abb. 1: Merkmalsträger des Testsystems Corporal Plus: Pfeil und Kreuz

Die Binnenstruktur der Grundfiguren

Die Binnenstruktur lässt sich nach Leeuwenberg & Buffart (1984) durch den so genannten "Strukturcode" darstellen. Dabei wird zunächst ein so genannter "Primärcode" über den Elementarfiguren (ein Parallelogramm bei der Grundfigur, ein Trapez bei der Kontrollfigur) gebildet, aus denen sich die Testfiguren zusammensetzen, der aus der Information tragenden Abfolge von Strecken und Winkeln besteht. Die gestrichelte Linie kennzeichnet das keine-Information-mehr-tragende Restelement.



Die Primärcodes für die linke und rechte Elementarfigur:

ααbβαα bzw. ααbααβ

Der Strukturcode wird durch Operationen gebildet, die gleiche Strukturelemente "ausklammern": $2<\alpha\beta>/<ab>$ bzw. $<2\alpha\beta>/<ab>$

<>/<> bedeutet, dass die eingeklammerten Elemente ineinander gesetzt werden, sich also abwechseln, die Zahl beschreibt die Anzahl erforderlicher Wiederholungen der folgenden Elemente oder Teilstrukturen.



Die Teilfiguren von Pfeil und Kreuz hätten dann den Strukturcode:

SYM (2< α b>/<ab>) bzw. SYM (<2 α b>/<ab>)

SYM bedeutet, dass eine zweite Teilstruktur symmetrisch zur ersten (Parallelogramm oder Trapez) gebildet wird. Dadurch entsteht aus beiden Elementarfiguren jeweils eine Art "Winkel".

Als Strukturcode der jeweiligen Gesamtfigur wird der linke Winkel drei Mal nach oben oder unten versetzt, der rechte um $\gamma=90^\circ$ rotiert, bis eine Fortsetzung nicht mehr erforderlich ist:

 $3(SYM (2<\alpha\beta>/<ab>))$ bzw. $y(SYM (<2\alpha\beta>/<ab>))$

Als struktureller Informationsgehalt (oder "I-Load") I gilt die Anzahl der verbleibenden Elemente oder Operationen. Für beide Strukturcodes wäre I = 7.

Abb. 2: Bestimmung der kognitiven Komplexität der Testfiguren

(nach Leeuwenberg/Buffart 1984)

Konstruktion von Testanforderungen als Subsysteme in einer Verzweigungsstruktur

Die Grundlage für Art und Anzahl der Tests innerhalb eines Subsystems bilden vorhandene Modelle und Taxonomien, jeweils erhalten anhand typischer experimenteller Paradigmen mit typischen empirisch unterscheidbaren Befunden, die wir dann als Marker-Effekte für die Validierung unserer Subsysteme und Tests verwenden.

Das Subsystem zur Erfassung von Funktionen der Aufmerksamkeit leitet sich im Wesentlichen aus den von Posner (1971, 1980) beschriebenen ab. Diese haben sich seit rund 40 Jahren zwar immer wieder in ihrer Bezeichnung geändert, kaum jedoch in ihrer angenommenen Wirkung. Funktionen des Arbeitsgedächtnisses knüpfen hauptsächlich an das Modell von Baddeley (2000) an, Test-Gegenstand ist der räumlich-visuelle Notizblock (sketch pad). Das Subsystem zur Erfassung der Orientierungsfähigkeit beruht auf Erkenntnissen aus dem so genannten MR- (mental rotation, Shepard/Metzler 1971) Paradigma, wonach die Schwierigkeit der Items vom Umfang der mentalen Bewegung abhängt, über die ein Vergleichs-Reiz mit einem Zielreiz zur Deckung gebracht wird. Abbildung 3 zeigt die Verzweigungsstruktur der aktuellen Subsysteme im Überblick.

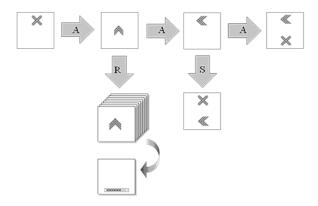


Abb. 3: Subsysteme des Testsystems Corporal

Subsystem A: Funktionen der Aufmerksamkeit (links Wahlreaktionen zur Erfassung diffuser und räumlich fokussierter Aufmerksamkeit, rechts zur Erfassung selektiver und verteilter Aufmerksamkeit)

Subsystem R: Funktionen des Arbeitsgedächtnisses (Recall, freies Erinnern von 8 Items), Subsystem S: Orientierungsfähigkeit (Spatial Ability, Pfeilrichtung aus der Kreuz-Perspektive)

Experimentelle Validierung von Testanforderungen anhand von Marker-Effekten

Zur Demonstration der experimentellen Denkweise bei der Validierung von Tests innerhalb eines solchen Systems soll eine Test-Anforderung herausgegriffen werden, eine Variante verteilter Aufmerksamkeit², einer Doppelaufgabe (dual task).

Der Pfeil S1 und das Kreuz S2 erscheinen gleichzeitig, zu reagieren ist zuerst auf die Orientierung von S1 dann auf die Lokation von S2. Es gibt zwei Untervarianten: Dual A mit S1 in der Mitte, S2 am Rand und Dual C mit S1 am Rand, S2 gegenüber am Rand (siehe Abb. 4). Wenn auf S1 am Rand zu reagieren ist, dann ergibt sich eine Kombination von verteilter und selektiver Aufmerksamkeit, d.h. mit zusätzlich zu erwartendem Interferenz-Effekt. Als Ausgangs-Anforderung für die Validierungs-Effekte dient die jeweils vergleichbare einfache Wahlreaktions-Aufgabe: Reaktion nur auf die Orientierung des Pfeils, einmal in der Mitte, einmal am Rand.



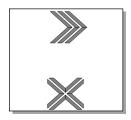


Abb. 4: Varianten der Dual Task Anforderung

Links = Dual A ohne Interferenzeffekt Rechts = Dual C mit Interferenzeffekt

Über das Zusammenwirken von Subfunktionen im Sinne der verteilten Aufmerksamkeit wird für Dual-Tests ganz allgemein angenommen, dass hier eine Subfunktion des Reagierens auf Reize wirksam wird, die über einfache Wahlreaktionen hinausgeht, nämlich der Reaktionsentwurf bzw. die Handlungsplanung (Neumann 1992). Der relevante Marker-Effekt für Doppelaufgaben ist als "concurrence costs" bekannt. Bereits Noble et al. (1981) konnten zeigen, dass allein das Vorbereitet-Sein auf eine zweite Handlung die Reaktionszeit für die erste Handlung verlängert.

² Zu verstehen als Unterschied zur sogenannten Aufmerksamkeits-Teilung, wo auf zwei simultan dargebotene Reize meist unterschiedlicher Modalität getrennt simultan zu reagieren ist.

Wenn durch die Aufgaben-Variable "zweite Reaktion" unterschiedliche Schwierigkeitsgrade innerhalb dieses Aufgabentyps entstehen, dann sollte das entstandene Schwierigkeitsprofil als empirische Bestätigung der hypothesengeleitet vorhergesagten Schwierigkeitsprofile gelten und somit dafür, dass der Aufgabentyp "verteilte Aufmerksamkeit" erfasst, mit und ohne Einschluss selektiver Aufmerksamkeit.

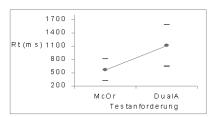
Validierungs-Hypothesen

Entsprechend dem Vorwissen wird für den Marker-Effekt "concurrence costs" angenommen, dass die Reaktionen auf die Figuren S1 und S2 im Sinne des Reaktionsentwurfs als *eine* Handlungskette ausgeführt werden.

- H1: Die Reaktion auf S1 sollte in der Dual-Task-Situation schwieriger sein als eine vergleichbare Reaktion in einfachen Wahlreaktionen.
- H2: Die Zeit für die Reaktion auf S2 sollte wesentlich kürzer sein als für S1.

Ergebnisse zu den Hypothesen

Zu H1 zeigt Abbildung 5 die Reaktionszeit auf die Orientierung des Pfeils S1 in einfachen Wahlreaktion und der Dual-Task-Situation.



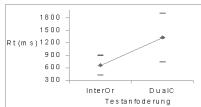
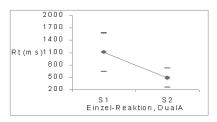


Abb. 5: Reaktion auf S1 in einfachen Wahlreaktionen und der Dual-Task-Situation

Mc: Multiple Choice Aufgabe, Inter: Mc-Aufgabe mit Interferenzeffekt
Reaktionszeit (links, mittlere pro Item) t= 17,82; sig. (2-seitig) < ,001
Reaktionszeit (rechts, mittlere pro Item) t= 14,37; sig. (2-seitig) < ,001

Zu H2 zeigt Abbildung 6 den Vergleich der Reaktionszeiten für die erste (S1) und die zweite (S2) Reaktionszeit auf S1 in der Dual-Task-Situation.



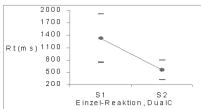


Abb. 6: Reaktion auf S1 im Vergleich zur Reaktion auf S2 in Dual A und Dual C

Reaktionszeit (links, mittlere pro Item) t= 26,14; sig. (2-seitig) < ,001 Reaktionszeit (rechts, mittlere pro Item) t= 24,75; sig. (2-seitig) < ,001

Es ist zu vermerken, wie mit H1 angenommen, dass die Reaktion auf S1 in Dual A und Dual C schwieriger ist als die vergleichbare Reaktion in einfachen Wahlreaktionsaufgaben (Abb. 5). Und es zeigt sich auch, dass die Reaktion auf S1 deutlich langsamer ist als auf S2 (Abb. 6).

Somit bestätigt sich die Annahme, dass die Reaktionen auf die Figuren S1 und S2 als eine Handlungskette ausgeführt werden, ganz im Sinne des Reaktionsentwurfs bzw. der Handlungsplanung (Neumann 1992), d.h. die zweite Reaktion wird zusammen mit der ersten in einen Handlungsplan integriert, der dann insgesamt ausgeführt wird. Abbildung 7 zeigt den Vergleich beider Anforderungen an verteilte Aufmerksamkeit mit und ohne zusätzlichen Interferenzeffekt. Der Unterschied von etwa 300 ms ist größer als der Interferenzeffekt bei einfacher Wahlreaktion, dort beträgt er etwa 100 ms. Es ist anzunehmen, dass es sich um eine zweifache Interferenzwirkung handelt: Sowohl die Lokation der Zielfigur als auch die der irrelevanten Figur (gegenüber) stören die Reaktion auf die Orientierung der Zielfi-

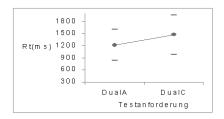


Abb. 7: Reaktion auf S1 ohne (links) und mit Interferenz (rechts) Reaktionszeit (mittlere pro Item) t= -4,29; sig. (2-seitig) < ,001

gur, gerade weil auch die zweite Reaktion innerhalb einer Handlungskette anzulegen ist.

Als Validitäts-Aussage lässt sich insgesamt schließen, dass mit diesem Aufgabentyp eine Variante verteilter Aufmerksamkeit erfasst wird, die typische Effekte aus dem vorhandenen Vorwissen zu reproduzieren vermag.

Kontrolle der interpersonellen Variablen

Mit einem experimentell aufgebauten Testsystem, bedingt durch die Eingrenzbarkeit diagnostischer Aussagen, lässt sich nicht nur eine hohe inhaltliche Präzision erreichen, es weist konstruktionsbedingt auch eine bereichsweise hohe Homogenität und Reliabilität auf.

Um diese auch formal hohe diagnostische Präzision nicht am Ende zu verschenken, sollte auch die Normierung nicht durch Mengeneffekte, sondern nach kontrollierten Variablen erfolgen. Für die Erfassung elementarer kognitiver Funktionen bieten sich dabei Variablen wie z.B. Alter, Geschlecht und Bildungsgrad an. Durch Nutzung schon vorhandener Informationen zur Verteilung dieser Variablen in der Gesamtbevölkerung oder spezifischen Teilen der Bevölkerung (z.B. Statistiken des Statistischen Bundesamtes oder der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAS) lassen sich Quoten-Annäherungsmodelle als Grundlage für die Zusammensetzung der Normstichprobe bilden.

Vorteile für die Testanwendung

Dass solche am derzeitigen Wissen der Kognitionswissenschaften validierten Testverfahren Vorteile für den Anwender mit sich bringen, soll kurz am Beispiel Verkehrspsychologie demonstriert werden, wo das hier behandelte Testverfahren überwiegend eingesetzt wird.

Hier wird immer wieder die Ansicht vertreten (z.B. Vetter et al. 2015), und ihr widersprochen (Berg/Schubert 2015) "verkehrspsychologische Testverfahren" hätten eine Vorhersage des Fahrverhaltens zu leisten. Man stelle sich vor, eine Testperson erreicht in einem Test mit abstrakten geometrischen Figuren einen Prozentrang von 16. Wie bitte lautet die Vorhersage ihres Fahrverhaltens? Und nun die Umkehrung: Ein alternder PKW-Fahrer steht an einem Vorfahrtsschild, von links nähert sich ein Fahrzeug, rechts ist alles frei und er fährt los. Hat er a) das linke Fahrzeug nicht gesehen?, b) es gesehen aber nicht wahrgenommen?, oder c) es gesehen und wahrgenommen, aber beim Kopfwenden vergessen, dass da noch etwas war? Zwar

kann (vgl. Fußnote 1) nicht im Sinne eines Messmodells (quantitativ) gesagt werden, wieviel Aufmerksamkeit in einer Gedächtnisleistung enthalten ist. Aber kognitionspsychologische Defizite wie in diesem Beispiel angedeutet, sind durch die konstruktionsbedingt mögliche Bezugnahme innerhalb experimentell validierter Testsysteme qualitativ eingrenzbar und können somit Hinweise für Interventionsmaßnahmen hergeben.

Zusammenfassende Betrachtung

Der Tradition des Berliner Instituts und dem Vermächtnis von Friedhart Klix geschuldet, kann experimentelles Denken auch in der Psychodiagnostik angewendet werden, um Testverfahren zur Erfassung kognitiver Funktionen zu konstruieren und zu validieren. Sowohl die Konstruktion von Testsystemen als auch deren Validierung ist anhand von Aufgabenvariablen möglich: innerhalb der Testanforderungen zur Reproduktion von Marker-Effekten als Hypothesenlieferanten für die Validierung, zwischen den Testanforderungen zur Abzweigung jeweils neuer, unterschiedlicher Anforderungen. Auf der Basis eines einheitlichen Testanforderungen Möglichkeiten der Untersetzung und Eingrenzung diagnostischer Aussagen (vgl. das soeben beschriebene Beispiel aus der Verkehrspsychologie).

Um die Aussagekraft der Validierungsbefunde zu optimieren, die Aufgabenvariablen als Schwierigkeits-Konstituenten mit Bezug auf den jeweiligen Testgegenstand störungsfrei zu variieren und deren Wirkung präzise messen zu können, ist ein ernst zu nehmender Aufwand erforderlich, um eine gründliche Kontrolle der modifizierenden Variablen zu erreichen: Wahrnehmbarkeit (hier: Komplexität) der Testfiguren, Kompatibilität zwischen Reizumgebung und Reaktionsmuster, Variablen der Item-Abfolge, interpersonelle Variablen.

Als Fazit sei festgestellt, dass es möglich und machbar ist, Gegenstände von Testverfahren zur Erfassung kognitiver Funktionen am vorhandenen Wissen aus den Kognitionswissenschaften zu validieren. Die experimentelle Methodik erlaubt es, Testverfahren so zu konstruieren, dass das was erfasst werden soll, erfasst werden kann.

Literatur

- Berg, M.; Schaarschmidt, U. (1984): Überlegungen zu neuen Wegen in der Intelligenzdiagnostik. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, 8, S. 565–573
- Berg, M.; Schaarschmidt, U. (1986): Intelligence its measurement on the basis of cognitive psychology. In: Klix, F.; Hagendorf, H. (eds.): Human Memory and Cognitive Capabilities Mechanisms and Performances. North Holland: Elsevier Publishers B.V., pp. 499–512
- Berg, M. (1986): Experimentelle Diagnostik Eine Herausforderung für Theorie und Praxis. In: Schaarschmidt, U.; Berg, M.; Hänsgen, K. (Hg.): Diagnostik geistiger Leistungen. Berlin: Psychodiagnostisches Zentrum, S. 24–36
- Baddeley, A. D. (2000): The episodic buffer: A new component of working memory? In: Trends in Cognitive Sciences, 4, pp. 417–423
- Berg, M. (1993): Der Konstituentenansatz Ein Weg zu höherer Ergiebigkeit leistungsdiagnostischer Methoden. In: Trost, G.; Ingenkamp, K. H.; Jäger, R. S. (Hg.): Tests und Trends 10, Jahrbuch der pädagogischen Diagnostik. Weinheim und Basel: Beltz, S. 40–82
- Berg, M. (1996): "Corporal": Ein thematisches Testsystem zur Erfassung von Funktionen der Aufmerksamkeit. In: Verhaltensmodifikation und Verhaltensmedizin, Jg. 17/Heft 4, S. 295–310
- Berg, M.; Nädtke, J. (2015): Psychometrisches Testsystem Corporal Plus Testsystem zur Erfassung kognitiver Funktionen im bildlich-räumlichen Bereich. Olching: Vistec
- Berg, M.; Schubert, W. (2015): Zum Begriff der theoriegeleiteten Validierung von Fahrübungen und Leistungstests Eine Stellungnahme zu Vetter et al. (2015) ZVS 4. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 4, 33–37
- Borsboom, D.; Mellenbergh, G. J.; van Heerden, J. (2004): The Concept of Validity. In: Psychological Review, Vol. 111/No. 4, pp. 1061–1071
- Embretson, S. E. (1998): A cognitive design system approach to generating valid tests: Application to abstract reasoning. In: Psychological methods, 3, pp. 380–396
- Embretson, S. E. (1999): Generating Items during testing: Psychometric issues and models. In: Psychometrica, 64, pp. 407–433
- Embretson, S. E. (2005): Measuring Intelligence with Artifical Intelligence: Adaptive Itemgeneration. In: Sternberg, R. J.; Pretz, J. E.: Cognition & Intelligence: Identifying the Mechanisms of the Mind. Cambridge University Press: New York, pp. 251–267
- Fischer, G. H. (1974): Einführung in die Theorie psychologischer Tests. Bern: Huber
- Hornke, L. F. (1991): Neue Itemformen für computergestütztes Testen. In: Schuler, H.; Funke, U. (Hg.): Eignungsdiagnostik in Forschung und Praxis. Beiträge zur Organisationspsychologie, 10. Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie, S. 67–70
- Hornke, L. F.; Küppers, A.; Etzel, S. (2000): Konstruktion und Evaluation eines adaptiven Matrizentests. In: Diagnostica, Vol. 46/No. 4. Göttingen: Hogrefe, S. 182–188
- Klauer, K. J. (1987): Kriteriumsorientierte Tests. Göttingen: Hogrefe
- Klix, F. (1980): Erwachendes Denken. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Krause, W. (1985): Komponentenanalyse des Symbol-Distanz-Effektes mit Hilfe von Augenbewegungsmessungen. In: Zeitschrift für Psychologie, 193, S. 259–272

Krauth, J. (2000): Experimental Design – A handbook and dictionary for medical and behavioral research. Vol. 14 of Huston, J. P. (Series editor) Techniques in the Behavioral and Neural Sciences. Amsterdam: Elsevier

- Leeuwenberg, E.; Buffart, H. (1984): The perception of foreground and background as derived from Structural Information Theory. In: Acta Psychologica, 55, pp. 249–272
- Lienert, G. A. (1961): Testaufbau und Testanalyse. Weinheim: Beltz
- Neumann, O. (1992): Theorien der Aufmerksamkeit: von Metaphern zu Mechanismen. In: Psychologische Rundschau, 43, S. 83–101
- Noble, M. E.; Sanders, A. F.; Trumbo, D. A. (1981): Concurrence costs in double stimulation tasks. In: Acta Psychologica, 49, pp. 141–158
- Pawlik, K. (Hg.) (1982): Diagnose der Diagnostik. Stuttgart: Klett-Cotta
- Posner, M. I. (1980): Orienting of attention. In: Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A, 32, pp. 3–25
- Posner, M. I.; Boies, S. J. (1971): Components of attention. In: Psychological Review, 78, pp. 391–408
- Potts, G. R. (1972): Information processing strategies used in the encoding of linear ordering. In: Journal of verbal learning and verbal behaviour, 11, pp. 727–740
- Rauch, W. A.; Moosbrugger, H. (2011): Klassische Testtheorie. Grundlagen und Erweiterungen für heterogene Tests und Mehrfacettenmodelle. In: Hornke, L.; Amelang. M.; Kersting, M. (Hg.): Methoden der psychologischen Diagnostik. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich B, Serie II, Band 2. Göttingen: Hogrefe, S. 1–86
- Schaarschmidt, U.; Berg, M. (1985): Diagnostische Parameterfindung auf der Grundlage experimentell psychologischen Vorgehens. In: Zeitschrift für Psychologie, 193, S. 117–131
- Schmidt-Atzert, L.; Amelang, M. (2012): Psychologische Diagnostik (5., vollständig überarbeitete Auflage, unter Mitarbeit von Thomas Fydrich und Helfried Moosbrugger, mitbegründet von Prof. Dr. Werner Zielinski). Berlin, Heidelberg: Springer
- Shepard, R. N.; Metzler, J. (1971): Mental rotation of three-dimensional objects. In: Science, 171, pp. 701–703
- Vetter, M.; Schünemann, L.; Debelak, R.; Gatscha, M.; Herle, M.; Mandler, G.; Ortner, T. M. (2015): Vorhersage von sicherheitsrelevantem Fahrverhalten bei Berufskraftfahrern: eine theoriegeleitete Validierung von Leistungs- und Persönlichkeitstests. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 4, S. 222–234
- Yousfi, S. (2011): Methoden der Item- und Skalenkonstruktion. In: Hornke, L.; Amelang. M.; Kersting, M. (Hg.): Methoden der psychologischen Diagnostik. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich B, Serie II, Band 2. Göttingen: Hogrefe, S. 151–213

Autorinnen und Autoren

Banse, Gerhard, Prof. Dr. sc. phil. Prof. e.h.; Präsident der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Theodorstr. 13 12623 Berlin gerhard.banse@t-online.de

Berg, Michael, Dr. rer. nat. habil. Kavalierstraße 17 13187 Berlin iteat@t-online.de

Bredenkamp, Jürgen, Prof. em. Dr. Psychologisches Institut der Universität Kaiser-Karl-Ring 9 53111 Bonn juergen.bredenkamp@uni-bonn.de

Geißler, Hans-Georg, Prof. Dr. sc. nat.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Thomas-Mann-Str. 47 10409 Berlin hans-g.geissler@rz.uni-leipzig.de

Gundlach, Wilfried, Dr. phil. Militzscher Weg 9–11 12555 Berlin wilfriedr.gundlach@t-online.de

Hörz, Herbert, Prof. Dr. phil. habil, Dr. h.c.; Ehrenpräsident der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Hirtschulzstraße 13 12621 Berlin herbert.hoerz@t-online.de

Hoffmann, Joachim, Prof. Dr. sc. nat. Müggelwerderweg 21c 12589 Berlin hoffmann@psychologie.uni-wuerzburg.de Krause, Bodo, Prof. i. R. Dr.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin
Institut für Psychologie der Humboldt-Universität Berlin
Wolfgang-Köhler-Haus
Rudower Chaussee 18
12489 Berlin
bodo.krause@psychologie.hu-berlin.de

Krause, Werner, Prof. Dr. sc. nat.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Anna-Siemsen-Str. 40 07745 Jena urwe.krause@t-online.de

Metz, Anna-Marie, Prof. Dr. Dipl.-Psych. Treskow-Str. 12 13156 Berlin metz@uni-potsdam.de

Rothe, Heinz-Jürgen, Prof. Dr. rer. nat. habil.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Am Pichelssee 1 13595 Berlin rothe@uni-potsdam.de

Sommerfeld, Erdmute, Prof. Dr. rer. nat. habil.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Chausseestr. 175
15712 Königs Wusterhausen erdmute.sommerfeld@t-online.de