

Erdmute Sommerfeld

Strukturelle Information: Repräsentation, Interpretation, Reduktion

Herbert Hörz zum 80. Geburtstag gewidmet

1. Anliegen

Ausgangspunkt ist der philosophische Informationsbegriff von Herbert Hörz.

Das Anliegen des Vortrags besteht darin, aus Sicht der *menschlichen Informationsverarbeitung* eine Spezifizierung des Informationsbegriffes vorzustellen und damit zu zeigen, dass dieser psychologische Informationsbegriff im philosophischen Informationsbegriff von Herbert Hörz enthalten ist.

Gegenstand des Vortrags ist ein *Modellansatz* zur Repräsentation, Interpretation und Reduktion struktureller Information bei der Ausbildung kognitiver Strukturen.

Der Grundgedanke des Ansatzes besteht in der *Formalisierung* und *Systematisierung* von Beziehungen zwischen *Struktur* und *Information*.

Die mathematisch-psychologischen Untersuchungen wurden im Rahmen der von Friedhart Klix (1971) sowie Newell und Simon (1972) begründeten Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung durchgeführt. Der Modellansatz diente als ein Baustein zur Erreichung des von Werner Krause (1983, 1991, 1994) konzipierten Forschungsziels, die aufwandsreduzierende Strukturierung von Information als eine Basiskomponente des Denkens zu identifizieren.

2. Der Informationsbegriff nach Herbert Hörz

Nach H. Hörz umfasst die philosophische Bestimmung der Information folgende wesentliche Momente (Hörz, 1975, 1983, 1996; vgl. auch Hörz, H.E. & Hörz, H., 2013):

- „Information ist Struktur als geronnene Entwicklung...“
- „Information ist Widerspiegelung... Dabei ist zu beachten, daß ... keine Gleichheit zwischen Abbild und Urbild postuliert wird...“

- „Information ist Steuerung von Verhalten ...“

Der philosophische Informationsbegriff nach H. Hörz umfasst

- im *weiteren* Sinne alle Strukturen, die durch objektiv-reale Wechselwirkung entstanden sind
- im *engeren* Sinne jede (vor allem durch Sprache) übermittelte Nachricht in der sozialen Kommunikation
 - als Grundlage für die Vermittlung von Wissen
 - als Grundlage von Entscheidungen
 - zur Steuerung von Verhalten

Die im Rahmen der Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung durchgeführten und hier vorzustellenden Untersuchungen beziehen sich auf den philosophischen Informationsbegriff im engeren Sinne.

3. Strukturelle Information

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.

3.1 Repräsentation struktureller Information

Strukturelle Information kann sowohl extern als auch intern repräsentiert (getragen) werden. Träger struktureller Information ist extern z.B. ein Text oder ein Bild und intern eine *kognitive Struktur*. Im Rahmen der menschlichen Informationsverarbeitung untersuchen wir die Ausbildung interner (mentaler) Repräsentationen auf der Basis extern gegebener struktureller Information.

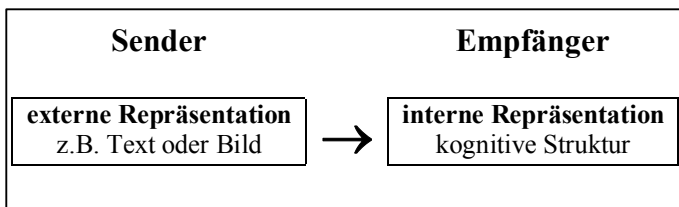


Abb. 1 (Erläuterung im Text)

Wie lässt sich die Ausbildung interner Repräsentationen exakt beschreiben?

Da sich bei diesem Abbildungsprozess (vgl. Abb. 1) sowohl die repräsentierende Struktur als auch die repräsentierte Information ändern können (nicht nur gleich- sondern auch gegenläufig), erfordert das die

- *Formalisierung* der repräsentierenden (tragenden) *Struktur*
- *Formalisierung* der repräsentierten (durch die Struktur getragenen) *Information* und basierend darauf die
- *Systematisierung* und *Formalisierung* aller – unter bestimmten Bedingungen – möglichen *Änderungen* von Struktur und Information (sowie die Kombination dieser Änderungen)

Damit wird eine Grundlage dafür geschaffen, dass die Menge aller – unter bestimmten Bedingungen – möglichen bildbaren internen Repräsentationen (kognitiven Strukturen) vollständig angegeben werden kann.

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

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, Norman & Cartwright (1965); Klix & Krause, B. (1969); Collins & Quillian (1969); Coombs, Dawes & Tversky (1970); Anderson & Bower (1973); Sydow (1980); Nenniger (1980); Sydow & Petzold (1981); Klimesch (1988); Sommerfeld & Sobik (1994); Sommerfeld (1994). Auf die verschiedenen Ansätze, die Graphentheorie in der Psychologie zu nutzen, soll im Rahmen dieses Vortrags nicht eingegangen werden.

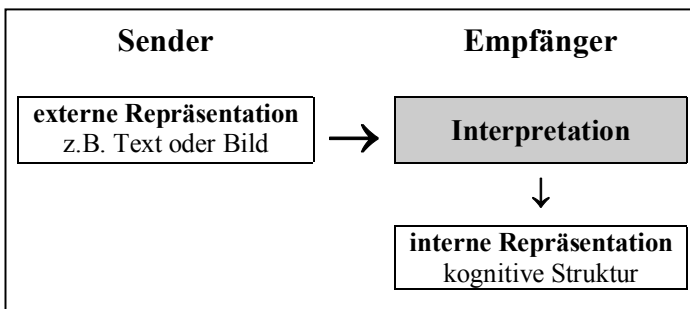


Abb. 2 (Erläuterung im Text)

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.

Information, die extern (z.B. durch ein Bild oder einen Text) repräsentiert ist, kann durch den Menschen unterschiedlich *interpretiert* und damit auch *intern unterschiedlich repräsentiert* werden (Abb. 2).

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.

Wie bereits angesprochen, hebt Herbert Hörz hervor, dass im philosophischen Informationsbegriff keine Gleichheit zwischen Abbild und Urbild postuliert wird. Mit Bezug dazu sind die Ausführungen von Fleissner und Hofkirchner (1995) zu Informationsstrukturen von Interesse, in denen herausgearbeitet wird, dass der Prozess der Gewinnung von Wissen keine spiegelbildliche Wiedergabe der Realität ist, sondern eine Sichtung der Daten, die durch eine bestimmte „Brille“ vorgenommen wird.

3.2 Interpretation struktureller Information

Zuerst kurz ein Beispiel für die unterschiedliche Interpretation externer struktureller Information (Abb. 3).

Um die Selektivität der Informationsaufnahme in der Wahrnehmung zu demonstrieren, wird häufig das bekannte Bild von Salvador Dali „Der Sklavenmarkt mit verschwindender Voltairebüste“ gezeigt. Obwohl das Netzhautbild stets das gleiche ist, wird einmal die Büste von Voltaire gesehen, ein anderes Mal werden (an gleicher Stelle) zwei Nonnen unter einem Torbogen wahrgenommen. Offensichtlich wird die externe Repräsentation (hier das Bild) ein und derselben strukturellen Information unterschiedlich interpretiert.

Das war ein Wahrnehmungs-Beispiel für eine bildliche externe Repräsentation struktureller Information in Verbindung mit unterschiedlichen Interpretationen. Auch aus dem Problemlösen gibt es dazu eine Reihe von Beispielen, sowohl für bildliche als auch textliche Repräsentationen struktureller Information in Verbindung mit unterschiedlichen Interpretationen, z.B. das folgende „Vogelflugproblem“ aus Posner (1976): „Zwei Bahnhöfe sind 80 km voneinander entfernt. An einem Sonnabend um 14 Uhr fährt in entge-

gegengesetzten Richtungen von jedem Bahnhof ein Zug ab. Gerade als der Zug den Bahnhof verlässt, flattert ein Vogel vor dem ersten Zug auf und fliegt in der Zugrichtung, allerdings schneller, dem Zug voraus, bis er den zweiten Zug erreicht. Sofort kehrt der Vogel um und fliegt in entgegengesetzter Richtung zurück, bis er wieder dem ersten Zug begegnet. Daraufhin kehrt er noch einmal um und fliegt auf den zweiten Zug zu. Er tut das solange, bis sich die beiden Züge treffen. Die Züge fahren mit einer Geschwindigkeit von 40 Kilometern pro Stunde, und der Vogel fliegt mit einer Geschwindigkeit von 160 Kilometern pro Stunde. Wie viel Kilometer hat der Vogel am Treffpunkt der beiden Züge zurückgelegt?“

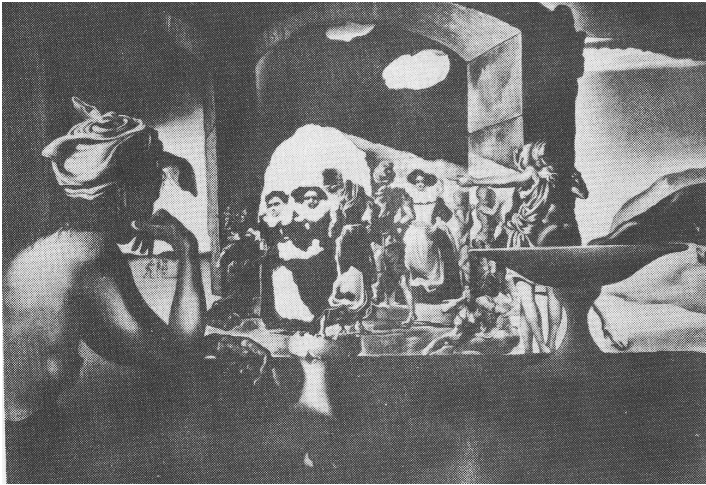


Abb. 3: Salvador Dalí „Der Sklavenmarkt mit verschwindender Voltairebüste“

Posner weist darauf hin, dass der erste Teil der Problembeschreibung allerlei für die Problemlösung irrelevante Informationen enthält, die von dem wesentlichen Material ablenken, das zur einfachen Lösung des Problems gebraucht wird. Das kann dazu führen, dass Versuchspersonen (Vpn) schwerpunktmäßig solche Teile der Information selektieren und intern abbilden, die für die Problemlösung irrelevant sind, und so das eigentliche „Zeit“-Problem des Vogelflugs über ein „Weg“-Problem zu lösen versuchen. So kann durch die anschauliche Schilderung des Hin- und Herfliegens des Vogels eine Vp durchaus dazu verleitet werden, die Aufmerksamkeit gerade auf diese Information zu lenken, was wiederum dazu führen kann, dass sie ver-

sucht, jede Flugstrecke des Vogels zwischen den Zügen zu berechnen. Das würde die Lösung sehr schwierig oder gar unmöglich machen. Lenkt eine Vp jedoch anforderungsabhängig ihre Aufmerksamkeit auf die Zeit, die der Vogel für den Weg benötigt und selektiert den dafür relevanten Teil der extern gegebenen Information, so erweist sich das Problem als trivial.

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), sowie auch dessen Weiterentwicklung. Der Modellansatz wurde zur formalen Beschreibung der Erzeugung interner Repräsentationen bei der Erkennung perceptiver 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.

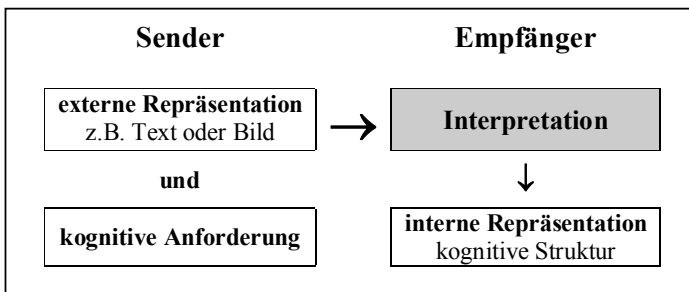


Abb. 4 (Erläuterung im Text)

Diese Art der Beschreibung und Bewertung struktureller Information spielt 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 (Abb. 4).

Die Interpretation kann über die Anforderung hinaus durch weitere Faktoren beeinflusst werden, z.B. durch den Kontext oder das Vorwissen sowie durch persönlichkeitspezifische 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 und 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. Sei \mathcal{G} eine Menge von Graphen.

Das Tupel $Int = (J, C, s, t)$ wird als **Interpretationssystem** von G bezeichnet, wenn für einen beliebigen Graphen $G = (V, E, f, g) \in \mathcal{G}$ 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 $t(w) \in J$ (Interpretationsfunktion)

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

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

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 \mathcal{G} ist definiert als

$$I(\mathcal{G}, Int) =_{Def.} \bigcup_{G \in \mathcal{G}} I(G, Int).$$

□

Die Menge J möglicher Interpretationen kann z.B. alle syntaktisch korrekten Sätze einer Sprache enthalten. Zur Menge C verbotener Interpretationen könnten alle semantisch unmöglichen Interpretationen gehören, z.B. 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. Ein einfaches Beispiel dafür sind alle verbundenen Elementepaare.

Während mit Hilfe der Selektionsfunktion formalisiert werden kann, welche Elementekombination einer strukturellen Information eine V_p zur Betrachtung auswählt, steht bei der Interpretationsfunktion t die Frage im Vordergrund, was die V_p von den selektierten Teilstrukturen überhaupt weiterverarbeitet. So können z.B. im Extremfall alle mit diesen Teilstrukturen verbundenen Merkmale und Relationen von Interesse sein. In der Realität hat man jedoch häufiger den Fall, dass (anforderungs-, motivations- oder auch personenspezifisch) nur ein Teil davon interessant bzw. zur Problemlösung erforderlich ist, oder dass von unterschiedlichen V_p n unterschiedlich viel Kontext berücksichtigt wird. Durch Kombination von Selektions- und Interpretationsfunktionen können unterschiedliche Basiseinheiten struktureller Information charakterisiert werden, die Grundbausteine für unterschiedliche Interpretationen bilden.

Der *strukturelle Informationsgehalt* ist im Gegensatz zu Shannons Informationsmaß (Shannon & Weaver, 1949) 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. 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 Inter-

pretationen, durch die der jeweilige strukturelle Informationsgehalt charakterisiert wird, auch quantitative Unterschiede zwischen extern gegebener und intern abgebildeter Information formal erfasst werden.

Struktur struktureller Informationsgehalt	keine Änderung	Vergrößerung	Verkleinerung	Vergrößerung in Verbindung mit Verkleinerung
keine Änderung	isomorphe Abbildung	Hinzufügen von Redundanz	Entfernen von Redundanz	Hinzufügen in Verbindung mit dem Entfernen von Redundanz
Vergrößerung	-----	Inferenz, Integration, Elaboration	Entfernen von Widersprüchen	Inferenz, Integration, Elaboration in Verbindung mit dem Entfernen von Widersprüchen
Verkleinerung	-----	Hinzufügen von Widersprüchen	Selektion, Reduktion	Selektion, Reduktion in Verbindung mit dem Hinzufügen von Widersprüchen
Vergrößerung und Verkleinerung	-----	Inferenz, Integration, Elaboration in Verbindung mit dem Hinzufügen von Widersprüchen	Selektion, Reduktion in Verbindung mit dem Entfernen von Widersprüchen	hierarchische Strukturbildung, Bildung eines mentalen Modells

Abb. 5: Systematik kognitiver Strukturtransformationen: Veränderung der Struktur und des strukturellen Informationsgehaltes (basierend auf Sommerfeld, 1994)

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* dar.

Unter dem Aspekt der Änderung der repräsentierten Information als auch der diese Information repräsentierenden Struktur haben wir Vollständigkeitsbetrachtungen durchgeführt für kognitive Strukturtransformationen, bei denen die lösungsrelevante Information erhalten bleibt (vgl. dazu Sommerfeld, 1994, 2008, 2009; Sommerfeld & Krause, 2013). Im Rahmen dieses Beitrags soll nur kurz darauf Bezug genommen werden.

In der Matrix in Abb. 5 ist die auf dieser Grundlage entwickelte Systematik kognitiver Strukturtransformationen (mit charakteristischen Beispielen) in einer Übersicht dargestellt. Damit ist eine Systematik entstanden, in die alle psychologisch relevanten kognitiven Strukturoperationen eingeordnet werden können. Von den sechzehn möglichen Operationenklassen kennzeichnen die schwarz eingerahmten Felder der Diagonale der Matrix gerade diejenigen drei Operationenklassen, die in der menschlichen Informationsverarbeitung besonders häufig empirisch auftreten. Damit lassen sich mehr als dreißig verschiedene Begriffe für kognitive Operationen und Operationenklassen aus der Literatur durch diese Systematik auf diese drei Klassen von Operationen reduzieren.

Eine besondere Bedeutung in der menschlichen Informationsverarbeitung haben solche kognitiven Strukturtransformationen, die eine (anforderungsabhängige) *Vereinfachung* der extern gegebenen Information bewirken, und zwar so, dass die lösungsrelevante Information erhalten bleibt (vgl. Klix, 1983). Das betrifft *wissenschaftlich berechtigte Reduktionen* im Sinne von Herbert Hörz (2010).

3.3 Reduktion struktureller Information

Kognitive Strukturtransformationen, die eine Vereinfachung der extern gegebenen Information bewirken, sind in die grau unterlegten Matrixfelder einordenbar.

Auf der Basis dieser Systematik konnten in der menschlichen Informationsverarbeitung unterschiedliche vereinfachende Transformationen extern gegebener struktureller Information in intern repräsentierte strukturelle Information *experimentell nachgewiesen* werden. Das betrifft z.B. die *Vereinfachung* durch Ordnungsbildung oder durch Kategorienbildung (Krause et al., 1987, 1989; Kotkamp, 1999; Sommerfeld, 1994; Krause, 2000). So werden

vom Menschen unter bestimmten Bedingungen durch Ordnungsbildung Voraussetzungen dafür geschaffen, dass Inferenzprozesse durch einfachere Vergleichsprozesse ersetzt werden können. In Experimenten zu transitiven Inferenzen konnte Kategorienbildung sowohl zur effektiven hierarchischen Strukturierung neuer Information als auch zur effektiven anforderungsabhängigen Umstrukturierung von Wissen experimentell nachgewiesen werden (vgl. auch Krause, 2010; Sommerfeld, 2010; Sommerfeld & Krause, 2013).

4. Fazit

Wir haben den philosophischen Informationsbegriff von Herbert Hörz aus Sicht der menschlichen Informationsverarbeitung spezifiziert.

Gegenstand war ein Modellansatz zur Repräsentation, Interpretation und Reduktion struktureller Information bei der Ausbildung kognitiver Strukturen.

Es wurden Belege dafür gebracht,

- dass der charakterisierte psychologische Informationsbegriff im philosophischen Informationsbegriff von Herbert Hörz enthalten ist
- dass exakte Vollständigkeitsbetrachtungen auch in empirischen Wissenschaften möglich und notwendig sind.

Letzteres steht im Widerspruch zur Auffassung über empirische Wissenschaften und sollte zu Diskussionen in der Philosophie anregen.

Literatur

- Anderson, J.R. & Bower, G.H. (1973) *Associative Memory*. Washington: Winston.
- Buffart, H. & Leeuwenberg, E. (1983) Structural Information Theory. In: Geibler, H.-G., Buffart, H., Leeuwenberg, E. & Sarris, V. (Eds.) *Modern Issues in Perception*. Berlin, Amsterdam: DVW, North Holland.
- Collins, A.M. & Quillian, M.R. (1969) Retrieval time from semantic memory. *Journal Verbal Learning and Verbal Behavior* 8, 241-248.
- Combs, C.H., Dawes, R.M. & Twersky, A. (1970) *Mathematical Psychology*. Englewood Cliffs N.J.: Prentice Hall.
- Feger, H. (1972) *Skalierte Informationsmenge und Eindrucksurteil*. Bern: Huber.
- Fleischer, L.-G. (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://leibnizsozietat.de/tagung-des-arbeitskreises-prinzip-einfachheit/#more-4991>
- Fleissner, P. & Hofkirchner, W. (1995) Informatio revisited. Wider den dinglichen Informationsbegriff. In: *Informatik Forum* 9 (3), 126-131. <http://cartoon.iguw.tuwi>

- en.ac.at/igw/menschen/hofkirchner/papers/InfoConcept/Informatio_revisited/informat.pdf
- Fuchs, C. & Hofkirchner, W. (2002) Ein einheitlicher Informationsbegriff für eine einheitliche Informationswissenschaft. In: Floyd, Ch., Fuchs, Ch. & Hofkirchner, W. (Hrsg.) *Stufen zur Informationsgesellschaft. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*. Frankfurt: Peter Lang, 241-281.
- Fuchs-Kittowski, K. (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).
- Harary, F. (1969) *Graph Theory*. Reading, MA: Addison-Wesley. New edition (1994): Perseus Books.
- Harary, F., Norman, R.Z. & Cartwright, D. (1965) *Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*. New York: Reading.
- Hörz, H. (1975) Information, Sign, Image. In: Kubát, L. & Zeman, J. (eds.): *Entropy and Information in Science and Philosophy*. Prague: Academia, 201–210.
- Hörz, H. (1983) Information und Weltanschauung. Festvortrag zur Festsitzung der AdW der DDR aus Anlass des Leibniztages am 1. Juli 1983. In: Scheel, H. & Lange, W. (Hrsg.): *Zur Bedeutung der Information für Individuum und Gesellschaft. Berichtsband der Wissenschaftlichen Konferenz zum Leibniztag der AdW der DDR, 29./30.6.1983*. Berlin: AdW der DDR, 27–56.
- Hörz, H. (1984) Information und Weltanschauung. *Pädagogische Forschung, Wissenschaftliche Nachrichten*, 25 (1984) 2, 13–25.
- Hörz, H. (1996) Reflections on a philosophical notion of information. In: Kornwachs, K. & Jacoby, K. (eds.) *Information. New Questions to a Multidisciplinary Concept*. Berlin: Akademie-Verlag, 245-257.
- Hörz, H. (2010) Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich berechtigte Reduktionen? Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 11-36.
http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2011/05/02_hoerz.pdf
- Hörz, H. E. & Hörz, H. (2013) *Ist Egoismus unmoralisch? Grundzüge einer neomodernen Ethik*. Berlin: trafo verlag.
- Klimesch, W. (1988) *Struktur und Aktivierung des Gedächtnisses. Das Vernetzungsmodell: Grundlagen und Elemente einer übergreifenden Theorie*. Berlin: DVW.
- Klix, F. (1962) *Elementaranalysen zur Psychophysik der Raumwahrnehmung*. Berlin: DVW.
- Klix, F. (1971) *Information und Verhalten*. Berlin: DVW.
- Klix, F. (1983) Begabungsforschung – ein neuer Weg in der kognitiven Intelligenzdiagnostik. *Zeitschrift für Psychologie*, 191, 360-387.
- Klix, F. (1992) *Die Natur des Verstandes*. Göttingen, Toronto: Hogrefe.

- Klix, F. (2004) Information in Evolution und Geschichte. In: Krause, B. & Krause, W. (Hrsg.) *Psychologie im Kontext der Naturwissenschaften. Festschrift für Friedhart Klix zum 75. Geburtstag. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, 12*, 27-41.
- Klix, F. & Krause, B. (1969) Zur Definition des Begriffs "Struktur", seinen Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie. *Zeitschrift für Psychologie, 176*, 22-54.
- Kotkamp, U. (1999) *Elementares und komplexes Problemlösen. Über Invarianzeigenschaften von Denkprozessen*. Lengerich: Pabst.
- Krause, W. (1983) Über die Lösung mehrrelationaler Ordnungsprobleme. *Vortrag auf dem 6. Nationalen Kongress der Gesellschaft für Psychologie der DDR*.
- Krause, W. (1991) Ordnungsbildung im Denken und kognitiver Aufwand. *Zeitschrift für Psychologie, Suppl. 11*, 404-421.
- Krause, W. (1994) Ordnungsbildung als Invarianzleistung mentaler Repräsentationen: Zur aufwandsreduzierenden Strukturierung von Wissen und Prozeduren. *Zeitschrift für Psychologie, 202*, 1-19.
- Krause, W. (2000) *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Göttingen, Toronto: Hogrefe.
- Krause, W. (2010) Einfachheit und menschliche Informationsverarbeitung? *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 37-55.
http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/11/03_krause.pdf
- Krause, W., Seifert, R. & Sommerfeld, E. (1987) Ausbildung und Transformation kognitiver Strukturen im Problemlösen. *ZKI-Informationen 2/87*. Berlin: AdW der DDR.
- Krause, W., Sommerfeld, E., Höhne, G. & Sperlich, H. (1989) Aufwandsminimierende Umstrukturierung von Wissensstrukturen der Konstruktion im menschlichen Gedächtnis. *Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Ilmenau, 89*, 51-54.
- Lewin, K. (1936) *Principles of Topological Psychology*. New York: McGraw-Hill.
- Leeuwenberg, E. (1968) *Structural Information of Visual Patterns*. Paris: Mouton & Co.
- MacKay, D.M. (1950) Quantal aspects of scientific information. *Philosophical Magazine, 41*, 289-311.
- Nenniger, P. (1980) Anwendungsmöglichkeiten der Graphentheorie in der Erziehungswissenschaft. *Zeitschrift für empirische Pädagogik, 4*, 85-106.
- Newell, A. & Simon, H.A. (1972) *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Opwis, K. & Lürer, G. (1996) Modelle der Repräsentation von Wissen. In: Albert, D. & Stapf, K.-H. (Hrsg.) *Enzyklopädie der Psychologie, Ser. 2, Kognition, Bd. 4, Gedächtnis*. Göttingen, Toronto: Hogrefe, 337-431.
- Posner, M.I. (1976) *Kognitive Psychologie*. München: Juventa.
- Prinz, W. (1983) *Wahrnehmung und Tätigkeitssteuerung*. Göttingen, Toronto: Hogrefe.

- Sachs, H. (1970) *Einführung in die Theorie der endlichen Graphen*. Leipzig: Teubner.
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949) *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*. München, Wien: Oldenbourg Verlag.
- Sommerfeld, E. (1994) *Kognitive Strukturen*. Münster, New York: Waxmann.
- Sommerfeld, E. (2008) Memory Psychophysics – an interdisciplinary approach. In: Plath, J.P. & Haß, E.-Ch. (Eds.) *Vernetzte Wissenschaften – Crosslinks in Natural and Social Sciences*. Berlin: Logos, 205-241.
- Sommerfeld, E. (2009) Aufklärung von Basisprozessen menschlicher Informationsverarbeitung. Ein systematischer Zugang durch Elementaranalyse von Denkprozessen bei der Lösung von Ordnungsproblemen? *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 101*. Berlin: trafo Verlag, 93-110 und *Leibniz-Online 6/2009*. www.leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/11/05-Sommerfeld_2009_04_281.pdf
- Sommerfeld, E. (2010) Einfachheit - ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen? Anregungen zur interdisziplinären Diskussion. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 145-163.
http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2011/05/15_sommerfeld.pdf
- Sommerfeld, E. & Krause, W. (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://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2013/06/Vortrag-Sommerfeld_Krause_2013_04_11.pdf
- Sommerfeld, E. & Sobik, F. (1994) Operations on cognitive structures – their modeling on the basis of graph theory. In: Albert, D. (Ed.) *Knowledge Structures*. Berlin, Heidelberg: Springer, 146-190.
- Sydow, H. (1980) Mathematische Modellierung der Strukturrepräsentation und der Strukturerkennung in Denkprozessen. *Zeitschrift für Psychologie*, 2, 166-197.
- Sydow, H. & Petzold, P. (1981) *Mathematische Psychologie*. Berlin: DVW.