



---

## Zur Systemtheorie des Lesens und Schreibens

### Skizze einer Theorie der Pragmatischen Information

***Klaus Kornwachs***

*Ulm, München, Berlin*

Veröffentlicht: 2. September 2022

---

#### **Abstract**

The concept of pragmatic information arose from the operational view according to which information that is received has an effect. This “effect” is to be understood in a very general way and depends on which system description one chooses. Information as a physical term only makes sense when dealing with material-physical systems. In the case of mental systems, we then speak of understanding information, in the case of machine systems of adequate reactivity or efficient function. Pragmatic information is conceived as a generalised product of firstness and confirmation, which as a perspectival quantity can only be determined system-specifically. In the context of physical systems, the concept of pragmatic information is used to model the effect on a receiving system in which the pragmatic information modulates processes in physical systems as boundary and initial conditions. In this way, it could – physically speaking – have the dimension of an action. The reception of information as the reading of signs in receiving physically realised systems such as in physics, biology, and technology presupposes that their sequences of states (behaviour) or inner conditions and connections (structure) can be changed by this. On the other hand, the physically possible observation of changes in structures and/or behaviour can be described as information (output), and can be interpreted as recorded observation, as writing. These are necessary, but not yet sufficient conditions for controlling real material processes through signs.

#### **Zusammenfassung**

Der Begriff der Pragmatischen Information entstand aus der operationalen Sichtweise, wonach Information, die rezipiert wird, eine Wirkung hat. Diese „Wirkung“ ist ganz allgemein zu verstehen und hängt davon ab, welche Systembeschreibung man wählt. Information als physikalischer Begriff ist nur dann sinnvoll, wenn man es mit materiell-physikalischen Systemen zu tun hat. Bei mentalen Systemen sprechen wir dann von Verstehen von Information, bei maschinellen Systemen von adäquater Reaktion oder effizienter Funktion. Pragmatische Information wird als ein verallgemeinertes Produkt aus Erstmaligkeit und Bestätigung konzipiert, die als perspektivische Größe nur systemspezifisch bestimmt werden können. Im Kontext physikalischer Systeme wird das Konzept der pragmatischen Information verwendet, um die Wirkung auf ein empfangendes System zu modellieren, in dem die pragmatische Information Prozesse in physikalischen Systemen als Rand- und Anfangsbedingungen moduliert. Damit könnte sie – physikalisch gesehen – die Dimension einer Wirkung haben. Das Rezipieren von Information als Lesen von Zeichen setzt in empfangenden physikalisch realisierten Systemen wie in Physik, Biologie und Technik voraus, dass deren Zustandsabfolgen (Verhalten) bzw. innere Bedingungen und Verbindungen (Struktur) dadurch verändert werden können. Die physikalisch mögliche Beobachtung der Veränderungen von Strukturen und/oder Verhalten ist wiederum als Information (output) beschreibbar und kann als aufgezeichnete Beobachtung als Schreiben interpretiert werden. Dies sind notwendige, aber noch keine hinreichenden Bedingungen, reale materiale Prozesse durch Zeichen zu steuern.

### Keywords:

Information, Pragmatic Information, Physical Interaction, Reading and Writing of Symbols, System description, General System Theory, Computer Science

Information, Pragmatische Information, Physikalische Interaktion, Lesen und Schreiben von Symbolen, Systembeschreibung, Allgemeine Systemtheorie, Computerwissenschaft

## 1. Einleitung

Es ist immer noch festzustellen, dass die herkömmlichen Disziplinen der Wissenschaften erhebliche Schwierigkeiten haben, die alltägliche Tatsache erklären zu können, warum und wie Information eine Wirkung ausübt, sei dies in struktureller, in kognitiver, in biologischer oder in soziologischer Hinsicht. Da es in der Tat unmöglich ist, diese vier angedeuteten Aspekte auf eine alleinige Beschreibungsebene, z.B. auf die physikalische, zu reduzieren (Lucadou/Kornwachs 1983), ist es methodologisch sicher gerechtfertigt, sich zunächst auf die „einfache“ Ebene des Problems zu begeben und nochmals nachzufragen, inwiefern das, was wir Information nennen, ganz allgemein in der Lage ist, auf Systeme, d.h. systemtheoretisch beschreibbare Objekte oder Gegenstandsbereiche, eine Wirkung auszuüben. Diese Wirkung muss eine im Kontext der Systembeschreibung beobachtbare und damit letztlich „messbare“ Veränderung sein. Dies korrespondiert am ehesten mit der strukturellen und systemtheoretischen Sichtweise, die nicht physikalistisch konzipiert sein soll, aber durchaus eben als interessanten Spezialfall auch physikalisch beschreibbare Gegenstandsbereiche umfassen kann.<sup>1</sup>

Es hat viele Versuche gegeben, die Vielfalt des Informationsbegriffs sowohl historisch<sup>2</sup> wie vereinheitlichend darzustellen.<sup>3</sup> In der Tat haben sich die Anwendungen eines naturalisierten Informationsbegriffs, vor allem im Zusammenhang von Evolution (Entstehen von Information) und Thermodynamik und Entropie (Entstehen von Strukturen fern vom thermodynamischen Gleichgewicht) in diesen Disziplinen nützlich erwiesen.<sup>4</sup> Naturalisierte Begriffe von Information beziehen sich in diesen Fällen auf physikalisch-materielle Gegenstandsbereiche und auf physikalische Wirkungen. Physikalische Systeme werden in der Regel mit dem mathematischen Beschreibungsinstrumentarium des Zustandsraumes und der Zustandsüberföhrungsfunktion erfasst, d.h. man untersucht Lösungsmannigfaltigkeiten von rekursiven Gleichungen oder von Differenzen- resp. Differentialgleichungen, die gesetzesartige (*law like*) wie kontingente (*fact-like*) Aussagen über den Gegenstandsbereich ausdrücken sollen.

Im Gegensatz zur Allgemeinen Systemtheorie sind aber bei physikalischen Gegenstandsbereichen nur Gleichungen bzw. Lösungsmannigfaltigkeiten zugelassen, die bestimmten Invarianz- und Symmetrieanforderungen und Erhaltungsgesetzen gehorchen (z. B. Energie, Impuls und CPT Symmetrie). Es hat sich aber gezeigt, dass Bedeutungsaspekte und ebenfalls

---

<sup>1</sup> Darunter verstehen wir nicht die soziologische Systemtheorie, wie sie von Niclas Luhmann (1984) in Anlehnung an Talcott Parson begründet wurde, sondern die Allgemeine Systemtheorie im Sinne von Bertalanffy (1973), Klir (1969, 1985), Mesarovic (1972). Ein Spezialfall dieser Theorie ist die Regelungstheorie (z. B. Padulo/Arbib 1974). Alle neueren Darstellungen bauen letztlich auf diesen mathematischen Konzepten auf.

<sup>2</sup> Ott (2004), philosophisch siehe Capurro (1978, 1996).

<sup>3</sup> Vgl. Völz (1983, 1996), Fuchs, Hofkirchner (2002)

<sup>4</sup> Für die Evolution Eigen, Schuster (1979), für Thermodynamik Prigogine (1972), im Bereich der Synergetics Haken (1978). Siehe auch für die Informatik Fuchs-Kittowski (1997).

pragmatische Aspekte der Information sich nicht auf einen syntaktischen oder statistischen Informationsbegriff reduzieren lassen, der im Kontext physikalischer Systeme verbleibt.<sup>5</sup>

Der Begriff der Pragmatischen Information<sup>6</sup> entstand aus einer strikt operationalen Sichtweise, wonach Information, die rezipiert wird, eine beim Empfänger beobachtbare Wirkung hat. Diese Wirkung wird zunächst systemtheoretisch verstanden, dann erst ist eine Spezifizierung für physikalische, biologische oder kognitive Gegenstandsbereiche möglich.

Eine solche Spezifizierung wird am Ende dieses Beitrags lediglich für physikalische Gegenstandsbereiche vorgenommen.<sup>7</sup> Sowohl Senden wie Empfangen sind bei physikalischen Gegenstandsbereichen, wenn sie im Zusammenhang mit Information systemtheoretisch modelliert werden sollen, mit „Schreiben“ und „Lesen“ verbunden. Hier wird der Zusammenhang von Gegenstandsbereichen, die mit Zeichen zu tun haben (z. B. informationsverarbeitende Systeme), und Gegenstandsbereiche, in denen ratenabhängige Prozesse ablaufen, thematisiert.

Im Kontext physikalischer Systeme hat die Pragmatische Information die Dimension einer Wirkung, indem sie als Rand- und Anfangsbedingungen Prozesse in physikalischen Systemen moduliert. Schon das Lesen von Zeichen setzt in empfangenden physikalisch realisierten Systemen wie in Physik, Biologie oder Technik voraus, dass deren Zustandsabfolgen (Verhalten) bzw. innere Bedingungen und Verbindungen (Struktur) durch das Empfangen von Pragmatischer Information verändert werden können. Die physikalisch mögliche Beobachtung der Veränderungen von Strukturen und/oder Verhalten ist wiederum als Information (output) beschreibbar und kann als aufgezeichnete Beobachtung als Schreiben interpretiert werden. So ist es möglich, reale materiale Prozesse, wie z.B. in der Produktion, durch Zeichen zu steuern.

## 2. Information ist noch kein Wissen

### 2.1 Information als perspektivischer Begriff

In der Informationstheorie sind die Versuche erfolglos geblieben, von der syntaktischen Ebene Schlüsse auf die semantische oder gar pragmatische Ebene zu ziehen. Die Versuche in der Linguistik, aus formalen grammatikalischen Analysen (z. B. der Chomsky-Grammatiken) eine Semantik oder gar Pragmatik einer Sprache abzuleiten, sind ebenfalls nicht erfolgreich gewesen.<sup>8</sup> Die Semantik ist aus der Syntax nicht deduzierbar.

Es hat zahlreiche Versuche gegeben, Maße für die Informationsmenge, manchmal auch für die Informationshaltigkeit zu entwickeln,<sup>9</sup> es zeigte sich jedoch, dass die angegebenen

---

<sup>5</sup> Zoglauer (1996). Naturalismus ist nicht mit Physikalismus zu verwechseln: Römer (2020), Filk/Römer (2011). Zum hypothetischen Zusammenhang von Information und Energie siehe Ising (2018).

<sup>6</sup> Dieser Begriff entlehnt sich nach der Semiotik, der Zeichenlehre, die bei Zeichen drei Untersuchungsebenen unterscheidet: Syntax bezieht sich auf die Relationen zwischen den Zeichen, Semantik auf die Bedeutung von Zeichen und Pragmatik auf die Wirkung von Zeichen. Zur Begriffs- und Entstehungsgeschichte der Pragmatischen Information siehe Gernert (2006). Einen objektivistischen Standpunkt, wonach es eine Relation zwischen Zeichen und Wirklichkeit unabhängig vom Beobachter geben würde (vgl. Oller 2011), wird hier verneint.

<sup>7</sup> Leider sind diese Ansätze seit den 90er Jahren nicht mehr im nennenswerten Umfang weitergeführt worden (eher auf der Ebene statistischer Maße verbleibt Graben (2006)). Daher wird auf zum Teil weiter zurückliegende Literatur Bezug genommen.

<sup>8</sup> Montague (1974) oder schon früher Bar-Hillel, Carnap (1953).

<sup>9</sup> Als erstes logarithmisches Maß Hartley (1928), im Zusammenhang mit der nachrichtentechnischen Kanalkapazität, Shannon, Weaver (1946-1947), verallgemeinerte Entropiemaße Reyni (1960),

Maße zwar quantitative Größen angeben können. D.h., man kann statistische Größen und syntaktische Strukturen bestimmen, man kann auch die Mächtigkeit der Menge an Bedeutungsgehalten oder der Menge an Wirkungen bestimmen. Es ist aber nicht möglich, die Spezifität von Bedeutung oder Wirkung für konkret vorliegende Information in gegebener Rezeptionssituation allein aufgrund der Analyse einer vorliegenden Botschaft vorherzusagen.<sup>10</sup>

Als Konsequenz aus dieser Einsicht hat es Bemühungen gegeben, die Bedeutungshaltigkeit einer Information nicht aus der statistischen Analyse der Botschaft, sondern aus ihrer beobachtbaren Wirkung heraus zu erschließen. Dieser Begriff der Pragmatischen Information ging schon früh davon aus, dass Information eine Wirkung im Empfänger auslöst, dass diese Wirkung beobachtet werden kann und dass ohne eine solche Beobachtung keine Aussagen über die gegebene Information gemacht werden können, die über die syntaktische Ebene hinaus gehen würden. Damit wurde auch das Einbahnstraßenmodell des Kanals zwischen Sender und Empfänger zu einem Kreismodell erweitert. Der Sender wird zum Empfänger, da er die Wirkung seiner gesendeten Information beim Empfänger beobachtet, und der Empfänger wird zum Sender, indem er seine Wirkung so zeigt, dass sie beim Sender beobachtbar ist.<sup>11</sup>

Mit dieser Vorstellung wurde eine Verbindung zwischen der Regelungstheorie, die das Feedback betrachtete, und der Informationstheorie geschaffen, die sich auf den formalen Apparat der Systemtheorie verallgemeinern ließ.<sup>12</sup> Der Effekt der Information auf ein System wurde damit wieder physikalisch, aber auch im Bereich der Biologie interessant, da in dieser Sichtweise Informationen im Sinne strukturierter Wechselwirkungen zwischen Systemen als mögliche Ursachen für den Aufbau von Strukturen, seien sie topologischer, prozessualer oder funktionaler Art, vermutet werden konnten. Hinzu kam, dass im Rahmen der Evolutionstheorie die Ausbildung neuer reproduktionsfähiger Strukturen (sprich Organismen) als Informationsentstehung verstanden werden konnte.<sup>13</sup>

Konferenzen der letzten Jahrzehnte versuchten, einen interdisziplinär akzeptablen Begriff von Information herauszuarbeiten.<sup>14</sup> Ein Blick auf die Diskussionen zeigt, dass Information im Sinne der Fragen von „wieviel“, „über was“, „für wen“ letztlich ein perspektivischer Begriff ist. D.h., dass solche Fragen ohne die Miteinbeziehung des Systems, in dem insbesondere der Empfänger neben dem Sender, dem Kanal und dem Rückkanal eine spezielle Rolle spielt, nicht beantwortet werden können.

Dass in unterschiedlichen Disziplinen die Konstituenten des Systems völlig verschieden konzipiert werden und aus unterschiedlichen Gegenstandsbereichen stammen, macht die Diskussion um den Informationsbegriff so verwirrend.

---

Kullback, Liebler (1951), Kullback (1956, 1959), Komplexitätsmasse von Information und Software, resp. Algorithmen Kolmogorov (1967), Chaitin (1974); bei Verwendung von anderen Maßen als der Wahrscheinlichkeit, z. B. Fuzzy Measures oder Possibility Measures z. B. Shafer (1967). Einen automatentheoretischen Ansatz hat Thiele (1972) vorgestellt.

<sup>10</sup> Darauf hat schon F. Klix hingewiesen (Klix 1973).

<sup>11</sup> Erste Erwähnungen bei Zemanek (1959: 18). Erste Ansätze bei Gäng (1967), dann bei E.U. & Ch. von Weizsäcker (1972), E.U. von Weizsäcker (1972, 1974).

<sup>12</sup> Einen Überblick gibt Gernert (2004) sowie Atmanspacher et al. (1992). Für die Gebiete Biologie und Physik siehe Roederer (2016).

<sup>13</sup> Im Rahmen der Biophysikalischen Chemie: Eigen (1972), Eigen, Schuster (1979), systemtheoretisch Pattee (1977), in Bezug auf Pragmatische Information Schweitzer (1999). Von informationstheoretischer Seite siehe Fuchs-Kittowski (1998, 2017).

<sup>14</sup> *Pars pro toto*: Leopoldina, Halle 1972, Physics and Computation, MIT 1982, Ganzhorn-Symposium, Neuenahr 1984, Bertelsmann-Symposium, Bremen 1990, Physics and Computation, Dallas 1992, 125th Seminar of Haereus Foundation on Information, Cottbus 1994.

## 2.2 Ein Mehrebenenschema – vom Prozess zum Wissen

Vielleicht lässt sich mit dem folgenden Schema unabhängig von den jeweiligen Gegenstandsbereichen die Unterscheidung zwischen Wissen (dieser Begriff impliziert das Wissen der Bedeutung), Information und Begriffen, die der Information wohl etwas ungenau zugeordnet werden wie Signal, Zeichen und Daten, eher verorten.<sup>15</sup>

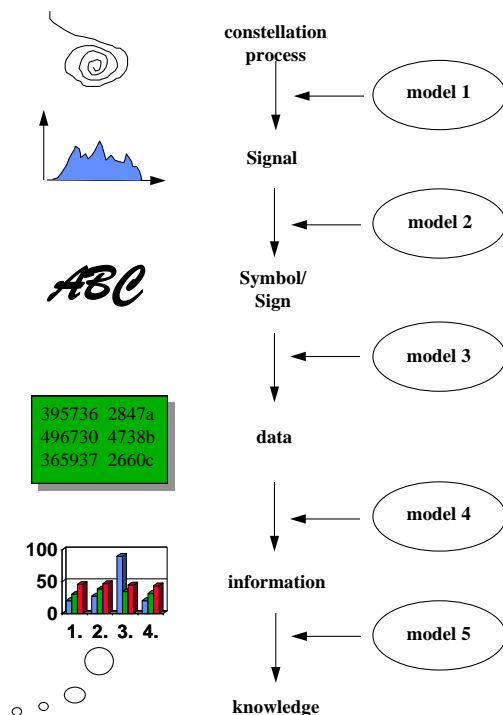


Abb. 1: Mehrebenen-Schema der Begriffe

Mehrebenen-Schema der Begriffe, das von der reinen Wahrnehmung von Gegebenheiten oder Prozessen, über die Signalverarbeitung, das Lesen und Schreiben von Symbolen bzw. Zeichen, die Datenverarbeitung und den Informationsaustausch zur Wissenserzeugung durch Kognitive Prozesse (Verstehensprozesse) reicht. Details siehe Text.

Vor der kurzen Skizze des Stufenschemas muss darauf hingewiesen werden, dass die zum Übergang von der einen zur nächsten Stufe benötigten Modelle, die jeweils auch zumindest Vor-Theorien beinhalten, nicht aufeinander reduzierbar sind. Es ist vielmehr so, dass die Erfüllung bestimmter Bedingungen in einem Modell der unteren Stufe lediglich eine notwendige Bedingung dafür darstellt, dass Bedingungen auf der höheren Stufe erfüllt werden können.

Im Prinzip müsste das Schema in Abb. 1 für ein System anwendbar sein, von dem man annimmt, dass es kognitive Prozesse im Sinne von Verstehen von Information durchführen kann. Welche dies sind, lassen wir an dieser Stelle offen, da wir hier nicht die Diskussion führen, ob und wie Maschinen intelligent sein können oder werden, und zwar in dem Sinne, dass sie fähig wären, kognitive Prozesse, die den menschlichen vergleichbar sind, durchzuführen.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Das folgende Kapitel ist eine stark überarbeitete, gekürzte und aktualisierte Adaption aus Kornwachs (2000, 2007) sowie Kornwachs (2016: 33–45). Ähnliche Schemata finden sich bei Radermacher 2007, Fenzel et al. (1996) sowie schon sehr früh bei Klaus (1972: 281 ff.), Kap. 7.3.

<sup>16</sup> Maschinen können vermutlich nicht das tun, was wir gemeinhin unter Denken im philosophischen und psychologischen Sinn verstehen. Unabhängig von dieser Vermutung können wir uns aber überlegen, ob wir solche Maschinen bauen wollen oder sollen.

### *Konstellationen, Eigenschaften, Prozesse*

Konstellationen oder Situationen in einem herausgegriffenen Bereich der Realität sind durch die an einem Modell orientierten Begriffe wie Prozesse und Eigenschaften darstellbar. Prozesse sind strukturbildende oder Struktur beibehaltende Veränderung von Eigenschaften. Die „Wiedererkennung“ von Eigenschaften setzt bereits die Verfügbarkeit von (Vor-)Begriffen voraus, sozusagen bereits ein Vor-Modell. Denn „*Gedanken ohne Inhalt sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind*“<sup>17</sup> Daher ist neben der sinnlichen Wahrnehmung<sup>18</sup> die Fähigkeit zum Gedächtnis (Speicherung)<sup>19</sup> notwendig. Das bedeutet auch, dass der Beobachter bereits eine Entscheidung aufgrund seiner Vortheorie getroffen hat, aus welchen Prozessen er Signale extrahieren will (Modell 1).

Sinnliche Wahrnehmung mit Gedächtnis, Mustererkennung und semantischer Festlegung (Bezug gleiches Muster – gleiche wahrgenommene Prozesse) sind später notwendige Bedingungen für einen kognitiven Akt.

### *Signale und Pattern Recognition – Mustererkennung*

Offenkundig verarbeitet jedes mentale System (als Beschreibung einer Entität, die in der Lage ist, kognitive Akte durchzuführen) Signale der äußeren Umwelt. Ein äußerer Beobachter kann jedoch aufgrund der Analyse des Signals allein nicht ohne weiteres feststellen, ob dieses Signal für den Empfänger einen bedeutungsvollen Input (Reiz) darstellt oder nicht.<sup>20</sup>

Die Interpretation einer Änderung physikalischer Zustände, z. B. die Beobachtung einer Zeitreihe, setzt den Begriff der beobachtbaren Variablen (Observablen) voraus und dieser Begriff ist bereits theorieabhängig (Modell 2). Mit anderen Worten: Selbst die einfachste Beobachtung setzt die Existenz eines einfachen Modells im Empfänger voraus, welches den Begriff des Begriffs (vgl. Barth et al. 2015) umfasst, ferner die Fähigkeit der Mustererkennung und nicht zuletzt einen Begriff von zeitlicher Ordnung. Zu erkennen, *dass* ein Muster vorliegen könnte, ist eine Möglichkeit, a priori Begriffe zu bilden, um später erkennen zu können, *ob* eine Wahrnehmung bei der Beobachtung unter eben ein solches Muster fällt oder nicht.

### *Symbole und/oder Zeichen, Zeichenarrangements, Anwendung einer Maske*

Auf der nachfolgenden Ebene werden Symbole und Zeichen verarbeitet.<sup>21</sup> Wir unterscheiden hier Zeichen und Symbol wie folgt: Ein Zeichen ist eine im prozessualen (zeitlich) oder

---

<sup>17</sup> Vgl. Kants *Kritik der Reinen Vernunft*, B75, in Kant (1956 [1781/1787]: 95). Den Streit um die Herkunft der Anschauungsformen und ob dies platonische Ideen sind, lassen wir hier außen vor.

<sup>18</sup> Damit können sensorielle Prozesse sowohl in biologischen wie maschinellen Systemen gemeint sein.

<sup>19</sup> Auch hier ist ganz allgemein die Fähigkeit angesprochen, Zustandsänderungen für eine gewisse Zeit „speichern“ zu können.

<sup>20</sup> Dies ist auch der Grund, weshalb die „Mathematical Theory of Communication“ von Shannon, Weaver (1949) sich nicht mit der Bedeutung von „Information“ (hier = Zeichenreihen) beschäftigt.

<sup>21</sup> Symbol wird in der Mathematik und Informatik (Computer Science) bisweilen anders gebraucht: Innerhalb eines Formalismus steht ein Symbol für den Namen einer Entität, die zu einer bestimmten Kategorie oder Klassen von Entitäten gehört wie eine Variable (z. B. logisches Zeichen). Wenn ein Zeichen (Muster) für etwas steht, das nicht anwesend oder verfügbar ist, z. B. ein Wort mit Bedeutung, dann ist es ein Symbol. Es wird benutzt, um in einer kommunikativen Situation auf etwas zu verweisen. Sowohl Zeichen wie Symbol stellen etwas dar oder beziehen sich auf etwas, was nicht mit ihnen identisch ist. Diese gemeinsame Eigenschaft soll an dieser Stelle für die nachfolgenden Überlegungen genügen.

strukturellen (räumlich) Signalangebot feststellbare Abweichung von dem erwarteten, d.h. durch die vorliegende bisherige statistische Verteilung bestimmten Signalangebot.

Ein Zeichen kann als Symbol interpretiert werden, wenn es eine Vortheorie gibt, die es dem Empfänger erlaubt, auf das zu referieren, wofür das Symbol steht. Spätestens auf dieser Ebene sind semantische Überlegungen unvermeidbar. Die Bedeutung eines Symbols ist das, worauf es bezogen werden kann, aber der Akt des Beziehens wird vom Empfänger oder vom Verarbeiter des Zeichens ausgeführt. Eine Mindestkenntnis von Welt ist also schon notwendig (Modell 3).<sup>22</sup>

Der Ausgangspunkt der Kommunikations-Theorie von Shannon und Weaver (Shannon 1949) war der Begriff des Repertoires von isolierten Zeichen. Diese n-fache Alternative, die formal erfasst wird durch ein endliches Repertoire von Zeichen, bedeutet bei Shannon jedoch eine bereits vollständig präparierte Situation, die nicht in naturalistischer Weise verstanden werden muss: In einer kommunikativen Situation ist die Wahl von Zeichen aus einem Repertoire zielorientiert (also intentional) bestimmt. Das bedeutet, dass die Zeichenreihe nicht zufällig ist. Das Shannon Maß ist ein additives, monotonen Maß für die Abweichung von Zufälligkeit, mehr nicht.

#### *Daten, Datenverarbeitung und Dateninterpretation bei einem gegebenen Kontext*

Auf der nächsten Eben ist es geradezu trivial, dass Daten Zeichen als Symbole enthalten und dass Daten Mengen von Symbolen sind, die gespeichert, übertragen, geordnet, geschrieben, gelesen und gelöscht werden können. Der technische Begriff der Daten setzt die artifizielle Materialisierung von Zeichen voraus, also Lese- und Schreibtechnologien. Das, was man aus den Daten herausfinden kann oder welche Ergebnisse man bei der Datenverarbeitung erhält, ist nicht mehr invariant gegen die Anordnung der Daten und ihre Auswahl und Speicherung nach zeitlichen Ordnungen.<sup>23</sup> Diese Bedingungen entsprechen einem interessierten Blick von außen auf die Daten durch den, der die Daten arrangiert. Dieses Arrangement bestimmt Modell 4.

#### *Verstehen von Information ist deren Integration in ein schon bestehendes Wissen*

Nach der bis hierher erfolgten begrifflichen Trennung von Konstellationen, Signalen, Zeichen, Symbolen und Daten, um die Ebenen und Modelle auseinander zu halten, erscheint der Begriff „Informationsverarbeitung“ irreführend. Er ist eher als eine *façon de parler* zu verstehen.

Wenn Information etwas ist, was verstanden werden kann (vgl. Weizsäcker 1971: 351), oder das ist, was wissbar ist, also zu Wissen gemacht werden kann,<sup>24</sup> dann muss es einen Bezug

---

<sup>22</sup> „Wo Rauch ist, ist auch Feuer“ bedeutet, dass Rauch ein Anzeichen von Feuer ist. Ob darin noch ein kommunikatives, d.h. intentional erzeugtes Zeichen steckt (z. B. Rauchzeichen), das als Symbol für eine Intention interpretiert werden kann, sei hier sekundär.

<sup>23</sup> Diese Anordnung nennen wir die Maske. Eine geeignete Maske ist nicht aus den Daten selbst ableitbar, wenn man keine äußeren Zwangsbedingungen wie z.B. das Prinzip der minimalen oder maximalen Entropie vorgibt. Diese Methode wird z. B. auch in der Bildverarbeitung verwendet und bei Spektralanalysen verwendet und geht auf Jaynes (1957) zurück. Vgl. auch Anwendungen bei Klir (1985).

<sup>24</sup> Analog dazu Zorn (2005) in Übernahme von Wendt (1989). Dabei sind Daten diskrete Repräsentationen von Informationen. Im Unterschied hierzu werden nach dem in Abb. 1 eingeführten Mehrebenenschema Daten aus Zeichen und Symbolen durch Arrangements erzeugt. Erst die Interpretation der Daten im Kontext erzeugt Information für den Empfänger, nicht an sich. Siehe auch Zorn (2015).

zu einem verstehenden Subjekt geben. Es ist üblich geworden, zwischen potentieller und aktueller Information zu unterscheiden.<sup>25</sup> Potentielle Information ist das, was auf Trägern schon vorliegt (Bücher, CDs, Sticks etc.), aber erst bei Rezeption künftig verstanden werden kann. Aktuelle Information ist der Signalfluss, der über einen Trägerprozess hindurch von einem Subjekt rezipiert und verstanden wird (Lesen von Büchern, Betrachten des Bildschirms etc.). Information ist auch immer Information über etwas, d.h. ihr Verständnis lässt sich nach dem kognitiven Prozess des Verstehens durch den Empfänger als Subjekt, im Idealfall des verstehenden Menschen, in prädikativen Sätzen ausdrücken. Ferner ist Information potentiell auch immer Information für jemanden, also ein Informationsstrom, bestehend aus Signalen, die als Symbole intentional erzeugt, angeordnet und adressiert wurden.<sup>26</sup>

Information hat nicht nur Mengencharakter, wie dies Shannon gezeigt hat, sondern im rezipierenden und verstehenden Subjekt eine verändernde Wirkung. Dies ist der entscheidende Unterschied zu Daten: Der Computer bleibt bei der Daten-„verarbeitung“ stabil, er spielt nur die Rolle eines Speichers, Datenmanipulators (= Umordnung) und eines Kanals. In der Biologie und damit auch Evolution haben wir es mit wachsenden oder schrumpfenden Systemen zu tun, mit Aufstieg und Zerfall. Auch Lernprozesse können generell auf all den hier diskutierten Ebenen als eine Veränderung von Struktur und oder Verhalten der betroffenen Organismen, Systeme oder Subjekte beobachtet werden (Modell 5).

Das Maß für die Information, das nur aus der Menge und der Auftretenswahrscheinlichkeiten der übertragenen Zeichen gebildet werden kann, sagt eben auch nichts über die Wirkung, die sie auf den Empfänger ausübt. Diese kann aber nur festgestellt werden, wenn am Empfänger diese Wirkung sichtbar wird oder er sie ausdrückt in Form von beobachtbaren Veränderungen, die als Zeichen, und in der semantischen Hülle dann als Symbole für den Sender Pragmatische Information werden können. D.h. der Empfänger wird zum Sender und umgekehrt.

### Wissen

Wissen wird oft mit Information gleichgesetzt. Diese Gleichsetzung hat, gerade in der KI-Debatte, eine verheerende Wirkung. Wir wollen hier Wissen als das Ergebnis eines Verstehensprozesses von Information ansehen, das in schon vorhandenes Wissen integriert wird. Es gibt demnach kein Wissen ohne schon vorgängiges Wissen.

Dieses erste Wissen müsste demnach ohne Prozess des Informationsverstehens zustande gekommen sein. Dieses Prä-Wissen erinnert an die eingeborenen Ideen Platons<sup>27</sup> oder an Kants Anschauungsformen.<sup>28</sup> Beide philosophischen Versuche über die Natur dieses „ersten“ Wissens haben sich jedoch als wenig hilfreich erwiesen. Eine interessante Variante bietet hingegen der Evolutionsgedanke: Dabei repräsentieren die Gehirnstrukturen schon ein gewisses Wissen über die Welt, da diese Strukturen durch Selektionsprozesse evolutionär in

<sup>25</sup> Bereits bei C.F. Weizsäcker (1972).

<sup>26</sup> Diese Unterscheidung findet man seit geraumer Zeit in informationstheoretischen Modellen der Neurowissenschaften. Palm (2007) führt den Begriff Überraschung (*surprise*) für eine Information ein, die man von einer Beschreibung erhalten kann, und den Begriff Information für eine Information, die man für eine Beschreibung benötigt.

<sup>27</sup> Vgl. Platons Dialog: Parmenides (128c - 135b), in Platon (1990: Bd. 5, 203) der Begriff der eingeborenen Ideen, sowie bei Descartes: *Principia Philosophiae* (I,10), vgl. Descartes (1977 [1641]: 66-67). Chomsky (1966) verwendete den Begriff der *innate ideas*, als er zu erklären versuchte, wie Kinder in der Lage sind, eine Syntax bzw. eine Sprache zu lernen, während die theoretische Struktur einer Grammatik doch höchst komplex ist. Zum evolutionären Entstehen von solchen „Ideen“ siehe Vollmer (1975).

<sup>28</sup> Vgl. Kant: *Kritik der Reinen Vernunft* B 34, B 75, in: Kant (1956 [1781/1787]: 63 ff., 95).



einer konkreten Welt zustande gekommen sind und damit ein gewisses „Abbild“ dieser Welt darstellen.<sup>29</sup>

Wir können dies an dieser Stelle nicht weiter vertiefen. Unabhängig von diesen Interpretationen bleibt es notwendig, verstandene Information über die Welt (exo-Wissen) mit dem Wissen, wie wir die Welt wahrnehmen (endo-Wissen) zusammenzubringen. Nur so ist es möglich, Pragmatische Information während des Verstehensprozesses als Wissen in den Corpus des schon existierenden Wissens integrieren zu können.

Die interessanteste Fähigkeit kognitiver Systeme ist es jedoch, dass sie sich selbst informieren können, d.h. sie können Wissen aggregieren (zusammenfassen), extrapolieren und Teile (chunks) von Wissen rekontextualisieren, also verfremden, verändern, in einen neuen Bezug stellen. So können sie neues Wissen erzeugen. Diesen Vorgang könnte man Denken nennen. Die Akte des Vergessens, der Wiedererinnerung und des abstrahierenden Denkens (Bilden von Denkmustern) liegen ebenfalls auf dieser Ebene.

### 3. Pragmatische Information

#### 3.1 Information und System

Die beiden Weizsäckerschen Hauptsätze der Pragmatischen Information lauten: „Information ist, was verstanden werden kann“ und „Information ist, was Information erzeugt“ (Weizsäcker 1971: 351f.).

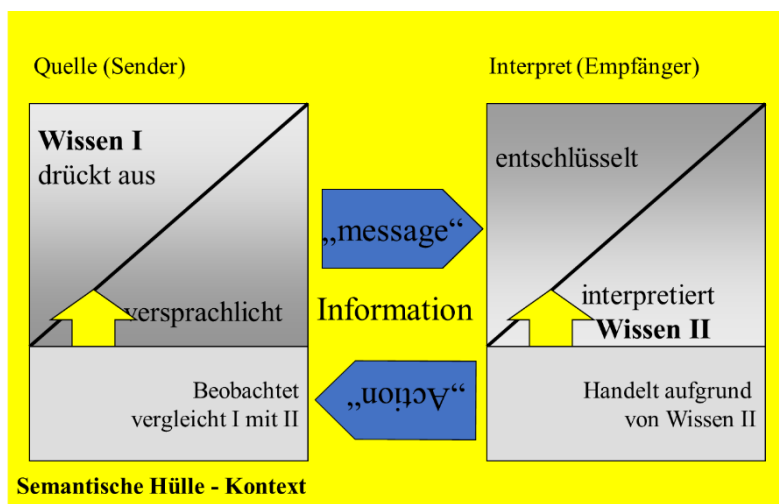


Abb. 2: Pragmatisches Modell der Kommunikation (direkt)

Das klassische Modell der Informationsübertragung, ausgehend von einem Sender, der einen Inhalt (Wissen I) codiert, als Information ausdrückt und als Botschaft (*message* = Zeichenreihe) codiert, und einem Empfänger, der die Botschaft empfängt, decodiert und dann durch Prozesse interpretiert, was dann zur Bildung von Wissen II führt, wird erweitert nach Abb. 2: Der Empfänger reagiert (verhält sich, handelt)

aufgrund von Wissen II. Dieses Verhalten soll im einfachsten Fall für den Empfänger beobachtbar sein. Der Empfänger wird dadurch zum Sender einer Information, die der Sender, nun als Empfänger, decodiert, interpretiert. Damit kann er seine intendierte Botschaft (Wissen I) mit dem interpretierten Verhalten des Empfängers (Wissen II interpretiert durch den Sender) vergleichen und daraus den Schluss ziehen, ob seine Botschaft verstanden worden ist oder nicht.

<sup>29</sup> Vgl. z. B. Radermacher (2007). Gleichwohl ist der Begriff „Abbild“ hier metaphorisch und ungenau wie der Begriff „Widerspiegelung“, der zuweilen in der Debatte gebraucht wird. Beide Begriffe suggerieren einen zielgerichteten Prozess, der aber für evolutionäre Prozesse als Beschreibungsmodell unzutreffend ist.

Dieses fast triviale Modell setzt eine ganze Reihe nicht trivialer Bedingungen voraus: Die wichtigste ist die Existenz einer sog. semantischen Hülle. Dies besagt, dass die Interpretation der jeweiligen Botschaften (direkte Botschaft und Botschaft durch die Reaktion vermittelt) im gleichen Kontext, d.h. in etwa dem gleichen Vorwissen interpretiert wird.

Man sieht auch, dass der klassische Informationsbegriff, der sich über einen Kommunikationsprozess zwischen Sender und Empfänger definiert, gleichsam iterativ alle fünf Modelle des vorigen Stufenschemas in Abb. 1 benutzt.

Das Konzept der Pragmatischen Information versucht nun, zunächst ein qualitatives Maß dafür zu entwickeln, inwiefern die Botschaft des Senders verstanden worden ist. Dazu ist es erforderlich, den Empfänger von Seiten des Senders, der ja eine Reaktion des Empfängers erwartet, zu beschreiben. Dies tun wir an dieser Stelle, indem wir generalisierend, d.h. unabhängig von den unterschiedlichen Gegenstandsbereichen und Kontexten, den Empfänger als ein formales System beschreiben, das sich aus Elementen zusammensetzt und das durch deren Elementarverhalten, durch die Beziehungen zwischen den Elementen, d.h. durch die Struktur, und durch das Gesamtverhalten charakterisiert werden kann. Wir behandeln damit Pragmatische Information weder naturalisierend noch soziologisch oder physikalisch, sondern als perspektivische deskriptive Größe anhand von Systembeschreibungen. Wir umgehen damit die Fallstricke von „ontological commitments“.

Nun ist die Beschreibung eines Systems zuweilen nicht durch die Elemente, Subsysteme und die Struktur möglich, sondern nur durch das Gesamtverhalten des Gesamtsystems (Fall der *black box*) oder des Verhaltens von Subsystemen (Abb. 3).

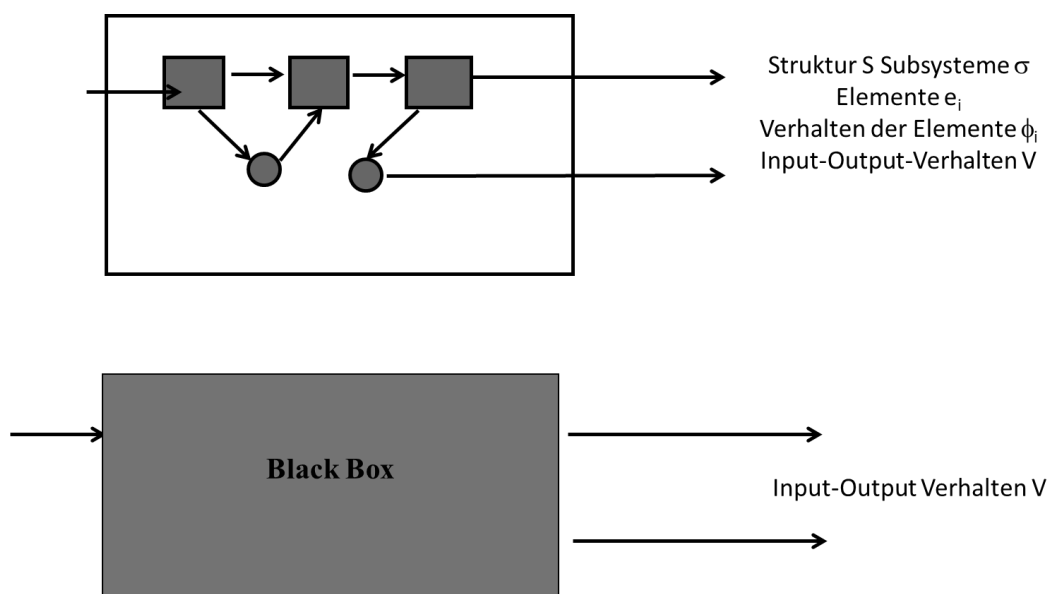


Abb. 3: Was wir von einem System wissen können

Eine Reaktion des Empfängers kann dann darin bestehen, dass sich sein Gesamtverhalten ändert im Gegensatz zum erwarteten „Normalverhalten“ oder dass sich das Verhalten der Elemente verändert oder sogar die Struktur ändert.

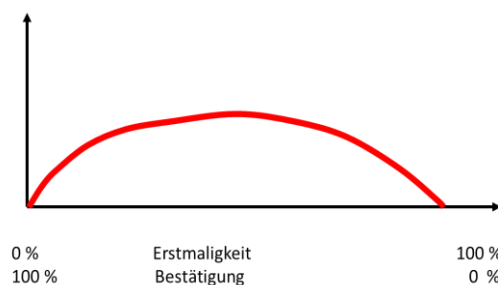
Wenn man die mengentheoretisch konzipierte probabilistische Informationstheorie in Betracht zieht, würde das Gesagte bedeuten, dass Information als eine wirkende Größe beobachtet werden kann, indem sie die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Prozessen verändert und indem sie innerhalb n-facher Alternativen neue Alternativen aufbaut, hinzufügt oder eliminiert. Betrachtet man die Oberfläche eines Systems als die Grenze der Systembeschreibung, die entscheidet, ob ein Element noch zur definierenden Menge dazugehört oder nicht,

kann man den Effekt der Information auf ein System auch als die Veränderung der Oberfläche eines Systems auffassen.<sup>30</sup>

### 3.2 Erstmaligkeit und Bestätigung

Der Sender kann nicht entscheiden, ob seine Botschaft beim Empfänger angekommen und „verstanden“ worden ist, wenn er weder eine Verhaltensänderung noch eine Strukturveränderung beobachten kann – „es tut sich nichts“, würde man umgangssprachlich sagen. D.h., der Empfänger verhält sich wie gewohnt, er bestätigt die bisherige Kenntnis über sein Verhalten. Das Maß für die Bestätigung könnte man damit auf 1 normieren. In diesem Fall ist das Maß für die Pragmatische Information, die der Sender abgegeben hat, bezüglich des Empfängers Null, da keine Wirkung zu beobachten ist. Das andere Extrem wäre, dass der Empfänger sich vollkommen stochastisch verhält, also jede seiner beobachtbaren Veränderungen überraschend ist, weil sie nicht in ein Muster passen. In diesem Fall wäre die Erstmaligkeit oder Überraschung maximal und käme damit einem weißen Rauschen gleich. Auch dann wäre bezüglich der Pragmatischen Information das Maß ein Nullwert, man würde daraus schließen müssen, dass da die „gesendete Information“ nicht verstanden worden ist. Das bedeutet auch, dass die Bestimmung, welches Maß an Pragmatischer Information in einer Botschaft oder Signalfolge gelegen haben könnte, immer eine posthoc Bestimmung durch die Empfängerreaktion sein kann. Geht man vom Diktum aus, dass eine Messung erst dann einen Wert ergibt, wenn die Messung abgeschlossen ist, ist es ontologisch gesehen sinnlos zu sagen, die Signalfolge habe schon vor dem Empfang eine Pragmatische Information enthalten.

Maß für die pragmatische Information  $PI = E \cdot B$   
nach E. U. von Weizsäcker 1974



Eine Reaktion des Empfängers ist dann beobachtbar, wenn man Differenzen zu Verhalten und/oder Struktur über eine gewisse Mindestzeit festgestellt hat. Die Forderung der temporären Irreversibilität bedeutet auch, dass diese Veränderungen zumindest metastabil irreversibel sein müssen.<sup>31</sup>

Abb. 4: Maß für die Pragmatische Information  $PI = E \cdot B$  (schematisch, mit hypothetischem Maximum) – Erstmaligkeit und Bestätigung erscheinen hier noch reziprok.<sup>32</sup>

<sup>30</sup> Oberfläche bedeutet hier die Trennung zwischen Innen und Außen einer als System beschriebenen Entität. Das Verhalten wird durch die Oberfläche vermittelt und deshalb beeinflusst die Information auch die Oberfläche; vgl. Kornwachs (1996). Dort findet sich auch der Formalismus der Systembeschreibung: Das Verhalten wird beschrieben durch die Abbildung von Input-, Zustands- und Output, die Struktur durch die Matrizen, die die Verbindungen zwischen den Elementen bzw. Subsystemen ausdrücken. Elemente sind Subsysteme, die nicht mehr weiter „zerlegt“ werden.

<sup>31</sup> Abschätzung für solche Minimalzeiten und Modelle für irreversible Verhaltensänderungen siehe Kornwachs (1987: 409) und dort Endnote (29-30), 499-450.

<sup>32</sup> Adaptiert aus Weizsäcker 1974: 99. Dort ist das Maximum „offen“ gelassen. Man könnte als ersten Ansatz annehmen, dass  $E=1-B$  für  $0 < E < 1$  und  $0 < B < 1$  ist, und das Produkt positiv definit  $PI(B) = |B^2 - B|$  oder  $PI(E) = |E - E^2|$ , das Maximum für  $PI$  würde dann bei  $B = \frac{1}{2}$  oder  $E = \frac{1}{2}$  liegen. Dies ist trivial, da man eine solche symmetrische Interdefinierbarkeit von  $E$  und  $B$  eingesetzt hat.

In qualitativer Schreibweise wurde als ein Maß für die Wirksamkeit der Pragmatischen Information eine Verbindung aus Erstmaligkeit und Bestätigung vorgeschlagen. Die erste Vermutung über diese Verknüpfung war, falls quantitativ überhaupt ausdrückbar, eine Multiplikation.

In den Grenzfällen vollkommener Bestätigung und keiner Erstmaligkeit sowie maximaler Erstmaligkeit und fehlender Bestätigung wäre das Maß für die Wirksamkeit der Pragmatischen Information Null. Wenn die Kurve dazwischen nicht trivial sein soll, muss sie mindestens ein Extremum haben, das nicht unbedingt in der Mitte der Skala liegen muss. Wir nehmen an, dass dieses Maximum positiv definit ist (Abb. 4). E. U. Weizsäcker hat sein Modell erweitert zur einer nach oben offenen Erstmaligkeit, dies würde dann der Darstellung in Abb. 5 entsprechen.

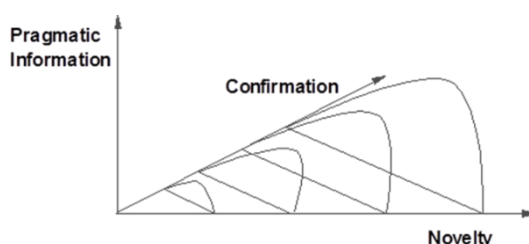


Abb. 5: Pragmatische Information mit unbegrenzter Erstmaligkeit und nicht reziproker Bestätigung (Weizsäcker/Weizsäcker 1984: 176)

Man könnte eine Prototheorie der Pragmatischen Information damit beginnen, dass man postuliert:

1. Das Maß der Auswirkung auf ein Empfängersystem hängt ab von der Zusammensetzung aus Erstmaligkeit  $E$  und Bestätigung  $B$  als notwendige Bedingung

$$PI = F(E \bullet B)$$

mit  $E \bullet B \neq B \bullet E$  (Gl. 1)

und mit einer noch näher zu bestimmenden Funktion  $F$  und einem Verknüpfungsoperator „ $\bullet$ “. Die Verknüpfung hängt von der spezifischen Systembeschreibung und Erwartungen des Senders ab und ist, als Hypothese, nicht kommutativ.<sup>33</sup>

2. Die Auswirkung einer Information auf einen Empfänger (System) als Maß für die Effektivität der Pragmatischen Information  $Eff (PI)$  kann man nur durch Änderungen in seiner Veränderung der Struktur  $\Delta S$  und/oder in einem Verhalten  $\Delta V$  erfassen, also

$$Eff (PI) = \Delta V \otimes \Delta S$$

mit  $\Delta V \otimes \Delta S \neq \Delta S \otimes \Delta V$  (Gl. 2)

und einem weiteren, noch näher zu bestimmenden Verknüpfungsoperator „ $\otimes$ “. Die Verknüpfung hängt von der spezifischen Systembeschreibung des Empfängers ab und ist, als Hypothese, ebenfalls nicht kommutativ.

<sup>33</sup> Das bedeutet in operativer Schreibweise, dass die Bestimmung der Erstmaligkeit und Bestätigung je nach Reihenfolge der Bestimmung nicht zu identischen Ergebnissen führen kann. So ist z. B. die Multiplikation von Quaternionen nicht kommutativ bzw. im Formalismus der Quantentheorie die Operatoren für Ort und Impuls resp. Energie und Zeit.

Wenn wir die Bestimmung der Veränderung von Struktur  $\Delta S$  und Verhalten  $\Delta V$  als Operatoren auffassen, die bezeichnen, welche Beobachtungen bzw. Messungen man am System vornehmen kann, so kann man die Erstmaligkeit und die Bestätigung auf folgende Weise bestimmen:

Es seien

$$\text{Die erfolgte Verhaltensänderung } \Delta V = V_{\text{vorher}} - V_{\text{nachher}}$$

$$\text{Die erwartete Verhaltensänderung } \Delta V_r = V_{\text{vorher}} - V_{\text{nachher, r}}$$

$$\text{Die erfolgte Strukturänderung } \Delta S = S_{\text{vorher}} - S_{\text{nachher}}$$

$$\text{Die erwartete Verhaltensänderung } \Delta S_r = S_{\text{vorher}} - S_{\text{nachher, r}}$$

Mit  $d$  als einem von der Systembeschreibung abhängigen Differenzmaß<sup>34</sup> wird das Maximum über alle Erwartungen  $r$  gesucht, sodass sich die Erstmaligkeit bestimmen lässt zu

$$E = \max_r \langle d(\Delta V, \Delta V_r); d(\Delta S, \Delta S_r) \rangle \quad (\text{Gl. 3})$$

Mit  $d$  als einem wiederum von der Systembeschreibung abhängigen Differenzmaß wird das Minimum über alle Erwartungen  $r$  gesucht, sodass sich die Bestätigung (normiert auf 1 als volle Bestätigung) bestimmen lässt zu

$$M = 1 - \min_r \langle d(\Delta V, \Delta V_r); d(\Delta S, \Delta S_r) \rangle \quad (\text{Gl. 4})$$

Verknüpft man die beobachtbare Wirkung der Pragmatische Information von Gl. 2  $Eff(PI) = \Delta V \otimes \Delta S$  mit den Voraussetzungen von Erstmaligkeit und Bestätigung von Gl. 1, also  $PI = \mathbf{F}(E \bullet B)$ , also

$$Eff(PI) = \Delta V \otimes \Delta S = Eff(\mathbf{F}(E \bullet B)) \quad (\text{Gl. 5})$$

dann ist die Pragmatische Information von beiden Seiten bestimmbar: Der Erste Term in Gl. 5 besagt, dass sich das Ausmaß der Wirkung der Pragmatische Information anhand von Struktur und/oder Verhaltensänderung bestimmen lässt (Gl. 2), und der zweite Term der Gleichung Gl. 5 sagt, dass die Pragmatische Information vom Sender aus gesehen eine bestimmte Funktion von feststellbarer Erstmaligkeit und Bestätigung erfüllen muss. Dies wird als notwendige Voraussetzung einer Wirkung beim Empfänger angesehen. Die obige Gleichung Gl. 5 aus Gl. 1 und 2 wäre dann ein Idealfall, wenn man bei Kenntnis von Erstmaligkeit und Bestätigung die Wirkung auf den Empfänger abschätzen könnte. Damit bleibt die Aufgabe der näheren Bestimmung der Funktion  $\mathbf{F}$ .

### 3.3 Einige Konsequenzen des Ansatzes

Man kann die Konsequenzen dieser Sichtweise kurz so zusammenfassen: Sich verändernde Systeme sind Quellen von Information. Information und System sind zwei sich bedingende Weisen der Beschreibung. Konsequenterweise kann Pragmatische Information daher Systeme aufbauen (Biologie, Organisation, Systemstrukturen), aber auch abbauen (zerstören).

<sup>34</sup> Gernert (2011) hat für verschiedene Systemtypen, für Strukturen und Zeitreihen Differenz- und Ähnlichkeitsmaße angegeben, die je nach Systembeschreibung angewendet werden können.

Wir kommen damit zum Schluss, dass Systeme, die Pragmatische Information lesen (= empfangen) und schreiben (= senden) können, nichtklassische Systeme sind. Nichtklassische Systeme haben veränderliches Verhalten und veränderliche Strukturen.<sup>35</sup>

Ist das System aus dem physikalischen Gegenstandsbereich, kann man versuchen, der Pragmatischen Information eine Wirkung zuzuschreiben. Ist damit Information eine wirkende Entität im physikalischen Sinne? Im Rahmen der Physik kann man unter bestimmten Bedingungen diesen Ansatz wählen. Dies wird weiter unten durchgeführt. Generell gilt jedoch, dass wenn Information ein perspektivischer Begriff ist, der von der gewählten Systembeschreibung abhängt, er nicht verallgemeinert in eine Reihe der Begriffe von Materie und Energie gestellt werden kann. Er stellt vielmehr eine beschreibungsabhängige Strukturgröße eines als Systems beschreibbaren Gegenstandsbereichs dar, der sich verändern kann. Somit ist auch nicht zu erwarten, dass Information – wie physikalisch auch immer definiert – eine Erhaltungsgröße wäre.<sup>36</sup>

Diese Sichtweise hängt eng mit der Haltung des Deskriptionismus zusammen: Systeme als solche existieren nicht, sie sind Beschreibungen von Gegenstandsbereichen, d.h. durch den Beobachter oder Modellbilder herausgegriffene Bereiche der Realität. Die Verhaltensregularitäten, die wir unter den gewählten Ausschnitten beobachten können, spezifizieren dann die Systembeschreibung.

---

<sup>35</sup> Eine Klassifikation der Nichtklassizität von Systemen erlaubt das LPD Theorem (Kornwachs 2013): Es handelt sich um klassische Systeme, wenn Systembeschreibungen sowohl lokal L sind (L bedeutet, dass d.h. zu jedem Zeitpunkt das System einen und nur einen definierten Zustand annimmt und ob ein Element zum System gehört oder nicht), wenn ihre künftige Dynamik aus Zustandsüberföhrungs-funktion und Randbedingungen prognostizierbar ist (P), d.h. dass ihre zeitliche Zustandsentwicklung und die beobachtbaren GröÖen einem Gesetz folgen, die eine Vorhersage erlauben, und dass sie determiniert sind (D), d.h. dass es Zustandsüberföhrungsfunktionen gibt, die bei denen der nachfolgende Zustand, den das System einnimmt, vollständig von vorhergehenden Zuständen bestimmt ist; d.h. jedes Ereignis hat mindestens eine Ursache. Gegenstandsbereiche wie Klassische Mechanik, Wellen-Optik, Elektromagnetismus (Maxwellsche Gleichungen), Allgemeine und spezielle Relativitätstheorie, einfache Schaltungstheorie (Vier-Pol), lineare Regelungstheorie etc. lassen sich klassisch beschreiben. Eine Verletzung einer, beider oder aller drei Bestimmungen erlaubt eine Bestimmung der Nichtklassizität. So verletzen quantenmechanische Systeme die Bedingungen L, D und P, je nach Interpretation der Quantentheorie, chaotische Systeme verletzen P, komplexe Systeme, also solche, die sich verändern, verletzen sowohl P und D. Man kann zeigen, dass solche komplexen Systeme nicht mehr vollständig beschreibbar sind (Kornwachs, Lucadou 1984).

<sup>36</sup> Auch ist die Gleichsetzung von thermodynamisch definierter Entropie und des Shannonschen InformationsmaÖes als „Negentropie“, welches er ebenfalls wegen der formalen Ähnlichkeit auf Vorschlag von Norbert Wieber „Entropie“ nannte, bis auf einen Faktor und ein Vorzeichen, nur bedingt möglich: „In der thermodynamischen Entropie sind die  $p_i$  Wahrscheinlichkeiten von Mikrozuständen, genauer: Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Energiezustände eines materiellen Systems. Bei der Informationsentropie bedeuten diese  $p_i$  dagegen die Eintrittswahrscheinlichkeiten beliebiger, inhaltlich nicht spezifizierter Ereignisse. Soweit diese Ereignisse nicht den mechanischen Grundgesetzen gehorchen, braucht die Informationsentropie auch nicht dem 2. Hauptsatz zu genügen! Die Informationsentropie (und der damit festgelegte Informationsbegriff) ist also all-gemeiner als die thermodynamische Entropie“. Vgl. Hägele (2004: 5), Hägele (1998), Weizsäcker C.F. (1974), Lyre (2002).

## 4. Der Empfänger – das unbekannte Wesen

### 4.1 Die Wirkung im empfangenden System

Aus der Systemtheorie ist bekannt, dass man aus dem Verhalten der Elemente und der Struktur in idealen Fällen (z. B. eine elektronische Schaltung) das Gesamtverhalten ausrechnen kann. Aus dem Verhalten kann man aber nicht ohne weiteres auf die Struktur schließen.<sup>37</sup>

Bisherige Modelle sehen die Beeinflussung eines Systems durch Information (oder besser durch ein Signal, eine Störung oder eine Regelgröße) darin, dass das System in einen anderen Zustand übergeht, was es bei Nichtvorliegen dieser äußeren Bedingung nicht tun würde. Die Zustände, die angenommen werden können, liegen jedoch durch die Definition des Zustandsraumes fest. Man denke an ein elektrisches Schaltwerk, das durch elektrische Impulse in Schwingungen versetzt wird. Von diesen Gegebenheiten ist die Systemtheorie früher vornehmlich ausgegangen: alles, was eine Zustandsänderung bewirkte, war vermöge der autonomen Dynamik des Systems oder durch äußere Einflüsse interpretiert zustande gekommen. Diese äußeren Einflüsse nannte man kurzerhand und irreführenderweise Nachricht oder gar Information (Beispiel: Schieberegister).

Um den Ansatz der Pragmatischen Information verdeutlichen zu können, sei zunächst die hier verwendete formale Systemdefinition kurz erläutert.

### 4.2 Exkurs: Systemdefinition

Der Empfänger wird als System beschrieben mit einem Quintupel  $S = \{\alpha, \phi, \sigma, \pi, T\}$ . Die Variablen des Systems sind gegeben durch  $\alpha = \{\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, t\}$  mit  $\alpha_x \in \{X\}$  als Variablen des Input, d.h. als die sich mit dem Empfang der Pragmatische Information verändernden Eingangswerte, mit  $\alpha_y \in \{Y\}$  als Variablen des Output,  $\alpha_z \in \{Z\}$  als Variablen der Zustände und  $t \in \{T\}$  als Zeitbasis. Das Verhalten  $V$  des Systems ist gegeben durch die Zustandsüberföhrungsfunktion  $\delta$  und eine Outputfunktion  $\lambda$ , sodass  $V = \{\delta, \lambda\}$  und

$$\begin{aligned} \delta: \alpha_x \otimes \alpha_z &\rightarrow \alpha_z \text{ sowie} & \text{(Gl. 6)} \\ \lambda: \alpha_x \otimes \alpha_z &\rightarrow \alpha_y. \end{aligned}$$

Mit der Zerlegung eines Systems in Subsysteme sind diese Subsysteme (resp. Elemente, soweit die Subsysteme nicht weiter zerlegt werden) durch eine Struktur  $S$ , die durch eine Konnektionsmatrix  $\pi = \{\kappa_{ij}\}$  mit  $\kappa_{ii} = 1$ , ausgedrückt werden kann. Die Diagonalelemente haben den Wert 1, die Zellen der Matrix haben den Wert 1 bei Verbindung und Null, wenn keine Verbindung besteht. Die Matrix ist symmetrisch bei bidirektionalen Verbindungen, bei gerichteten Verbindungen nicht. Die Verbindungen können systemtheoretisch zeitliche oder kausale Verknüpfungen sein, sie können Flüsse, Wirkungen, Einflüsse etc. repräsentieren. Subsysteme können weitere Subsysteme beinhalten, die analog definiert werden: als  $\sigma = \{S'_s\}$  mit  $S' = \{\alpha_{S'}, \phi_{S'}, \sigma_{S'}, \pi_{S'}, T\}$  und für weitere Ebene der Hierarchie (zweite Ebene) mit  $\sigma'_s = \{S''_s\}$  mit  $S'' = \{\alpha_{S''}, \phi_{S''}, \sigma_{S''}, \pi_{S''}, T\}$  und so weiter (Mesarovic 1972).

Das gesamte Verhalten (overall behavior), das durch  $\delta$  und  $\lambda$  ausgedrückt wird, kann folgendermaßen bestimmt werden: Sei  $\phi_i$  das lokale Verhalten eines Subsystems, das mit  $i$  indiziert ist. Dies kann ausgedrückt werden als  $y_i = \phi_i(x_i)$  mit  $x_i \in \{\alpha_x\}$ . Wenn die Subsysteme durch  $\pi = \{\kappa_{ij}\}$  verbunden sind, dann kann das  $i$ -te Subsystem durch mehr als nur ein anderes Subsystem  $j$  beeinflusst werden. Unter der Voraussetzung der Linearität der Operatoren

---

<sup>37</sup> Zum Formalismus siehe Kornwachs (1996), 183 Appendix.

$\Phi = \|\phi_i \delta_{ik}\|$  bestimmt sich das Gesamtverhalten  $V$  in Operatorenschreibweise durch die Lösungen des linearen Gleichungssystems mit  $n$  Eingangskanälen und  $m$  Ausgangskanälen

$$\Phi \mathbf{X} = \mathbf{Y} - \Phi \mathbf{K} \mathbf{Y} \quad (\text{Gl. 7})$$

mit

$$\Phi = \|\phi_i \delta_{ik}\|, \mathbf{K} = \|\kappa_{ik}\| \quad \text{und} \quad \mathbf{X} = \begin{pmatrix} \vdots \\ x_i \\ \vdots \end{pmatrix}, i = 1, \dots, n$$
$$\mathbf{Y} = (\dots \ y_j \ \dots), j = 1, \dots, m$$

### 4.3 Beschreibung der Veränderungen

Wie kann man Strukturveränderungen  $\Delta S$  quantitativ ausdrücken? Dies ist eine erste Annäherung an die Weise, wie man die Terme in Gl. 3 und Gl. 4 im konkreten Fall bestimmen könnte.

Man kann also konsequenterweise zulassen, dass Information die Struktur des Empfängers verändert. In der kybernetischen Lernmatrix wurde schon früh gerade durch die Bildung assoziativer Verknüpfungen (assoziative Netze) die Rezeption solcher Information modelliert.<sup>38</sup> Bei diesen Strukturveränderungen sind zwei Strukturbegriffe zu unterscheiden:

- Struktur der Verknüpfung zwischen Subsystemen innerhalb eines Systems.<sup>39</sup> Eine Änderung der Struktur durch die Rezeption von Pragmatischer Information führt zu den Problemen der unvollständigen Beschreibung bei komplexen Systemen (vgl. Kornwachs/Lucadou 1982; 1984). Beispiele wären das biologische Wachstum aufgrund der genetischen Information oder der Aufbau und Zerfall von Organisationen.
- Struktur der Zustandsüberföhrungsfunktion; bei Automaten ist dies die State-transition-Matrix. Eine Änderung dieser Struktur führt unmittelbar zu einer direkten Verhaltensänderung resp. zur Generierung eines „neuen“ Verhaltens.

Es bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Vergleich von Topologien (Element – Verbindung) mit und ohne Rezeption von Pragmatischer Information PI durch graphentheoretische Methoden, z. B. Graphgrammatiken (Gernert 2006),
- Entstehen / Hinzufügen neuer Elemente oder Ejektion bisheriger Elemente,<sup>40</sup>
- Auf- und Abbau von Relationen,<sup>41</sup>

---

<sup>38</sup> Steinbuch (1961), bei Palm (1980) wird von Assoziativen Netzen gesprochen.

<sup>39</sup> Sog. UC-Struktur, vgl. Klir (1969: 69).

<sup>40</sup> In der Diskussion wurde zurecht darauf hingewiesen, dass man bei einer mengentheoretisch basierten Systemdefinition, wie sie hier in Übernahme von Mesarovic (1972) verwendet wird, dynamische Mengen definieren müsste, bei denen Elemente hinzukommen und weggehen. Dies bedeutet, dass man in dem Tupel der Systembeschreibung  $S = \{\alpha, \phi, \sigma, \pi, T\}$  das Verhalten der Elemente  $\phi(t)$ , die Struktur  $p(t)$  und die Konsistenz der Subsysteme  $s(t)$  als zeitabhängige Größen auffassen muss. Das bedeutet, dass man die Zugehörigkeitsrelation zu Mengen dynamisch konzipieren müsste. Solche Mengendefinitionen sind m.W. bisher noch nicht bekannt. Vielleicht ist das auch ein Grund zu sehen, dass wir hier noch viel zu klassisch denken.

<sup>41</sup> Hier kann man zeitabhängige Matrizen einföhren: Nehmen wir an, für eine 3x3 Konnektions- oder Strukturmatrix  $k_{ij}$  in Gl. 7 habe sich die Veränderung ergeben, sodass



- nicht auf Turing Maschinen<sup>42</sup> emulierte, sondern echte, dezidierte Neuronale Netze und die Beobachtung der Ausbildung von neuen Attraktoren.<sup>43</sup>

Wie kann man Verhaltensänderungen DV quantitativ ausdrücken? Hier bieten sich folgende Möglichkeiten an:

Die Verteilung der Erwartungswahrscheinlichkeiten ist einmal möglich, indem neue einzelne Alternativen aufgebaut oder eingeführt werden oder indem die Verteilungen selbst geändert werden. Dies entspräche auch hinsichtlich der Transinformation einer Änderung der Kanalkapazität. Wird die Kanalkapazität zu Null, wird eine „Verbindung“ innerhalb eines Systems abgebaut. Dies entspricht also auch einer Strukturveränderung des Systems.<sup>44</sup> Dann könnte man so vorgehen:

- Vergleich der statistischen Verteilung des Blackbox Outputs mit und ohne Empfang der Pragmatischen Information<sup>45</sup>
- Bei analogen Signalen: Least Square Analysen mit vollständigen Funktionensystemen, Fourieranalysen und entsprechende Koeffizientenvergleiche
- Operativ - handlungstheoretisch: Veränderung von Handlungsmustern (Intention, Illokution, veränderte oder neue operative Klassen)
- Strukturveränderung (s.o.), die zu Verhaltensänderung führen können, aber nicht müssen

Die Änderung des Verhaltens eines Systems aufgrund der Rezeption von Pragmatischer Information kann man klassifizieren, je nach dem, in welchem Gegenstandsbereich man sich befindet, nach:

- dem Aufbau neuer Verhaltensweisen – dies würde dem assoziativen Lernen resp. dem bedingten Reflex entsprechen,
- dem Aufbau bzw. der Konstruktion neuer Zustandsüberföhrungsfunktionen<sup>46</sup>

---

$$\kappa_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow \kappa_{ij}' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

d.h. es wurde eine transitive Hülle eingeföhrt Der Abstand  $d(k_{ij}, k_{nm}) = \Delta S$  – vorausgesetzt, ein Abstand  $d$  ist definierbar, z.B. durch Graphgrammatiken (vgl. Gernert 1981, 1995) – ist dann durch zwei Möglichkeiten gegeben: die Struktur der drei Elemente wurde so verändert, dass eine neue Relation (im Sinne einer lokalen Relation von G. Klir (1969) ausgedrückt werden kann, oder ein verborgenes Element zwischen Element eins und drei hat sein Verhalten so verändert, dass es seine Undurchsichtigkeit, z. B. ( $k_{13}$ ) verloren hat und als perfekter Kanal dienen kann. Man kann dies aber auch durch Hinzunahme oder Wegnahme von Matrizenelementen ausdrücken.

<sup>42</sup> Turing (1937).

<sup>43</sup> Zuweilen wird dies bei Neuronalen Netzen auch als „Lernen“ bezeichnet; vgl. Haken (1988), Kap. 12, insbes. 163 ff.

<sup>44</sup> Kornwachs, Lucadou (1984).

<sup>45</sup> Wird der Empfänger beobachtet, wie er auf ein Signal reagiert, kann er als (weiteren) Kanal aufgefasst werden, und man registriert den Unterschied zwischen dem erwartbaren Verhalten des Kanals (Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen Zuständen) vor und nach dem Empfang einer „Botschaft“. Diese Differenz wird in Differenzen zwischen statistischen Verteilungen ausgedrückt, und dies entspricht dem Transinformationsbegriff bei Shannon und Weaver (1949). Allerdings verbleibt der Ansatz auf der statistischen Ebene. Vgl. Weinberger (2001), Fig. 1.

<sup>46</sup> Dies würde beim Computer dem Aufbau neuer Algorithmen und damit einer induzierten Selbstprogrammierung entsprechen. Diese Selbstprogrammierung ist in Strenge mit von Neumann-Maschinen noch nicht realisiert worden. Zur Theorie vgl. Neumann (1951). Selbstadaptive Programme rekurren lediglich auf endliche vorgegebene Alternativen. Zu angeblich sich selbst aufrufenden Programmen vgl. Kornwachs (1989).

- und nach der Änderung der konkreten Trajektorienkonfiguration (Bahnen) im Zustandsraum in Abhängigkeit von den Anfangs- und Randbedingungen.

Das unter nicht allzu großen Fluktuationen stabile System weist eine Konfiguration seiner Trajektorien auf, die eine bestimmte Umgebung  $d_0$  um einen Stabilitätspunkt  $(x_0, y_0)$  (vereinfacht für den zweidimensionalen Fall) nicht verlässt. Nach Wirkung einer äußeren „Kraft“ bzw. einer Information soll nun die Trajektorienkonfiguration sich zu einem anderen Stabilitätspunkt  $(y', x')$  verschoben haben, mit der Umgebung  $d'$ . Anschauliches Beispiel: Ein Fahrer kreist immer in einem bestimmten Stadtviertel (Variablen = Koordinaten), bis eine Information ihn veranlasst, in einem anderen Stadtviertel herumzufahren (Abb. 6). Solche Übergänge von einem Attraktor  $(y_0, x_0)$  als Stabilitätspunkt zu einem anderen werden, wenn sie durch Fluktuationen der äußeren Kräfte (Zwangsbedingungen) verursacht werden, durch die Methoden der Synergetik beschrieben.<sup>47</sup>

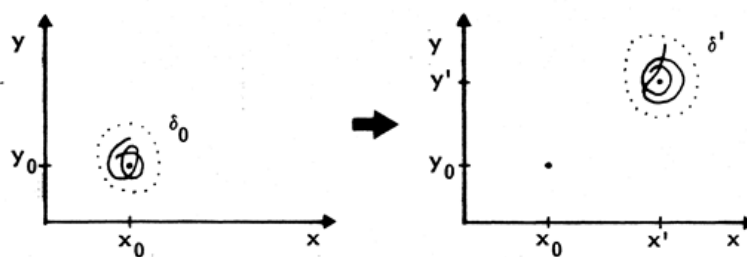


Abb. 6: Trajektorien um stabile Punkte  $(y_0, x_0)$  und  $(y', x')$

Es gibt daher unterschiedliche Ansätze, den Empfänger und die Wirkung, die er zeigt, zu modellieren. Diese Modelle sind je nach Gegenstandsbereich zu spezifizieren; die Wahl, welche Entitäten zur Systembeschreibung hinzugenommen werden und welche nicht, also die Frage nach der Ontologie im Sinne der Computer Science, entscheidet der Autor der Systembeschreibung und damit der Bildner des Modells.

Es ist nochmals festzuhalten, dass die einzelnen Komponenten der Pragmatischen Information wie Erstmaligkeit und Bestätigung für sich allein keine Wirkung auf ein System ausüben. Vielmehr machen beide (unter Annahme eines verallgemeinerten Produktansatzes  $B = E \bullet B$ ) die Pragmatische Information aus, die eben durch die Wirkung auf ein System erst gekennzeichnet ist. Insofern ist Pragmatische Information keine Shannonsche Information.<sup>48</sup>

#### 4.4 Zeichenverarbeitende und physikalische Systeme

Nun macht man die Erfahrung, dass man materielle Prozesse nicht nur durch Signale, sondern auch durch Daten steuern kann – dies gilt von der Regelungstheorie bis hin zu den großen Systemen, die mit dem Schlagwort Industrie 4.0 gekennzeichnet werden können. Wir verallgemeinern dies an dieser Stelle und gehen von der Setzung aus, dass wissensbasierte Information, d.h. die vom Sender intentional erzeugt wurde<sup>49</sup>, unter der Perspektive, dass

<sup>47</sup> Haken (1978), Kap. 6.7.

<sup>48</sup> Man kann durchaus eine Korrespondenzbeziehung herstellen: Für geeignete Bedingungen und Systembeschreibungen erweist sich der formale Ausdruck des Shannonschen Informationsbegriff als Spezialfall des Pragmatischen Informationsbegriffs. Details siehe Kornwachs, Lucadou (1982).

<sup>49</sup> Wir umgehen damit das grundlegende Problem, wie beim Sender Pragmatische Information erzeugt wird. Wir gehen davon aus, dass Wissen bei einer Entität, die zu Intentionen fähig ist, in

wir es mit physikalischen Systemen zu tun haben, materielle Prozesse steuern kann, und damit als wirkende, d.h. Pragmatische Information interpretiert werden kann.

Damit kommen wir zur Wirkung von Zeichen auf materielle Systeme. Dazu gibt es drei Positionen:

1. Die naturalistische Auffassung besagt, dass Information eine physikalische Größe oder aus physikalischen Strukturen ableitbare, beobachtbare Größe mit physikalischer Wirkung sei (Zoglauer 1996). Die methodisch-dualistische Auffassung<sup>50</sup> sieht Information als eine Größe, die z. T. mit Strukturgesetzen und mit Systemgesetzen (deskriptiv oder ontologisch) beschrieben werden kann. Die Träger der Information sind aber nach wie vor physikalische Prozesse (Völz 1996). Die Information selbst ist physikalisch gesehen eine wirkende Struktur, also eine kontingente Konstellation von Prozessen und Eigenschaften.
2. Die komplementäre Auffassung geht davon aus, dass man in der systemtheoretischen Beschreibung nichtklassischer, also offener Systeme Größen finden kann, die sich komplementär zueinander verhalten.<sup>51</sup>
3. Die Auffassung, die hier vertreten werden soll, besagt, dass Information im Bereich der Physik durchaus als eine physikalische Größe behandelt werden kann, und zwar als Randbedingungen von physikalischen Prozessen. Sie besagt aber auch, dass Information im Bereich der symbolverarbeitenden Systeme nur eine informationstechnisch / systemtheoretisch beobachtbare Größe darstellt, die nicht auf die physikalische Ebene reduziert werden kann.

Wir haben es daher mit zwei System“typen“ zu tun, wenn wir einerseits die Wirkung von Zeichen bei physikalisch konzipierten Gegenstandsbereichen betrachten und andererseits die Auswirkung von rezipierten Symbolen auf symbolverarbeitende Systeme beschreiben wollen. Im ersten Fall sind die Gesetze deterministisch oder stochastisch, aber ratenabhängig, im anderen Fall gelten Strukturgesetze, die ratenunabhängig sind.

Strukturgesetze umfassen die Regeln, wie man formale Sprachen und Grammatiken aufbaut, sie umfassen die Präzisierung des Begriffs, des Algorithmus, die Theorie der Berechenbarkeit sowie die statistischen Gesetze der Informationstheorie, sofern es um den syntaktischen Informationsbegriff geht, die diversen Semantiktheorien (Montague 1974) sowie die eigentliche Systemtheorie, die die Kybernetik als Regelungstheorie, die Graphentheorie und die Automatentheorie enthält. Inwiefern die Kybernetik eine reine Strukturgesetzlichkeit darstellt, ist umstritten, da die Theorie der klassischen Mechanik und die Theorie der Regelung und Steuerung durch die Zustandsraumdarstellung mathematisch aufeinander abbildbar sind, und beide physikalisch-technische Gesetzmäßigkeiten darstellen. Gleichzeitig kann man mit dieser Zustandsraumdarstellung und geeigneten Gleichungen<sup>52</sup> aber auch das Verhalten von

---

Verhalten umgesetzt werden kann, und dazu gehören auch, in Analogie zu den Sprechakten (Searle 1969) auch Akte der Informationsaussendung, also die Abgabe von Zeichenreihen vgl. Abb. 1.

<sup>50</sup> Wir wählen den Terminus methodisch-dualistische Auffassung, um sie von dem ontologischen Dualismus zu unterscheiden.

<sup>51</sup> Paare solcher komplementären Größen sind in der Systemtheorie Struktur und Verhalten, Randbedingungen und Dynamik, Erstmaligkeit und Bestätigung, Zuverlässigkeit und Autonomie u.a. vgl. Kornwachs (1992, 1998) in der Quantentheorie z. B. Ort und Impuls oder Energie und Zeit. Das Produkt aus komplementären Größen hat in der Physik die Dimension der Wirkung. Vgl. auch Röhrle (2001), insbes. Kap. 7.

<sup>52</sup> Diese können gesetzesartig oder phänomenologisch sein, sie können Variablentypen enthalten, die zustands- bzw. zeitkontinuierlich wie -diskret sind, sie können analytisch oder rekursiv formuliert sein.

nichtphysikalischen Strukturen modellieren,<sup>53</sup> wie z.B. die Anwendung der Regelungstheorie oder der Theorie der nichtlinearen Systeme (vulgo Chaostheorie) auf kognitive Prozesse und Lernprozesse. D.h., dass systemtheoretisch beschreibbare Sachverhalte nicht unbedingt physikalisch realisiert werden müssen. Deshalb kann die Systemtheorie noch zu den Strukturwissenschaften gezählt werden.<sup>54</sup>

Physikalische Gesetze unterliegen der Bedingung, dass ein physikalisches System vorliegen muss, auf das sie sich beziehen. Dazu gehört, dass sich ihr Verhalten aufgrund von Gesetzen (z.B.  $F = m \cdot a$ ) und den gegebenen Anfangs- bzw. Randbedingungen vorhersagen lässt und nicht nur aufgrund von Extrapolationen von Zeitreihen. Diese Randbedingungen müssen beim existierenden System tatsächlich gegeben sein, d.h. der Experimentator muss die Randbedingungen hierzu ins Werk setzen.<sup>55</sup> Wir nennen dies die Präparation der Randbedingungen. Dies ist ein kontingenter Eingriff von außen und er ist bei verschiedenen Systemen nur in verschieden ausgeprägtem Maße möglich: Man vergleiche diese Möglichkeiten bei einem lebenden System mit denen bei einer Maschine. Aufgrund der Messung, die die Präparation voraussetzt, ist es möglich, Voraussage und Beobachtung miteinander zu vergleichen (vgl. Abb. 7, die Randbedingung und physikalisches Gesetz miteinander verknüpft).

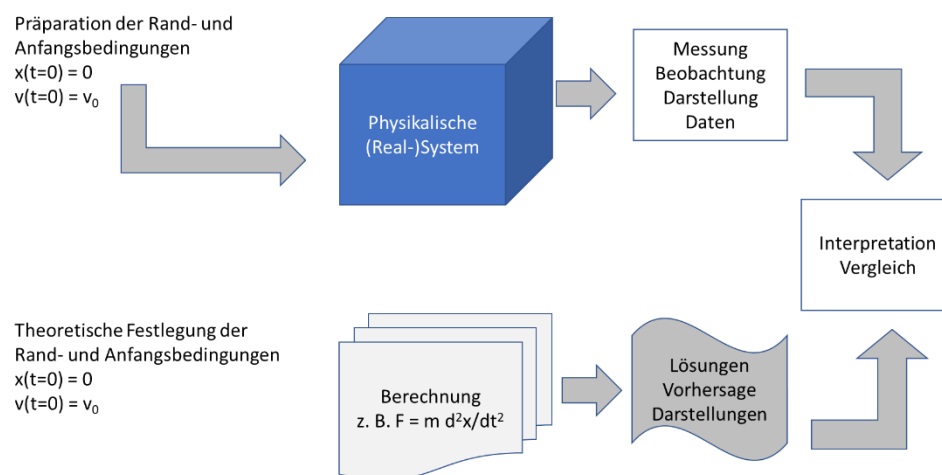


Abb. 7: Vorhersage durch Gesetze und Randbedingungen und Vergleich mit Messung, die ein physikalisches System unter Präparation beobachtet

## 5 Bedingungen der Rezeption (Lesen) und Speichern (Schreiben) von Zeichen

### 5.1 Die physikalische Betrachtungsweise

Unter den bisher in Kap. 4 gemachten Voraussetzungen betrachten wir den Informationsprozess auf Seiten des Empfängers. Wir gehen vereinfachend davon aus, dass der Informationsfluss durch einen wie immer auch gearteten Kanal (vgl. Abb. 2) einen Trägerprozess mit mindestens einer modellierbaren observablen Variablen darstellt. Aus der ersten, in dem Mehrebenen-Schema in Abb. 1 gezeigten Ebene ist dies zum einen eine stückweise durchgeführte Serien-Parallel-Transformation (Senden – Speichern – Senden) von Zuständen durch den ebenfalls als System aufgefassten Kanal, die aber den Kanal als System unverändert lässt.

<sup>53</sup> Vgl. hierzu auch den Ansatz von Sommerfeld (2014), wonach Information als Strukturen wie Strukturierendes aufgefasst werden kann.

<sup>54</sup> Zu den Systemwissenschaften als Strukturwissenschaften vgl. Artmann (2010).

<sup>55</sup> Bei der reinen wechselwirkungsfreien Beobachtung (z. B. Astronomie) muss der Beobachter die Randbedingungen nennen oder plausible Vorannahmen darüber treffen können.

Innerhalb eines gegebenen Intervalls unter Berücksichtigung der Mindestzeit der Übertragung<sup>56</sup> ist beim Empfänger eine innerhalb eines bestimmten Wertintervalls der Amplitude des Signals ratenunabhängige Reaktion des Empfängers zu erwarten. Dieses Verhalten ist prinzipiell selektiv, bedarf physikalisch gesehen eines Mindestenergieaufwandes, führt zumindest temporär zu irreversiblen Zustandsänderungen im Empfänger. Damit muss der Empfänger als Offenes System, d.h. mit der Möglichkeit von  $\Delta V$  und  $\Delta S$  beschrieben werden. Die physikalischen Bedingungen der Informationsverarbeitung beziehen sich sowohl auf den Sender als auch auf den Kanal und den Empfänger, der wiederum als Sender interpretierbar ist.<sup>57</sup>

Wenn man von physikalischen Bedingungen der „Informationsverarbeitung“ spricht, so muss man präzise festlegen, was man physikalisch unter Information verstehen will. Man kann dies negativ tun, indem man ausschließt, was Information nicht ist: Störungen, Fluktuationen, d.h. stochastische Prozesse von physikalischen Größen wie Intensitätsschwankungen von Strahlungen, Dichteschwankungen in festen, flüssigen oder gasförmigen Körpern, Schwankungen von Strömungsfeldern, von Konzentrationen bei chemischen Reaktanten und dergleichen, welche alle gemeinsam haben sollen, dass sie nicht zu einer irreversiblen Konstellation führen sollen. Das heißt, dass eine eventuell vorher nicht vorhandene Struktur, die sich durch Fluktuationen gebildet haben mag, sich in einer gewissen Zeitspanne wieder auflöst durch eben diese Fluktuationen, und diese Zeit muss so bemessen sein, dass sie unterhalb einer Zeitspanne liegt, die man für die Feststellung des entstandenen Musters brauchen würde.

Der Computer ist informatorisch gesehen durch diskrete Zustände L und  $\emptyset$  gekennzeichnet, die physikalisch gesehen jedoch kontinuierlich realisiert sind (5 Volt  $\pm$  0,5 Volt = Zustand L, 0 Volt  $\pm$  0,5 Volt = Zustand  $\emptyset$ ). Die Dynamik der Zustände eines Computers wird festgelegt durch ein Programm, also eine, physikalisch gesehen, äußere Präparation von physikalischen Zuständen, die, informatorisch gesehen, als Zeichen einer formalen Sprache interpretiert werden. Die zeitliche Entwicklung geschieht durch eine äußere Zwangsbedingung, nämlich einen Taktgeber, während sonst im ungezwungenen Fall die Physik nach ihren dynamischen Gesetzen verläuft. Die Bestimmung des nachfolgenden Zustandes eines Computers ist bei Kenntnis des Ist-Zustands und des Programms immer möglich, sofern nicht ein Zufallsgenerator eingebaut ist. Diese Vorhersage ist in der Quantenphysik bei Kenntnis der Randbedingungen und der Gesetze bekanntlich nicht oder nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit möglich.

Umgekehrt ist es nicht immer möglich, bei einem Computer den vorhergehenden Zustand zweifelsfrei zu bestimmen, da ein Programm in einem Computer eine Reihe von Zustandsabfolgen erzeugen kann, die physikalisch verschieden, aber logisch-semantisch im Kontext des Programms äquivalent sind. In der Physik hingegen ist ein Schluss auf den vorhergehenden Zustand in der klassischen Mechanik immer möglich (z.B. Planetensysteme); in der Thermodynamik wegen der evtl. existierenden exzeptionellen Anfangszustände und der Quantenmechanik wiederum nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (Prigogine 1979: 60 ff). Die Gleichungen der Physik sind, mit Ausnahme der Thermodynamik und des Messprozesses in der Quantenmechanik invariant gegen Bewegungs- und Zeitumkehr. Letztere Prozesse sind

---

<sup>56</sup> Zur thermodynamischen Begründung einer Mindest-Übertragungszeit für ein Bit ( $t_{\min} = 1,8628 \cdot 10^{-19}$  sec siehe Kornwachs (1987), Kap. IV 2.2, 407, sowie 410 und Endnote 30, 499 ff.

<sup>57</sup> Es gibt über solche physikalische Bedingungen eine ganze Reihe von Literatur, so zum Beispiel das Sonderheft des Journal of Theoretical Physics 21 (1982) der Konferenz über „Computation and Physics“. Es weist eine ganze Reihe von interessanten Ansätzen auf. Dabei sind einige von ihnen selbstverständlich und andere noch bei weitem von einer physikalisch reifen Erklärung entfernt.

nur bis auf Wahrscheinlichkeiten bestimmt und irreversibel. Die Zustandsänderungen in einem Computer hingegen erscheinen uns zwar als determinierter, aber ebenfalls irreversibler Vorgang.

Diese Unterscheidungen sind nicht sonderlich neu, sie beleuchten jedoch einen wichtigen Tatbestand: Wenn es in einem Computer letztlich ausschließlich physikalisch zugeht, muss er entweder aus thermodynamischen Gründen eine irreversible Charakteristik aufweisen oder aber die Systemgrenze, die das Programm als zeitlich veränderliche Randbedingungen ansieht, ist falsch gewählt, so dass zur Betrachtung des Verhaltens eines Computers das „Entstehen“ eines Programms als Randbedingung mit betrachtet werden müsste. Mit der letzteren Möglichkeit ist die Physik weit überfordert (sie kann die Programmstehung nicht hinreichend beschreiben), die erste Möglichkeit, thermodynamische Gründe für die Irreversibilität zu finden, kann mit dem Hinweis skizziert werden, dass der Computer, wie jede Maschine, eine – thermodynamisch gesehen – völlig unwahrscheinliche physikalische Konfiguration darstellt.<sup>58</sup>

Man kann daher den Computer (einschl. vernetzter Computer) ansatzweise als einen Finite State Automaten (FSA) modellieren. Solche Systeme stellen eine Klasse von physikalisch möglichen Konfigurationen dar, die es in der Natur so nicht gibt, die aber baubar sind, also die physikalischen Gesetze nicht verletzen.

Der Reset-Anteil des Automaten, d.h. dass er einen Endzustand in endlich vielen Schritten erreicht, korrespondiert mit der irreversiblen Auswirkung der Intervention in einem Anfangszustand (durch Präparation) auf die zeitliche Entwicklung des physikalischen Systems.<sup>59</sup>

In dieser Sichtweise kommt die Irreversibilität des physikalischen Geschehens im Computer nicht durch das extreme Verhältnis zwischen Mikro- und Makrozuständen in thermodynamischen Systemen zustande,<sup>60</sup> sondern durch äußere Intervention, die jenseits der Systemgrenzen entsteht und auf das System wirkt. Anders ausgedrückt: Erst die Offenheit, die äußere Intervention zulässt, erlaubt die Irreversibilität.

Da eine Reset-Transformation, also ein irreversibler Übergang in einen bestimmten Zustand keine Inversen hat, kann sie durch äußere Eingriffe realisiert werden, also durch Änderung des Potentials (Präparation), Störung (Messung) oder Änderung der Struktur des Problems (was einer Änderung der Ontologie entspräche). Danach kommt die Irreversibilität für computerische und informatorische Prozesse durch eine Änderung der Randbedingungen als der Repräsentation dieser äußeren Einwirkungen zustande.

Es gibt zur Realisierung von Zuständen mit unendlichen Phasenraumvolumen zwei Möglichkeiten, das stabile (a) und das metastabile (c) Gleichgewicht, skizziert durch ein entsprechendes Potential  $U$ , und es gibt das labile Gleichgewicht (b), das jedoch lediglich beim völligen Fehlen von Fluktuationen ernsthaft in Erwägung zu ziehen ist (vgl. Abb. 8).

---

<sup>58</sup> So wird gezeigt, dass für die Speicherung nur eines bits bereits eine Potentialkurve mit zwei Senken und einer Barriere dazwischen notwendig ist, und zwar genau bezüglich eines Freiheitsgrades  $x$ . Alle anderen Freiheitsgrade sind unmittelbar abhängig von der absoluten Temperatur. Diese Freiheitsgrade koppeln in gewisser Weise mit dem Freiheitsgrad  $x$ , der für die Speicherung eines bits „eingefroren“ wurde und können ihn auch nicht wieder „auftauen“ (Gupta 1982). Salopp gesprochen: Fieber setzt die Zuverlässigkeitsrate der organisch-biologischen Informationsverarbeitung, Übertemperatur die Zuverlässigkeit der elektronischen Informationsverarbeitung drastisch herab. Daraus folgt, dass der Computer nur sinnvoll in einem bestimmten Temperaturbereich betrieben werden kann. – Das selektive „Einfrieren“ eines Freiheitsgrades (oder mehrerer) gegenüber den übrigen thermischen Freiheitsgraden ist thermodynamisch sehr unwahrscheinlich und setzt entweder exzeptionelle Rand/Anfangsbedingungen oder einen Eingriff von außen voraus.

<sup>59</sup> Rothstein (1982). Siehe auch Lehrbücher der Automatentheorie, z. B. Starke (1969).

<sup>60</sup> Siehe Lehrbücher der Thermodynamik, vgl. auch Büchel (1965: 79 ff).

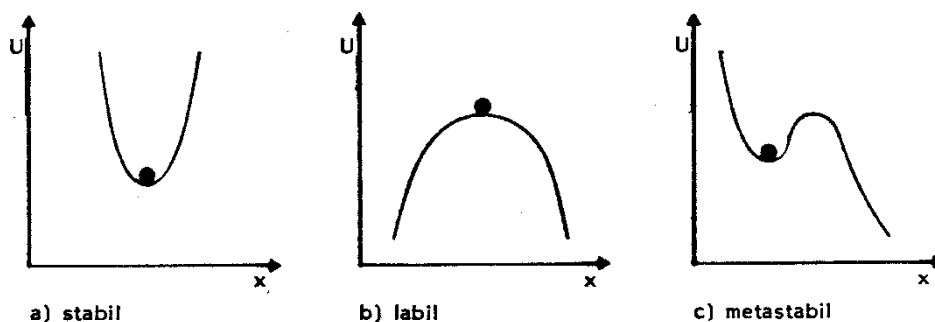


Abb. 8: Potentiale für stabiles, labiles und metastabiles Gleichgewicht

Wir stellen zunächst fest, dass metastabile Zustände sich als Speichermöglichkeit für Zeichen eignen, da es immer eine Umwelt gibt, in der sie nicht gespeichert sind. Deshalb ist auch eine absolut stabile, d.h. potentiell für hinreichend lange Zeit unveränderliche Konfiguration nicht zeichenhaltig, da keine Differenz zur Umgebung feststellbar ist.

Ein Trägerprozess, der signalhaltig sein soll (vgl. Abb. 1, Ebene 1), kann überprüft werden nach notwendigen Bedingungen: Da das Signal einen gewissen inneren Zusammenhang über der Zeit haben muss (Kohärenz) müssen die zeitlichen Werte, die die physikalischen Größen des Trägerprozesses annehmen, einen gewissen Grad von Autokorrelation aufweisen. Weiterhin sind auftretende Periodizitäten ein Hinweis für Signalthaltigkeit. Sollen die darin enthaltenen Zeichen mittels einer Serien-Paralleltransformation räumlich nebeneinander realisiert werden, ist eine solche Periodik notwendig Bedingung (vgl. Abb. 1 Ebene 3).

### 5.2 Zeichen physikalisch

Ein räumliches Muster als Voraussetzung für ein Zeichen wird letztlich realisiert durch metastabile Zustände des Trägers, diese sind physikalisch unterscheidbar von ihrer Umgebung und diese Unterscheidung soll für eine hinreichend lange Zeit möglich sein. Diese Zeit ist endlich. Es existiert innerhalb eines zeichenhaft interpretierbaren Trägerzustandes eine räumliche Entropiedifferenz zur Umgebung, die invariant ist gegen Spiegelung, Drehung, Vertauschung und Permutation. Diese Operationen verletzen jedoch die Spezifität der als Information zu interpretierenden Struktur und damit die Genuität der Zeichenreihe. Andererseits stellen sie jedoch gerade die Möglichkeit dar, eine räumliche Darstellung neu zu codieren. Die Spezifität und damit die Genuität der Zeichenreihe bleibt für den Empfänger trivialerweise nur dann erhalten, wenn er den Code, d.h. die Abbildung von einem Elementarzeichenrepertoire in ein anderes kennt.

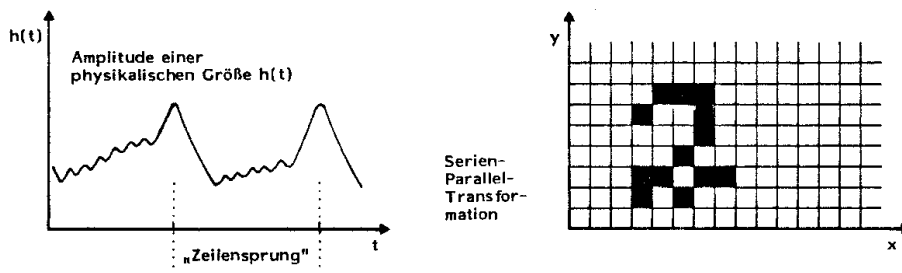


Abb. 9: Zeitliche und räumliche Darstellung von Zeichen

Damit kann die Entstehung eines Signals aus metastabilen Zuständen erklärt werden: Die Oberfläche eines räumlichen Musters wird durch einen Lichtstrahl (oder mittelbar durch das Auge) abgetastet. In der räumlichen Darstellung in Abb. 9 rechts wird eine als Zeichenreihe interpretierbare Zeitreihe (links in Abb. 9) und umgekehrt deutlich.

Dadurch entsteht, vermöge der verschiedenen physikalisch-energetischen Reaktionen, eine Modulation des Strahls durch die Randbedingungen der Oberfläche (vgl. Abb. 10). Analoges gilt für das zeitlich nacheinander Auslesen eines Schieberegisters, dessen elektrische Zustände ebenfalls metastabile Zustände darstellen.

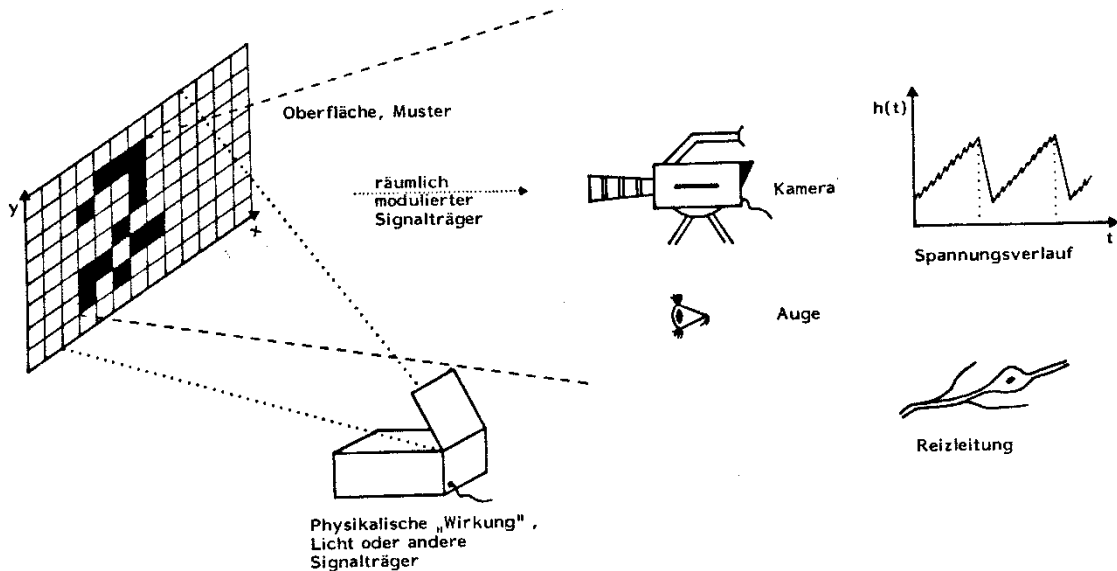


Abb. 10: Modulation eines physikalischen Trägers durch die Randbedingungen einer Oberfläche

Die Bildung von metastabilen Zuständen aufgrund einer eingehenden Information (und hier ist natürlich ausschließlich Pragmatische Information gemeint), setzt ebenfalls wieder eine Serien-Paralleltransformation voraus (diesmal in der anderen Richtung). Sie muss so bewerkstelligt werden, dass ein physikalisch „formbares“ Medium vorhanden ist, dessen Potentialkurve  $U$  durch äußere Eingriffe geändert werden kann, so dass die Schwelle  $\Delta E$  für den metastabilen Zustand groß genug ist, so dass bestimmte Freiheitsgrade des Systems „eingefroren“ werden können (vgl. Abb. 11). Diesen Vorgang könnte man „Schreiben“ nennen.

Dieses „Einfrieren“ ist z.B. durch Anlegen von äußeren elektrischen und/oder magnetischen Feldern, durch Katalysieren von Reaktionen etc. möglich<sup>61</sup> oder auch durch mechanische Einwirkung (beispielsweise Hieroglyphen in Steintafeln). Dieses „Einfrieren“ ist auch die Voraussetzung für das Speichern von Zeichen.

<sup>61</sup> Vgl. Haken (1978), Kap. 9.8; Enz (1979).



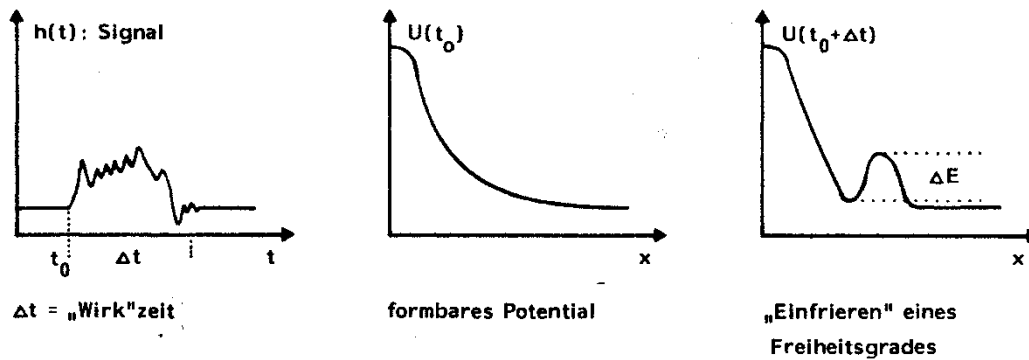


Abb. 11: Verformung eines Potentials

### 5.3 Information als Randbedingung?

Aus der Abbildung 7 (Physikalische Gesetze und Vorhersage) geht hervor, dass in der Physik Vorhersagen nur gemacht werden können, wenn die Gesetze *und* die Randbedingungen bekannt sind. Ändern sich die Randbedingungen, so führt dies konsequenterweise zu einer Änderung der Vorhersage (sofern das Gesetz gleichbleibt). Die Änderung der Randbedingungen durch ein benachbartes, d.h. interagierendes System führt dann zu einem infiniten Regress: jede als Randbedingung interpretierte Konstellation für ein System  $S_1$  ist durch das Verhalten des Systems  $S_2$  hervorgerufen worden, dessen Randbedingungen wieder durch das System  $S_3$  erzeugt wurden. Daraus folgt eine Aufspaltung wie sie in Abb. 12 skizziert ist.

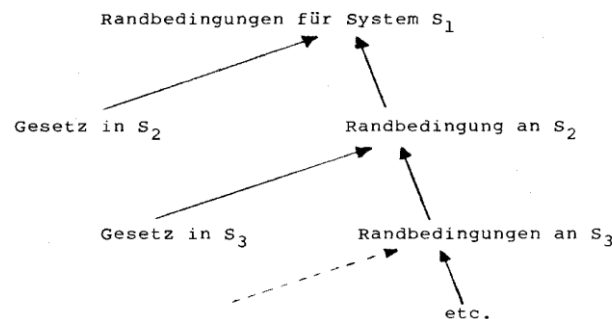


Abb. 12: Randbedingung und Naturgesetz: Die Grenze zwischen Randbedingung und Gesetz ist bei freier Wahl der Systemgrenzen und damit der Beschreibungsebenen frei verschieblich.

Zeichen stellen im Lesevorgang eine Präparation des „lesenden“ Systems dar, indem sie für den lesenden Trägerprozess und seine Dynamik (d.h. hier die entsprechenden Differentialgleichungen einschließlich der Randbedingungen) die Randbedingungen darstellen. Dies setzt eine irreversible und eine selektive Dynamik voraus, das lesende System muss eine physikalische Realisation eines endlichen Automaten (FSA) sein. Sowohl Computer als auch lebende Zelle erfüllen diese Bedingung, auch wenn sie sonst nicht miteinander vergleichbar sind. Sind sie genügend groß (makroskopisch), können sie die Irreversibilitätsbedingungen erfüllen (vgl. Weizsäcker 1974). Die Größe ist aber keine notwendige Bedingung, wenn ein anderer Mechanismus für die Realisation der Irreversibilität gefunden werden kann (vgl. Prigogine 1979).

Die selektive Signalerkennung setzt eine symbolische, d.h. zeichenhafte Randbedingung voraus, also eine bestimmte Strukturkohärenz und eine Entropiedifferenz. Die

Informationsverarbeitung selbst setzt eine Grammatikalität der realisierten physikalischen Dynamik voraus.<sup>62</sup>

Man kann nun die einzelnen Schritte der Informationsverarbeitung angeben und interpretieren:

- **Schreiben:** Präparation des Systems durch Randbedingungen, deren Struktur Systemgesetzen gehorchen.
- **Verarbeitung:** Diese bedeutet eine Transformation der repräsentativen metastabilen Konfiguration in eine andere.
- **Lesen:** Messung am benachbarten System: wie ist die irreversible, „eingefrorene“ Auswirkung des eigenen Signals, das das benachbarte System als Randbedingung interpretieren muss.

Da diese Schritte nach Abb. 2 iteriert verlaufen, sieht man, dass man Lesen und Schreiben nicht mehr dadurch trennen kann, dass man angibt, was zuerst den Prozess der Kommunikation in Gang gebracht hat.

Die Voraussetzungen hierzu sind generell, dass ein physikalisch mögliches, raumzeitliches Arrangement der Systeme, Prozesse (d.h. Dynamiken) und Randbedingungen getroffen werden kann. Im künstlichen Bereich ist dies der Computer, im natürlichen Bereich ist dies vermöge der Evolution die lebende Zelle – diese beiden scheinen im Augenblick die einzigen physikalischen Realisationen dieser Möglichkeiten zu sein.

## 6. Wirkende Strukturen

### 6.1 Symbolische und physikalische Systeme

Nach Auffassung des Biologen und Systemtheoretikers H.H. Pattee ist eine Information für eine nichtstationäre und nicht ergodische Verhaltensänderung in einem System vermöge der Veränderungen der Randbedingungen verantwortlich.<sup>63</sup> Ähnliche Überlegungen finden sich auch angedeutet bei B. O. Küppers (Küppers 2012: 127 ff.).

So könnte durch die Wirkung von Pragmatischer Information die Entstehung einer Selbstbeschreibung im Sinne der Bildung eines inneren Modells der Außenwelt<sup>64</sup> verständlich werden, nach dem Satz: „Information ist, was Information erzeugt“ (C. F. Weizsäcker 1971: 352). Das Entstehen neuer Zustandsübertragungsfunktionen entspricht im automaten-theoretischen Sinne der Bildung eines neuen Algorithmus, da neue Verhaltensweisen generiert worden sind. Auch dies kann man wieder als Lernen bezeichnen.

Die Entstehung von autokatalytischen Reaktionen durch die informatorische Wirkung wird verständlich, indem man sich vorstellt, dass die Randbedingungen gerade so verändert werden, dass eine entsprechende Dynamik gerade verstärkt oder geschwächt wird (Eigen 1972).

Die experimentelle Erfahrung im biologischen Bereich zeigt, dass dies keine Selbstverständlichkeit ist. Die syntaktischen Regeln, d.h. die Einhaltung der Gesetze aus der Theorie der symbolverarbeitenden Systeme dürfen dann als ein Spezialfall einer Messung aufgefasst werden. Dabei haben die anfänglichen Bedingungen, hier das entsprechende Input-Zeichen,

---

<sup>62</sup> Diese Dynamik muss nach Prigogine (1979) eine nicht unitäre Transformation sein, d.h. mit nicht hermiteschen Operationen beschreibbar, da sonst die Abbildung des Automatenmonoids nicht mehr homomorph zur Gruppe der physikalischen Transformationen wäre.

<sup>63</sup> Pattee 1977, 1980, 1982) und Diskussionen (Pattee 1982).

<sup>64</sup> eingeführt von Stachowiak (1975), Kap. 9.

einen für das System symbolischen Gehalt. Dieser symbolische Gehalt ist ratenunabhängig, er definiert daher zwangsläufig ein Schwellwertverhalten.

Die lebende Zelle transformiert informationshaltige Trägerkonfigurationen, z.B. den genetischen Code auf der DNS-Helix, in andere solche Konfigurationen, genannt Strings. Dies entspricht dem Verhalten eines endlichen Automaten (FSA),<sup>65</sup> da diese Transformationen irreversibel sind. Weiterhin transformiert die lebende Zelle diese Strings in funktionale Maschinen, d.h. in Strings plus eine Art Prozessor, also einen weiteren endlichen Automaten. Daraus folgt, dass die Informationsverarbeitung eines lebenden Automaten zur Entstehung von Information und der Entstehung eines weiteren endlichen Automaten Anlass gibt. Solche erzeugten endlichen Automaten haben natürlich wieder ein definierbares Verhalten.

Wir können in Analogie zur Dichotomie von Gesetz und Randbedingungen den umgekehrten Schluss ziehen: Sind Gesetz und Randbedingung als funktionelle Maschinen, also als Prozessoren, anzusehen, dann sind sie folgendermaßen entstanden (vgl. Abb.13):

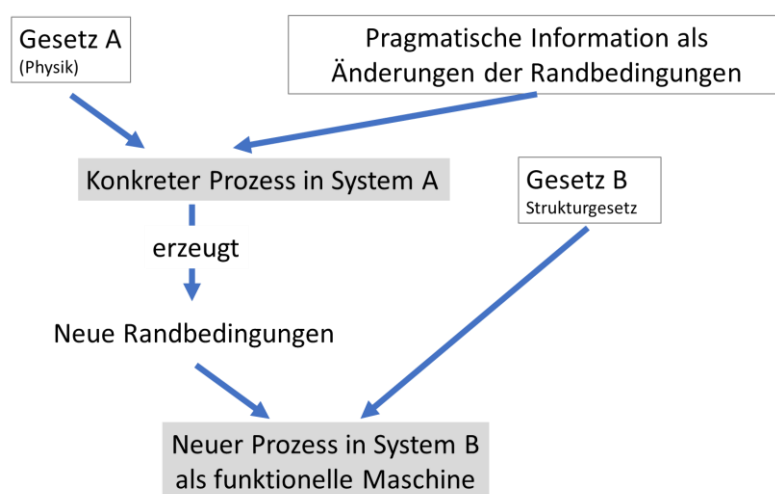


Abb. 13: Entstehung von neuen Randbedingungen aus Prozessen und Entstehen funktioneller Maschinen. Das Erstellen und Senden (Schreiben) von Zeichen ist das Verändern der Randbedingungen eines zunächst physikalischen, dann strukturell beschreibbaren Prozesses

Das bedeutet, dass man die jeweils vorgeschalteten „Gesetze“, und das heißt hier die Prä-Prozessormechanismen kennen muss, welche aber erst durch die letzte funktionelle Maschine in der Kette ihre „Bedeutung“ als symbolische Repräsentation erhalten. Diese Kette ist dann konstitutiv für eine sogenannte semantische Hülle.<sup>66</sup> Dieser Terminus drückt die einfache Voraussetzung aus, dass die Bedeutung von Symbolen, die in den Daten enthalten

<sup>65</sup> FSA enthalten immer Reset-Anteile.

<sup>66</sup> Der Begriff „Hülle“ stammt aus der Mathematik. Er bezieht sich auf eine Art der transitiven Eigenschaften. Als Beispiel gelte das logische Gesetz mit  $a \rightarrow b$  und  $b \rightarrow c$ , dann gilt  $a \rightarrow c$ . Eine transitive Hülle (transitive closure) ist definiert als:  $a, b, c$  seien Elemente aus der Menge  $M$ . Die Relation  $R(a, b)$  sei auf der Menge  $M$  definiert, so dass  $\mathfrak{R} \subset M \times M$  und mit  $R(a, B) \in \mathfrak{R}$  und  $R(b, c) \in \mathfrak{R}$  folgt  $R(a, c) \in \mathfrak{R}$ . Diese transitive Relation definiert die transitive Hülle  $\mathfrak{R}$  von  $M$ . Für alle Elemente  $x, y$  für die  $R(x, y) \in \mathfrak{R}$ , gilt, dass sie vermöge dieser Relation von allen anderen Elementen „erreicht“ werden können, d.h. dass sie durch diese Relation „zusammenhängend“ sind. Daher der Begriff „Hülle“. Es gibt selbstverständlich eine Reihe von Relationen, die nicht transitiv sind wie:  $a$  liebt  $b$ , oder  $a$  findet  $b$  schön, oder  $a$  gewinnt gegen  $b$ . Der Ausdruck „semantische Hülle“ wurde von H. Pattee (1977) im Rahmen der systemtheoretischen Analyse bei der Zell- und Molekularbiologie eingeführt.

sind, durch eine Referenzprozedur gegeben ist, die notwendigerweise *vor* dem algorithmischen Prozess der Datenverarbeitung durchgeführt werden muss. Die meisten Computerbenutzer kennen die Bedeutung der eingegebenen Daten und das, was das Programm mit ihnen „macht“, d.h. in etwa die Berechnungsverfahren. Die Interpretation des Ergebnisses, d.h. ob die Output-Daten für den Nutzer sinnvoll sind oder nicht, setzt notwendigerweise, aber nicht hinreichend voraus, dass die Ausgangsdaten im gleichen Referenzrahmen interpretiert werden. Das bedeutet, dass der Kontext der Interpretation für die Eingangs- wie die Ausgangsdaten derselbe sein muss.<sup>67</sup>

Verallgemeinert sorgt semantische Hülle in solchen Prozessen dann dafür, dass die Interpretation des Inputs auf derselben semantischen Ebene wie die Interpretation der Outputveränderung möglich ist. Dies ist auch in Abb. 2 angedeutet: Die Beobachtung der Reaktion des Empfängers durch den Sender ist nur sinnvoll, wenn diese semantische Hülle besteht.

Der Referent eines solchen Symbols (d.h. worauf sich das Symbol bezieht), ist in dieser semantischen Hülle dann nicht nur ein anderes Symbol, sondern eine dynamische raumzeitliche Funktion im physikalischen System.

Nach H. H. Pattee ist die lebende Zelle das einzige System, das von sich aus eine semantische Hülle hat, sie aufrechterhält und sie gegebenenfalls erzeugt (Pattee 1982). Für den Computer gilt, dass er seine semantische Hülle erst durch die Programmierung, die im allgemeinen als Eingriff von außen angesehen werden kann und nicht von selbst entsteht, erhält. Der Computer ist also nur eine Erweiterung der semantischen Hülle des informationsverarbeitenden Systems Mensch.

Damit ist ein Symbol ratenunabhängig, während das, worauf es sich bezieht, ratenabhängigen Gesetzen gehorcht. Symbole sind mindestens zweidimensional (wahrscheinlich dreidimensional), sie stellen vergleichsweise stabile, zeitliche eingeschränkte, unabhängige Strukturen dar, während die Physik die zugehörigen dynamischen Konfigurationen beschreibt. Träger von Symbolen sind Konfigurationen von Molekülen, Kristallen, Oberflächen etc., während die Prozesse, auf die sie sich beziehen, physikalische Teilchen, Felder, Wellen, Flüsse etc. sind.

Die Dynamik von Symbolen, die den syntaktischen Gesetzen gehorchen soll, ist daher eine Dynamik von Strukturen, die sich trägerinvariant innerhalb des Systems nach nicht-physikalischen Gesetzen bewegen (z.B. eine Verschiebung von Zeichen).<sup>68</sup> Es muss daher auch keine Erhaltungssätze geben, d.h. die virtuellen Bewegungen können als „unphysikalisch“ angesehen werden. Es sind auch keine Symmetrien feststellbar und es gibt keinen Erhaltungssatz für die Pragmatische Information.

## 6.2 Der „Sinn“ Pragmatischer Information

Anwendungen des Pragmatischen Informationsbegriffs finden sich mittlerweile in der Literatur in den unterschiedlichen Gebieten; allerdings wird er entsprechend auch unterschiedlich definiert. Die vorliegende Skizze will dazu beitragen, die Lücken, wie sie im Mehrebenenschema in Abb. 1 deutlich werden, zu schließen, ohne sich anheischig zu machen, dass die entsprechenden Modelle aufeinander reduziert werden könnten.

---

<sup>67</sup> Dies ist nicht-trivial: Die semantische Hülle kann dadurch zerstört werden, dass man bei einer Kommunikationssituation, in der Personen involviert sind, Eingang und Ausgang voneinander trennt. Ebenso kann die Bedeutung des Outputs nach einer gewissen Zeit verloren gehen, wenn man die Bindung zum Input „vergessen“ hat.

<sup>68</sup> Diese Bewegungen sind nicht holonome, nicht-integrale Bewegungsgesetze, deren Lösungen, also Bewegungen, lorentzinvariante Eigenschaften (z.B. Entropie) aufweisen. Vgl. Jumarie (1979).

Wissen und Information bleiben unterschiedliche, gleichwohl perspektivische Begriffe und sind in Hinsicht auf die verschiedenen Gegenstandsbereiche nur im Rahmen einer allgemeinen künftigen Strukturwissenschaft zu vereinheitlichen. Die Verwendung eines unklaren Informationsbegriffs in Technologie, Soziologie und Ökonomie hat ohne ein tieferes Verständnis dieser Wechselwirkung zwischen System und Pragmatischer Information lediglich metaphorischen Charakter. Der nachrichtentheoretische Informationsbegriff nach Shannon kann zwar als Spezialfall der Pragmatischen Information aufgefasst werden; dies gilt aber nur dann, wenn man dezidiert präparierte Systeme wie beispielweise Nachrichtenkanäle beschreibt.

Wenn wir besser verstanden haben, wie die Physik des Lesens und Schreibens funktioniert, was dem Steuern und Beobachten realer Konfigurationen z. B. in der Produktionstechnik oder der Organisation von Dienstleistungen entspricht, die wir systemtheoretisch beschreiben können, dann können wir vielleicht auch besser beurteilen, welche Methoden und Schritte sich digitalisieren, d.h. durch intelligente Steuerungen unterstützen oder sogar teilweise ersetzen lassen und vor allem welche nicht. Dabei sind vor allem Produktionsprozesse von Interesse, die nicht mehr durch unmittelbar physikalische, sondern zunehmend als symbolisch repräsentierte Prozesse gesteuert werden. Man denke nur an die Konzepte der digitalen Zwillinge, die algorithmisch realisierte Modelle der Prozesse in Echtzeit darstellen. Hier ist das Konzept „Industrie 4.0“ wohl erst der Anfang.

Bleibt anzumerken, dass die Qualität der Systembeschreibung, die ja ein Modell repräsentiert, ein notwendiges Kriterium für den Grad des Zutreffens der Aussagen über die Wirkung der Pragmatischen Information ist. Die Aussage, die aufgrund der Pragmatischen Information verstanden wurde, ist dann pragmatisch wahr, wenn der Empfänger der Information im Sinne des Senders adäquat reagiert. Diese Adäquatheit zwischen Intention des Senders und Reaktion des Empfängers garantiert selbstverständlich keine Wahrheit im Sinne einer *adequatio mentes et rei* (Thomas von Aquin 1986 [13. Jh.]).

## Literatur

- Artmann, Stefan (2010): *Historische Epistemologie der Strukturwissenschaften*. Pfullingen: Fink.
- Atmanspacher, Harald/Kurths, Jürgen/Scheingraber, Herbert/Wackerbauer, Renate/Witt, Annette (1992): „Complexity and Meaning in Nonlinear Dynamic Systems“. *Open Systems & Information Dynamics* 1, 269–289.
- Bar-Hillel, Yehoshua/Carnap, Rudolf (1953): „Semantic Information“. *Brit. J. Phil. Science* 4, 144–157.
- Barth, Christian/Demmerling, Christoph/Neuser, Wolfgang, Wild, Markus (2015): „Der Begriff ‚Begriff‘“. *Information Philosophie* 3, 42–53. Auch in: <https://www.information-philosophie.de/?a=1&t=8321&n=2&y=1&c=60>.
- Bertalanffy, Karl L. von (1973): *General System Theory*. Harmondsworth (U.K.): Penguin Books. (gleiche Paginierung wie die Ausgabe von 1968).
- Büchel, Wolfgang (1965): *Philosophische Probleme der Physik*. Freiburg: Herder Verlag.
- Capurro, Rafael (1978): *Information*. München: Saur.
- Capurro, Rafael (1996): „On the Genealogy of Information“. *Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept*, ed. by Klaus Kornwachs/Konstantin Jacoby. Berlin: Akademie, 259–270.
- Chaitin, Gregory J. (1974): „Information Theoretic Computational Complexity“. *IEEE Trans. Information Theory* 20, 10–15.
- Chomsky, Noam (1965): *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, Mass. Deutsch: *Aspekte der Syntax-Theorie*. Frankfurt: Suhrkamp, sowie weitere Aufl.

- Descartes, René (1977 [1641]): *Meditationes de prima philosophia*. Hrsg. H. G. Zekl, Lat.-Dt., Hamburg: Meiner.
- Eigen, Manfred (1972): „Molekulare Selbstorganisation und Evolution“. *Informatik. Nova Acta Leopoldina*, hrsg. von Joachim-Hermann Scharf. Neue Folge Band 37/1, Nr. 206, Leipzig: Barth, 171–223.
- Eigen, Manfred/Schuster, Peter (1979): *The Hypercycle*. Berlin: Springer.
- Enz, Charles P. (1979): „Beschreibung nichtkonservativer nichtlinearer Systeme“. *Physik in unserer Zeit* 10/1, 119 - 126, 141–144.
- Fenzel, Norbert/Fleissner, Peter/Hofkirchner, Wolfgang/Jahn, Robert/Stockinger, Gottfried (1996): „On the Genesis of Information Structures: A View that is Neither Reductionistic Nor Holistic“. *Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept*, ed. by Klaus Kornwachs/Konstantin Jacoby. Berlin: Akademie Verlag, 271–283.
- Filk, Thomas/Römer, Hartmann (2011): „Generalized Quantum Theory: Overview and latest developments“. *Axiomathes* 21, 211–220.
- Fuchs, Christian/Hofkirchner, Wolfgang (2002): „Ein einheitlicher Informationsbegriff für eine einheitliche Informationswissenschaft“. *Stufen zur Informationsgesellschaft. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*, hrsg. von Christiane Floyd/ Christian Fuchs/ Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt u.a.: Peter Lang, 241–281.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1997): „Information – Neither Matter nor Mind – on the Essence and on the Evolutionary Stage Conception of Information“. *World Futures* 50, 551–570.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1998): „Information und Biologie: Informationsentstehung–eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie“. *Biochemie – ein Katalysator der Biowissenschaften*. Kolloquium der Leibniz-Sozietät am 20. November 1997 anlässlich des 85. Geburtstages von Samuel Mitja Rapoport. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät*. Berlin: trafo-Verlag 22/3, 5–17.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (2017): „Zur Entstehung und Erhaltung von Information in lebendiger Organisation – Grundkategorien einer Theorie der Biologie und der Informatik“. *Leibniz Online* 30, 1–24.
- Gäng, Peter (1967): „Pragmatische Informationen“. *Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft* 8, 77–90.
- Gernert, Dieter (2004): „Formal treatment of systems with a hidden organizing structure, with possible applications to physics“. *International Journal of Computing Anticipatory Systems* 16, 114–124.
- Gernert, Dieter (2006): „Pragmatic Information: Historical Exposition and General Overview“. *Mind & Matter* Vol. 4/2, 141–167.
- Gernert, Dieter (2011): „Distance and Similarity in Generalised Quantum Theory“. *Axiomathes* 21, 303–313.
- Graben, Peter beim (2006): „Pragmatic Information in Dynamic Semantics“. *Mind & Matter* 4/2, 169–193.
- Gupta, Madhu S. (1982): „Fluctuations and Dissipation in an Elementary One-Bit Information Storage System“. *Int. J. of Theoretical Physics* 21, 275–282.
- Hägele, Peter C. (1998): „Strukturbildung, Evolution und die Hauptsätze der Thermodynamik“. *Zur Diskussion um Schöpfung und Evolution. Gesichtspunkte und Materialien zum Gespräch*, hrsg. von Edith Gutsche/Peter C. Hägele/ Hermann Hafner. 4. Auflage. Marburg: Studentenmission in Deutschland, 251–308.
- Hägele, Peter C. (2004): *Was hat Entropie mit Information zu tun?* Vortragsmanuskript, Universität Ulm.
- Haken, Hermann (1978): *Synergetics. An Introduction*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.

- Haken, Hermann (1988): *Information and Self-Organization*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Hartley, R. V. L. (1928): „Transmission of Information“. *Bell. Syst. Techn. Journal* 7/3, 535–563.
- Ising, Hartmut (2018): *Information and Energy*. [https://www.researchgate.net/publication/347750309\\_Information\\_and\\_Energy](https://www.researchgate.net/publication/347750309_Information_and_Energy); [https://figshare.com/articles/dataset/Information\\_and\\_energy\\_pdf/2115400/7](https://figshare.com/articles/dataset/Information_and_energy_pdf/2115400/7); DOI:10.6084/m9.figshare.2115400.v7
- Jaynes, Edwin Thompson (1957): „Information Theory and Statistical Mechanics“. *The Physical Review* 106/4, 620–630.
- Jumarie, Guy (1979): „The Concept of Structural Entropy and its Application to General Systems“. *Int. J. General Systems* 5, 99–120.
- Kant, Immanuel (1956 [1781/1787]): *Kritik der Reinen Vernunft*. Hamburg: Meiner.
- Kant, Immanuel (1996 [1785]): „Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaften“. Königsberg 1785. In: *Werkausgabe, hrsg. von W. Weischedel, Bd. IX: Schriften zur Naturphilosophie*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 9–135.
- Klaus, Georg (1972): *Kybernetik und Erkenntnistheorie*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Klir, George J. (1969): *An Approach to General System Theory*. New York: Van Nostrand.
- Klir, George J. (1985): *Architecture of Systems Problem Solving*. New York, London: Plenum Press.
- Klix, Friedrich (1973): *Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der Informationsverarbeitung*. Berlin: Akademie Verlag der Wissenschaften.
- Kolmogoroff, Andrej N. (1967): „Theorie der Nachrichtenübermittlung“. *Mathematische Forschungsberichte* 4, 91–116.
- Kornwachs, Klaus (1987): *Offene Systeme und die Frage nach der Information*. Habilitationsschrift, Universität Stuttgart.
- Kornwachs, Klaus (1989): „Self-Reference and Information“. *The Paradigm of Self-Organization*, ed. by Gerhard Dalenport. Amsterdam: Gordon & Breach, 309–321.
- Kornwachs, Klaus (1992): „Information und der Begriff der Wirkung“. *Informatik-Fachberichte* 306, 46–56.
- Kornwachs, Klaus (1996): „Pragmatic Information and System Surface“. *Information - New Questions to a Multidisciplinary Concept*, ed. by Klaus Kornwachs/Konstantin Jacoby. Berlin: Akademie-Verlag, 163–185.
- Kornwachs, Klaus (1998): „Pragmatic information and the emergence of meaning“. *Evolutionary Systems. Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization*, ed. by Gertrudis van de Vijver/Stanley N. Salthe/Manuela Delpo. Dordrecht: Kluwer, 181–196.
- Kornwachs, Klaus (2000): „Data – Information – Knowledge – a Trial for Technological Enlightenment“. *Science, Technology, Society (Veda, Technika, Společnost)* IX (XXII)/1, 5–27.
- Kornwachs, Klaus (2007): „Pragmatic Information and the Generation of Knowledge“. *Interdisciplinary Approaches to a New Understanding of Cognition and Consciousness*, ed. by Valentin Braitenberg/Radermacher, Franz J. (Villa Vigoni Conference 1997). Ulm: Universitätsverlag Ulm, 73–114.
- Kornwachs, Klaus (2013): „System Surface: There Is Never Just Only One Structure“. *Evolution of Semantic Systems*, ed. by Bernd-Olaf Küppers/Udo Hahn/Stefan Artmann. Vol 1., G. Frege Center for Structural Science. Heidelberg u.a.: Springer, 31–65.
- Kornwachs, Klaus (2016): *Arbeit – Netz – Identität*. Berlin, Münster: Lit, 33–45.

- Kornwachs, Klaus/Lucadou Walter von (1982): „Pragmatic Information and Nonclassical Systems“. *Cybernetics and Systems Research*, ed. by Robert Trappl. Amsterdam: North-Holland, 191–197.
- Kornwachs, Klaus/Lucadou, Walter von (1984): „Komplexe Systeme“. *Offenheit – Zeitlichkeit – Komplexität*, hrsg. von Klaus Kornwachs. Frankfurt, New York: Campus, 110 – 165.
- Kullback, Solomon (1956): „An Application of Information Theory to Multivariate Analysis“. *Ann. Math. Statistics* 27, 122–146.
- Kullback, Solomon (1959): *Information Theory and Statistics*. New York: Wiley Interscience.
- Kullback, Solomon/Liebler, Richard (1951): „On Information and Sufficiency“. *Annales for Mathematical Statistics* 22, 79–86.
- Küppers, Bernd-Olaf (2012): *Die Berechenbarkeit der Welt*. Stuttgart: Hirzel.
- Lucadou, Walter von/Kornwachs, Klaus (1983): „The Problem of Reductionism from a System theoretical Viewpoint - How to link physics and psychology“. *Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie* XIV/2 (1983), 338–349.
- Luhmann, Niclas (1984): *Soziale Systeme*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Lyre, Holger (2002): *Informationstheorie. Eine philosophisch-naturwissenschaftliche Einführung*. UTB 2289. München: Fink.
- Mesarovic, Mihajlo D. (1972): „A Mathematical Theory of General Systems“. *Trends in General System Theory*, ed. by George Klir. New York, London, Sydney, Toronto: Wiley-Interscience, 251–269.
- Montague, Richard (1974): „English as a Formal Language“. *Formal Philosophy. Selected Papers of Richard Montague*, ed. by Richmond H. Thomason. New Haven and London: Yale University Press, 188–221.
- Neumann, John von (1951): „The General and Logical Theory of Automata“. *Cerebral Mechanism in Behavior*, ed. by Lloyd A. Jeffress. New York: Wiley. Dt.: „Allgemeine und logische Theorie der Automaten“. Übersetzt von D. Krönig. *Kursbuch* 8, März 1967, 139–192.
- Oller, John W. (2011): „Pragmatic Information“. *Biological Information: New Perspectives*, ed. by Marks, Robert J./Behe, Michael J./Dembski, William A./Gordon, Bruce L./Stanford, John C. Singapore: World Scientific, 64–86. [http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789814508728\\_0003](http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789814508728_0003).
- Ott, Sascha (2004): *Information – Zur Genese und Anwendung eines Begriffs*. Konstanz: UVK.
- Padulo, Louis/Arbib, Michael A. (1974): *System Theory. A Unified State-Space Approach to Continuous and Discrete Systems*. Washington: Hemisphere Publications.
- Palm, Günter (1981): *Neural Assemblies*. Heidelberg, New York: Springer.
- Pattee, Howard H. (1977): „Dynamic and Linguistic Modes of Complex Systems“. *Int. J. General Systems* 3, 259–266.
- Pattee, Howard H (1980): „Clues from Molecular Systems“. *Signed and Spoken Language: Biological Constraints in Linguistic Form*, ed. by Ursula Bellugi/Michael Studdert-Kennedy. Dahlem-Konferenzen. Weinheim: Verlag Chemie, 261–273.
- Pattee, Howard H. (1982): „Cell Psychology: An Evolutionary Approach to the Symbol-Matter Problem“. *Cognition and Brain Research* 5/4, 325–341.
- Platon (1990): „Parmenides“. *Platon: Werke*, Übersetzung von Friedrich Schleiermacher, dt.-gr. Ausgabe von Gunther Eigler; Bd. 5. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 195–319.
- Prigogine, Ilya (1972): „Structure, Entropy and Quantum Theory“. *Informatik. Nova Acta Leopoldina* Nr. 206, Bd. 37/1. Leipzig 1972.
- Prigogine, Ilya (1979): *Vom Sein zum Werden*. München: Piper.



- Radermacher, Franz-Josef (2007): „Bewusstsein aus systemtheoretischer Sicht (Consciousness and Hierarchy)“. *Interdisciplinary Approaches to a New Understanding of Cognition and Consciousness*, ed. by Valentin Braitenberg/ Franz-Josef Radermacher. Vigoni Conference 1997. Ulm: Universitätsverlag Ulm.
- Rényi, Alfréd (1960): *On Measures of Entropy and Information. Proceedings of the 4th Berkeley Symp. on Math. Stat. and Probability*. Berkeley: University of California Press, 547–569.
- Roederer, Juan G. (2016): „Pragmatic Information in Biology and Physics“. *Phil. Trans. R. Soc. A*.3742015015220150152 <http://doi.org/10.1098/rsta.2015.0152>.
- Röhrlé, Erich A. (2001): *Komplementarität und Erkenntnis*. Münster: Lit.
- Römer, Hartmann (2020): Physikalismus. In: *Zeitschrift für Anomalistik* 20/3, 240 – 277.
- Rothstein, Jerome (1982): „Physics of Selective Systems: Computation and Biology“. *Int. J. Theor. Physics* 21/3-4, 327 – 350.
- Schweitzer, Frank (1999): Structural and Functional Information. – An Evolutionary Approach to Pragmatic Information. In: Hofkirchner, Wolfgang (ed.): *The Question for a Unified Theory of Information*. Amsterdam: Gordon & Brach, 215 – 330.
- Shafer, Glenn (1976): *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton: Princeton University Press.
- Shannon Claude Elwood/Weaver, Warren (1949): *The mathematical theory of communication*. Champaign, IL: University of Illinois Press.
- Shannon Claude Elwood/Weaver, Warren (1949/1969): *The Mathematical Theory of Communication*. Chicago, London: Urbana. Deutsch: *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*. München: R. Oldenbourg 1976.
- Sommerfeld, Erdmute (2014): „Strukturelle Information: Repräsentation, Interpretation und Reduktion“. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät* 118, 91–104; [https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2014/02/10\\_sommerfeld.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2014/02/10_sommerfeld.pdf).
- Stachowiak, Herbert (1969): *Denken und Erkennen im kybernetischen Modell*. Wien, New York: Springer Verlag.
- Starke, Peter H. (1969): *Abstrakte Automaten*. Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Steinbuch, Karl (1961): „Die Lernmatrix“. *Kybernetik* 1/1, 36 – 45.
- Thiele, Hans (1972): „Einige Bemerkungen zur Weiterentwicklung der Informationstheorie“. *Informatik. Nova Acta Leopoldina*, hrsg. von Joachim-Hermann Scharf. Neue Folge Band 37/1, Nr. 206, Leipzig: Barth, 473–502.
- Thomas von Aquin (1986): *De Veritate* (Von der Wahrheit). Lat. Text. In: <https://www.corpusthomisticum.org/qdv01.html>, Übersetzung in: Thomas von Aquin, *Von der Wahrheit* (Quaestio I), lat.-dt., ausgew., übers. und hrsg. von Albert Zimmermann, Philosophische Bibliothek, Bd. 384. Hamburg: Meiner.
- Turing, M. Allan (1937): „On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem“. *Proc. London Mathematical Society* 42/2, 230–265.
- Vollmer, Gerhard (1975): *Evolutionäre Erkenntnistheorie. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Stuttgart: S. Hirzel.
- Völz, Horst (1983): *Information I. Studie zur Vielfalt und Einheit der Information. Theorie und Anwendung vor allem in der Technik*. Bd. II *Ergänzungsband zur Vielfalt und Einheit der Information. Theorie und Anwendung vor allem in der Biologie, Medizin und Semantik*. Berlin: Akademie Verlag.
- Völz, Horst (1996): „Meaning outline of the Term Information“. *Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept*, ed. by Klaus Kornwachs/ Konstantin Jacoby. Berlin: Akademie Verlag, 19–39.

- Weinberger, Edward D. (2001): „A Theory of Pragmatic Information and Its Application to the Quasispecies Model of Biological Evolution“. *Bio Systems* 66/3, 105–119  
DOI:10.1016/S0303-2647(02)00038-2
- Weizsäcker, Carl Friedrich von (1971): *Die Einheit der Natur*. München: Hanser.
- Weizsäcker, Carl Friedrich von (1972): Evolution und Entropiewachstum. *Informatik. Nova Acta Leopoldina*, hrsg. von Joachim-Hermann Scharf. Neue Folge Band 37/1, Nr. 206, Leipzig: Barth, 515–530.
- Weizsäcker, Carl Friedrich von (1974): „Evolution und Entropiewachstum“. *Offene Systeme I. Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution*, hrsg. von Ernst U. v. Weizsäcker. Stuttgart: Klett, 200–221.
- Weizsäcker, Christine/Weizsäcker, Ernst U. von (1984): „Fehlerfreundlichkeit“. *Offenheit – Zeitlichkeit – Komplexität. Zur Theorie der Offenen Systeme*, hrsg. von Klaus Kornwachs. Frankfurt a.M., New York: Campus, 167–201.
- Weizsäcker, Ernst U. von (1972): „Unterschiede zwischen genetischer und Shannon’scher Information“. *Philosophische und ethische Probleme der modernen Genetik*, hrsg. von Erhard Geissler/Hermann Ley. Kühlungsborner Kolloquium. Berlin: De Gruyter, II, 160–167.
- Weizsäcker, Ernst U. von (1974): „Erstmaligkeit und Bestätigung als Komponenten der pragmatischen Information“. *Offene Systeme I*, hrsg. von Ernst U. von Weizsäcker. Stuttgart: Klett, 82–113.
- Weizsäcker, Ernst U. von/Weizsäcker, Christine von (1972): „Wiederaufnahme der begrifflichen Frage: Was ist Information?“, *Informatik. Nova Acta Leopoldina*, hrsg. von Joachim-Hermann Scharf. Neue Folge Band 37/1, Nr. 206, Leipzig: Barth, 535–556.
- Wendt, Siegfried (1989): *Nichtphysikalische Grundlagen der Informationstechnik*. Heidelberg u.a.: Springer.
- Zemanek, Heinz (1959): *Elementare Informationstheorie*. München, Wien: Oldenbourg.
- Zoglauer, Thomas (1996): „Can Information be naturalized?“, *Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept*, ed. by Klaus Kornwachs/ Konstantin Jacoby. Berlin: Akademie Verlag, 187–207.
- Zorn, Werner (2005): „Über den unscharfen Gebrauch von Grundbegriffen in der Informatik“. *Proceedings der „19 DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze“ vom 18–20.05. 2005 in Düsseldorf*, hrsg. von Jan von Knop, Wilhelm Haverkamp, Eike Jessen. Reihe Lecture Notes in Informatics, GI- Edition. Bonn: Gesellschaft für Informatik, 13–37.
- Zorn, Werner (2015): *Von der Nützlichkeit verständlicher Begriffsdefinitionen am Beispiel „Information“*. Vortrag im Rahmen der Tagung „Informatik und Gesellschaft 2015“ zu Ehren und aus Anlass des 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin & Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin. 30.–31.03. 2015, Berlin.