

WAS IST INFORMATION?

Rudolf J. Lauber
Universität Stuttgart

Abstract

Lauber R.J. What is Information? The concept "Information" in our information society.

Zusammenfassung: Nach einer einleitenden Darstellung der zentralen Bedeutung des Informationsbegriffs in unserer heutigen Informations-Gesellschaft werden verschiedene Versuche beschrieben, den Begriff „Information“ zu definieren. Anschließend wird auf die sog. Informationstheorie nach Shannon eingegangen, die aber eigentlich nur eine Theorie der Zeichenübertragung darstellt. On examples essential expression were explained: information is zwar stets an einen physikalischen Träger gekoppelt, sie ist aber unabhängig von diesem Träger und damit ein nicht-physikalisches Phänomen. Es wird gezeigt, dass bei technischen Informationssystemen der Entwurf und die Realisierung zu unterscheiden sind. Diese Betrachtungsweise wird dann auch auf biologische Informationssysteme übertragen. Schließlich wird die Dualität- „physikalischer Informationsträger - nicht-physikalische Information“ in Beziehung gebracht zu der in der Philosophie seit Aristoteles diskutierten Dualität des sog. „Leib-Seele-Problems“, in der heutigen Philosophie auch als „Geist-Gehirn- Problem“ bezeichnet. Abschließend wird die Frage angeschnitten, ob und in welchen Bereichen es eine Informationsübertragung ohne physikalischen Träger gibt.

1. Einführung

Die Frage „Was ist Information?“ scheint auf den ersten Blick einfach beantwortbar zu sein. Information - das ist Nachricht, Mitteilung, Unterrichtung, Auskunft. Hinter scheinbar einfachen Fragen verbergen sich jedoch oft sehr komplexe Sachverhalte. Man denke nur an Fragen wie: „Was ist Materie?“, „Was ist Leben?“. Im Folgenden wird deutlich werden, dass auch die Frage „Was ist Information?“ nicht so einfach beantwortet werden kann.

In unserer heutigen Lebenswelt ist der Begriff „Information“ allgegenwärtig:

- Wir leben im 21. Jahrhundert im sog. Informations-Zeitalter.
- Unsere von modernen Medien geprägte Gesellschaft wird als Informations-Gesellschaft bezeichnet.
- Mit dem Internet wird Information weltweit verfügbar.
- Der Siegeszug des Computers, der zunehmend alle Lebensbereiche durchdringt, ist begründet in seiner Fähigkeit, Information zu speichern und zu verarbeiten.
- An allen Universitäten gibt es jetzt Fakultäten für Informatik (verstanden als die Lehre von der Informations-Verarbeitung) bzw. für Informations-Technik.-
- In der Wirtschaft wird die Information vielfach als ein wichtiger Produktionsfaktor gesehen.

- In ihrer Soziologie wird der Austausch von Information als Voraussetzung für soziales Handeln bezeichnet.
- In der Politik wird die Freiheit der Information, d. h. der ungehinderte Zugang zu Informationsquellen als eine Grundvoraussetzung der Demokratie gesehen.

Über den Bereich der menschlichen Lebens- und Arbeitswelt hinaus wird zunehmend festgestellt, dass auch in der Biologie dem Begriff der Information eine zentrale Bedeutung zukommt:

- Biologische Ordnung und Planmäßigkeit sind informations-gesteuert.
- Problem der Lebensentstehung wird als Problem der Entstehung biologischer Organisation aufgefasst [Küppers 86, Eigen 76].
- Kürzlich wurde gemeldet, dass das menschliche Genom nun vollständig entschlüsselt sei. Es geht um die Kenntnis darüber, welche Erb-Information in den Zellen gespeichert ist.

In diesem eigenartigen Gegensatz zu dieser wahrlich überragenden und universellen Wichtigkeit der Information steht die Tatsache, dass seine genaue Bedeutung eher vage und unbestimmt bleibt. Dies kommt z. B. in der berühmt gewordenen Feststellung von Norbert Wiener zum Ausdruck:

„ Information ist Information, weder Materie noch Energie “.

Aus dieser Aussage wird vielfach der Schluss gezogen, dass Information - neben Materie und Energie - sozusagen eine dritte „Elementar-Größe“ sei. Ob diese Schlussfolgerung nun richtig ist oder nicht - richtig ist sicherlich die Folgerung aus der Wiener'schen Aussage:

Information ist etwas Nicht-Physikalisches!

Shannon führt in seinem Buch [Zemanek 92] diese Erkenntnis noch weiter aus, wenn er schreibt:

„ Information ist etwas ganz anderes als eine physikalische Größe. Information lässt sich nicht auf Axiome zurückführen. Information gehört überhaupt nicht zu den Dingen, die sich mit dem Galilei-Prinzip des Beobachtens und Experimentierens, des Messens und Systematisierens erfassen lassen. Messungen kann man nur an den Trägern der Information vornehmen, an den Zeichen, an den Buchstaben und Wörtern, an den Lauten und Bewegungen - die eigentliche Information kommt durch kein Messverfahren in den Griff. Sie schwebt wie eine Wolke über den Zeichen. Information ist ein trans-galileisches Phänomen“.

Im Folgenden werden zunächst verschiedene Versuche behandelt, den Begriff der Information zu präzisieren, d. h. im wörtlichen Sinn „abzugrenzen“ und dadurch zu erklären. Dann wird die sog. Informationstheorie nach Shannon eingegangen, die aber eigentlich nur eine Theorie der Zeichenübertragung (und nicht die Theorie der Information) ist. Anschließend werden Beispiele gezeigt, dass die Zeichen (und damit die Information) zwar stets auf physikalischen Trägern gekoppelt sind, dass die Information aber unabhängig von diesen Trägern ein nicht-physikalisches Phänomen darstellt.

Bei der Betrachtung technischer Informationssysteme an. Dabei werden die wichtigsten Feststellungen getroffen, dass einem realisierten Informationssystem stets ein physikalisches Fundament zugrunde liegt und dass eine Übertragung von Information von einer

Informationsquelle zu einer Informationssenke nur möglich ist, wenn der von der Informationsquelle verwandte Code - also die Bedeutung der Zeichen - auch der Informationssenke bekannt ist.

Überträgt man diese Betrachtungsweise jedoch auf biologische Informationssysteme, so erscheinen diese Feststellungen keineswegs mehr trivial zu sein.

Schließlich wird die grundlegende Dualität „physikalischer Informationsträger - nicht-physikalische Information -“ mit der in der Philosophie bekannten Dualität beim sog. „Leib-Seele-Problem“ verglichen. Hierbei werden die verschiedenen philosophischen Richtungen aufgezeigt und eine neue Betrachtungsweise unter Einbeziehung der Information vorgeschlagen.

Abschließend wird die Frage aufgeworfen, ob es eine Informations-Übertragung auch ohne physikalischen Träger gibt. Es wird auf die Tatsache hingewiesen, dass die Annahme einer solchen Träger-losen Informationsübertragung allen Religionen zugrunde liegt.

2. Definitionsversuche

In dem sehr lesenswerten Büchlein [Bartels 96] wird erläutert, dass der Begriff „Information“ zurückgeht auf das altgriechische Wort „entyposis“, das von Cicero in das lateinische Wort „informatio“ übersetzt wurde, und zwar in der Bedeutung „Einformung, Einprägung, Gestaltung“ (z. B. bei der Prägung von Münzen oder beim Behauen eines Marmorblocks).

Bei der heutigen Verwendung des Begriffs „Information“ lassen sich zwei Bedeutungen unterscheiden:

Unterrichtung, Benachrichtigung, Aufklärung

Nachricht, Mitteilung.

Die erste Bedeutung beschreibt den Mitteilungsprozess, die zweite den Inhalt dieses Prozesses, wobei in beiden Fällen ein zwischenmenschlicher Mitteilungsprozess vorausgesetzt ist. Bei [Capurro 87] wird darauf hingewiesen, dass der Begriff „Information“ besagt, dass die vermittelte Nachricht für den Empfänger Neuigkeitscharakter hat. Durch den Informationsprozess wirkt die Information auf das Vorwissen des Empfängers. Im gleichen Sinne wird auch bei [Ganzhorn 86] Information als Gradient des Wissens, als Wissenszuwachs eines Menschen verstanden. Außerdem wird dort betont, dass der Begriff „Information“ eine Vielfalt an Bedeutungen haben kann. So tritt Information auch als Äquivalent für Steuerung in Erscheinung, wie z. B. bei einem gespeicherten Programm, das eine Steuerungsanweisung für eine Maschine darstellt.

Bei dem Versuch, den Begriff „Information“ zu definieren, kann es zweckmäßig sein, das Begriffs-Umfeld zu betrachten. In Bild 1 ist dieses Umfeld in Form eines Schichtenmodells dargestellt.

Auf der „physikalischen“ Schicht 1 ist der Begriff „Signale“ angegeben. Sie dienen im allg. als Informationsträger. Dabei kann es sich um elektrische oder mechanische Signale, um Signale der sog. Körpersprache, aber auch um elektro-chemische Signale einer Nervenbahn oder um Hormone in einem biologischen Organismus handeln.

Darüber ist die Schicht 2 der sog. „Daten“ gezeichnet. Darunter versteht man nach [Schneider 97] im engeren Sinne alles, was sich in einer für eine Datenverarbeitungsanlage erkennbaren Weise codieren lässt. In einem weiteren Sinne versteht man unter Daten elementare Mitteilungen. So stellen z. B. auch Rauchzeichen oder Zeichen der Taubstummensprache „Daten“ in diesem allgemeineren Sinne dar.

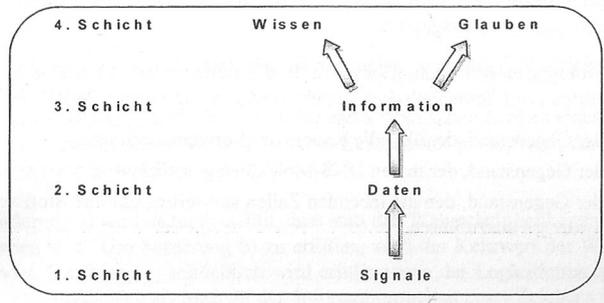


Bild 1: Definition des Begriffs-Umfelds an Hand eines Schichtenmodells

Als dritte Schicht ist in Bild 1 der Begriff „Information“ genannt, d. h. die Daten (bzw. Zeichen) der Schicht 2 dienen zur Darstellung von Information.

Schließlich sind auf der Schicht 4 die Begriffe „Wissen“ und „Glauben“ angegeben. Wissen wird in der Kognitionswissenschaft definiert als „beurteilte Information“. Wissen entsteht durch die Erkennung von Zusammenhängen zwischen Informationen. Es wird ein Gedankenmodell auf Grund von Information gebildet, z. B. in Form von Wenn-Dann-Schlussfolgerungen. Um aus Information mittels qualitativer Bewertungskriterien Wissen zu erlangen, ist Vorwissen erforderlich. Wissen erlangt nur, wer schon ein Wissender ist.

Aber auch der Begriff „Glauben“ baut auf Information auf. Er kann in diesem Umfeld als „beurteilte und als vertrauenswürdig erachtete Information“ gedeutet werden. Glauben bedeutet: Bildung eines Gedankenmodells auf Grund von Information über die Erfahrungen anderer, die als vertrauenswürdig angesehen werden, ohne dass diese Information nachprüfbar ist (z.B. historische Begebenheiten, religiöse Vorstellungen).

In dem Buch [Zemanek 92] wird der Begriff „Information“ mit zehn verschiedenen Einzel-Definitionen umschrieben:

1. Information ist der Gegenstand, der vom Computer verarbeitet wird.
2. Information ist, was das Wort In-formation ausdrückt (Form mit Bedeutung).
3. Information ist das Produkt, das uns unsere Sinnesorgane liefern.
4. Information ist der Gegenstand, den die Sprache ausdrückt.
5. Information ist der Gegenstand, der über die Kanäle der Nachrichtentechnik läuft.
6. Information ist der Gegenstand, der in Karteien, Dateien und Protokollen aufgezeichnet ist.

7. Information ist der Gegenstand, den man in Büchern, Filmen und auf CD's kauft.
8. Information ist der Gegenstand, der vom Geheimdienst gesammelt wird.
9. Information ist der Gegenstand, den man braucht, um einen Beruf auszuüben.
10. Information ist der Inhalt von Computerprogrammen (von Software).

Auch bei diesen zehn Aspekten des Begriffs „Information“ wird der Mensch als Informationsquelle bzw. Informationssenke vorausgesetzt.

Bezieht man auch biologische Informationsprozesse in die Betrachtung mit ein, so kommen zu den oben aufgeführten zehn Zemanek'schen Aspekten noch weitere hinzu, z. B.:

11. Information ist der Gegenstand, der über die Kanäle der Nervenbahnen läuft.
12. Information ist der Gegenstand, der in den DNS-Molekülen gespeichert ist.
13. Information ist der Gegenstand, den die lebenden Zellen auswerten, um ihre Stoffwechsel- und Regulationsprozesse auszuführen.

3. Die Shannon'sche „Informationstheorie“

Claude E. Shannon veröffentlichte 1948 einen Aufsatz mit dem Titel: „A mathematical theory of communication“ (wobei communication hier mit Nachrichtenübertragung zu übersetzen ist). Erst ab etwa 1950 wurde von anderen Autoren dann der Name „Information Theory“ verwendet - entgegen den Bedenken von Shannon. Ihm war klar, dass der neue Begriff irreführend ist, da die sog. „Informationstheorie“ nur einen begrenzten Aspekt der Information erfasst.

Gegenstand der Shannon'schen „Informationstheorie“ ist die Übertragung von Zeichen (Buchstaben, Symbole, Formen), mit denen Nachrichten dargestellt werden [Wendt 89]. Wie in Bild 2 gezeigt, wird dabei angenommen, dass N verschiedene Zeichen aus einem Zeichenvorrat $A = \{a_b, a_i, \dots, a_j\}$ von einer Nachrichtenquelle zu einer Nachrichtensenke übertragen werden.

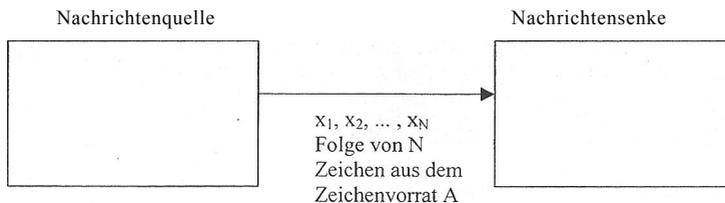


Bild 2: Übertragung von Zeichen von einer Nachrichtenquelle zu einer Nachrichtensenke

Bevor die Nachrichtenquelle ein Zeichen absendet, besteht eine Unsicherheit darüber, welches spezielle Zeichen aus dem verfügbaren Zeichenvorrat A abgegeben wird. Setzt man voraus, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der einzelnen Zeichen voneinander unabhängig ist und jedes der N Zeichen gleich wahrscheinlich ist, dann gilt:

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Zeichens X_j ist:

$$p_i = 1/N$$

Nach Shannon wird der „Informationsgehalt“ (der nicht mit dem semantischen Inhalt der Information verwechselt werden darf!) nun so definiert, dass drei Bedingungen erfüllt werden:

- Der Informationsgehalt mehrerer voneinander unabhängiger Zeichen soll sich durch Addition ergeben.
- Der Informationsgehalt soll mit abnehmender Wahrscheinlichkeit eines Zeichens steigen.
- Im Falle zweier gleich wahrscheinlicher Zeichen mit $p = 0,5$ soll der Informationsgehalt gerade 1 ergeben (1 Bit).

Die Forderung a) wird dadurch erfüllt, dass statt den Wahrscheinlichkeiten deren Logarithmus genommen wird. Um Forderung b) zu erfüllen, wird der Kehrwert der Wahrscheinlichkeiten verwendet. Forderung c) schließlich wird erfüllt, wenn der Logarithmus zur Basis 2 gewählt wird. Damit ergibt sich als Maß für den Informationsgehalt eines Zeichens x_i :

$$I(p_i) = \log_2 1/p_i = -\log_2 p_i > 0$$

Nach dieser Definition ist der Informationsgehalt eines einzelnen Zeichens ein Maß für die Unsicherheit vor seinem Empfang (der Informationsgehalt ist diejenige Unsicherheit, die durch das Erscheinen des betreffenden Zeichens beseitigt wird). Einer großen Überraschung wird also mehr Informationsgehalt zugeschrieben als einer gewissen Sicherheit des Auftretens.

Der Informationsgehalt einer beliebig langen Zeichenfolge mit N gleich wahrscheinlichen Zeichen ergibt sich aus:

$$I_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^N \log_2 1/p_i = -N \log_2 p_i$$

Der Informationsgehalt der Zeichenfolge ist der „Überraschungsgehalt“.

Im Falle von Buchstaben als Zeichen bedeutet dies: Für den Informationsgehalt nach Shannon ist es völlig ohne Belang, ob eine Buchstabenreihe einen sinnvollen Text darstellt oder nicht. So paradox es klingen mag: Eine Zufallsfolge von Buchstaben enthält sogar das Maximum des so definierten Informationsgehalts.

Das Wesentliche jeder Information ist jedoch nicht die Zahl, Art oder Häufigkeit der Buchstaben, sondern die in der Information enthaltene Bedeutung. Daher gilt: Die Shannon'sche Informationstheorie ist nicht die Theorie der Information!

Wie in dem in Bild 3 dargestellten Ebenenmodell gezeigt, beschränkt sich die Shannon'sche Informationstheorie auf die Betrachtung eines Teils des syntaktischen Aspekts einer Information. Der semantische Aspekt wird nicht berücksichtigt.

Der bekannte Informatiker Karl Steinbuch hat dies treffend mit der folgenden Feststellung ausgedrückt: „Die Informationstheorie nach Shannon ist vergleichbar einem, der ein Kilogramm Gold und ein Kilogramm Sand für gleichwertig hält.“

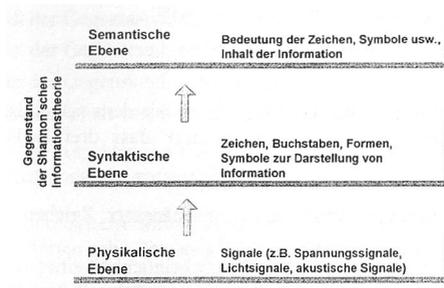


Bild 3: Der Gegenstand der Shannon'schen Informationstheorie ist die syntaktische Ebene des hier gezeigten Ebenenmodells

4. Die Information als nicht-physikalisches Phänomen

Ein wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit der Frage nach dem Wesen der Information ist die Tatsache, dass Information zwar weder Materie noch Energie ist, dass Information aber offenbar an die Materie oder die Energie eines physikalischen Informations-Trägers gebunden ist.

Dieser Aspekt soll nun anhand von zwei Beispielen veranschaulicht werden.

Als erstes Beispiel wählen wir die Informationsübermittlung bei einer Vorlesung. Wie in Bild 4 gezeigt, sei angenommen, dass der Dozent (in etwas altmodischer Weise) mit Kreide etwas an die Tafel zeichnet oder schreibt. Der Informationsträger ist dabei die Materie der Kreideteilchen auf der Tafeloberfläche. Über die Lichtwellen als energetischer Informationsträger gelangt die Information auf die Netzhaut der Augen und von dort über die elektro-chemischen Reaktionen der Netzhaut-Zellen und der Nervenbahnen als Informationsträger zur Großhirnrinde der Studenten.

Die Information ist also in diesem Beispiel nacheinander an verschiedene physikalische Träger gebunden (Kreide, elektro-magnetische Lichtwellen, elektro-chemische Reaktionen in der Netzhaut und auf den Nervenbahnen). Offensichtlich ist die übermittelte Information aber unabhängig von der Art dieser verschiedenen Träger.

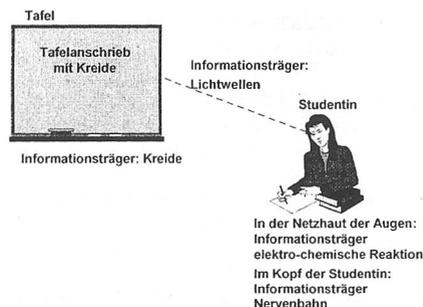


Bild 4: Informationsübermittlung über verschiedene Informationsträger bei einer Vorlesung

An einem zweiten Beispiel wird dies noch deutlicher. Wie in Bild 5 gezeigt, betrachten wir die Übermittlung eines vor etwa 2500 Jahren niedergeschriebenen Textes aus der Bibel an die Zuschauer bzw. Zuhörer eines im Fernsehen übertragenen Gottesdienstes. Der Verfasser der im Text ausgedrückten Information hat z. B. mit Tinte (als einem materiellen Informationsträger) auf ein Papyrus geschrieben. Diese gespeicherte Information gelangte nach langer Zeit über verschiedene Abschriften, Übersetzungen usw. (die hier nicht näher betrachtet werden) in die gedruckte Bibel, aus der ein Lektor im Gottesdienst vorliest. Über die Schallwellen als Träger kommt die Information zu einem Mikrofon, wo mechanische Schwingungen in elektrische Signale umgesetzt werden. Sie werden vom Fernsehsender als elektromagnetische Wellen ausgestrahlt, in einer Antenne aufgefangen, wieder in elektrische Signale umgesetzt und schließlich im Lautsprecher des Fernsehgeräts in Form von Schallwellen zum Zuhörer übertragen.

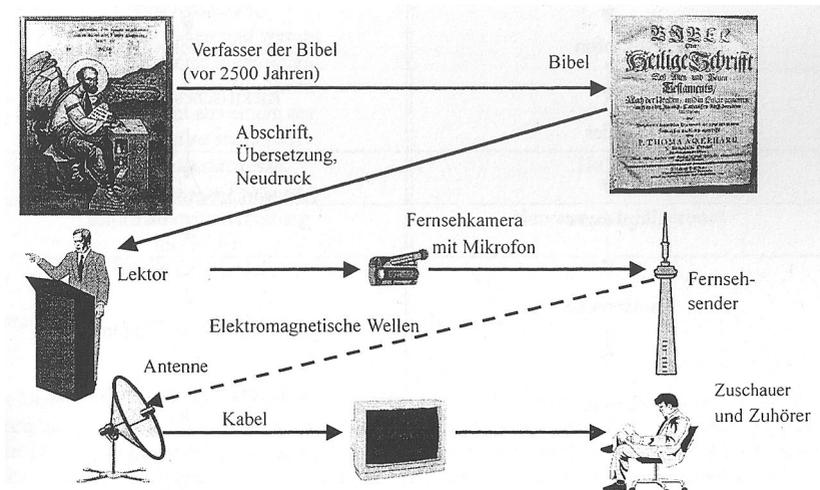


Bild 5: Informationsübermittlung eines vor 2500 geschriebenen Textes aus der Bibel an die Zuhörer eines im Fernsehen übertragenen Gottesdienstes

In Bild 6 sind die vielen verschiedenen Informationsträger angegeben, über die die Information in diesem Beispiel von der Informationsquelle (dem Verfasser des Textes der Bibel) zur Informationssenke (dem Zuhörer vor dem Fernsehgerät) übertragen wird. Auch an diesem Beispiel wird deutlich: Die Information kann nacheinander auf sehr unterschiedlichen Trägern übertragen werden, sie ist jedoch unabhängig davon, um welche physikalischen Träger es sich handelt'.

Auf die Möglichkeit, dass auf dem Weg von der Informationsquelle zur Informationssenke eine Störbeeinflussung des Informationsträgers und damit eine Verfälschung der Information erfolgen kann, wird hier nicht eingegangen.

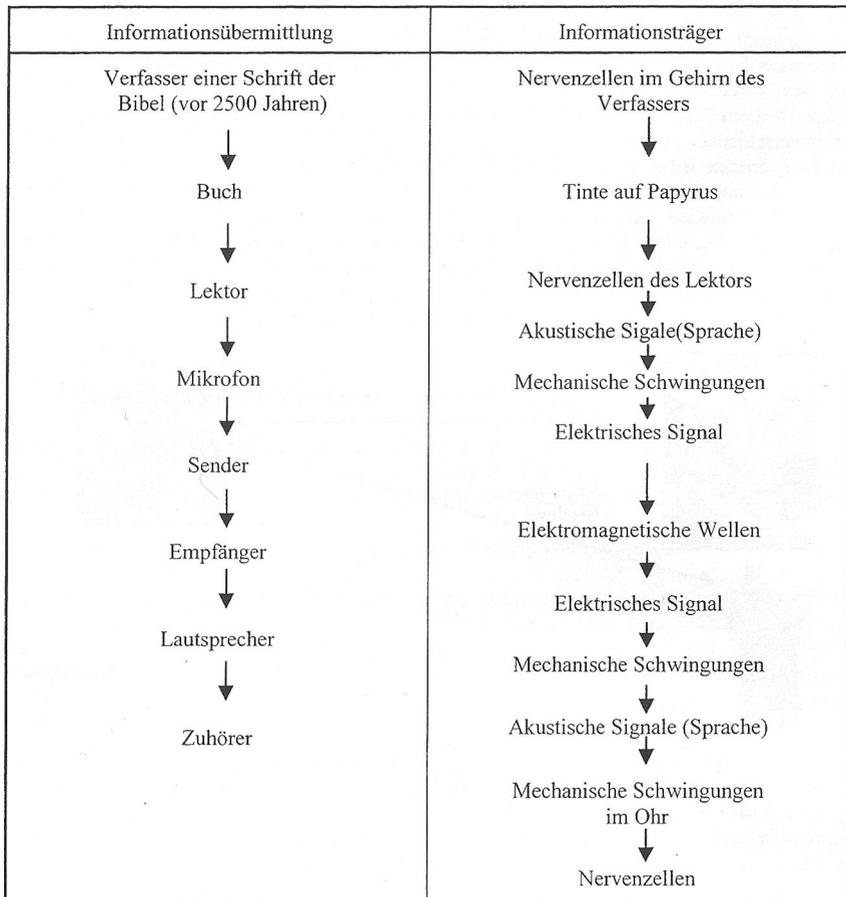


Bild 6: Übertragung von Information über viele verschiedene Informationsträger in dem in Bild 5 dargestellten Beispiel

Die bisher betrachteten Beispiele beziehen sich auf die von Menschen erzeugte bzw. aufgenommene Information. Wie oben bereits erläutert, wird auch in biologischen Systemen Information mit Hilfe physikalischer bzw. chemischer Informationsträger übertragen.

In Bild 7 sind verschiedene Beispiele genannt [Hassenstein 86]:

- Die genetische Information steuert die Entwicklung von der befruchteten Eizelle, z. B. eines Säugetieres, bis zum erwachsenen Organismus. Was dabei übertragen und vererbt wird, ist nichts Materielles - kein Atom eines Nachkommen braucht aus einem seiner

Vorfahren zu stammen - und nichts Energetisches, obwohl auch Energie für den Fortpflanzungsvorgang unentbehrlich ist.

- Wachstumsprozesse und physiologische Prozesse innerhalb eines Organismus werden mit Hormonen als Informationsträger gesteuert.
- Bei der Informationsübertragung und -Verarbeitung über Nervenzellen dienen bioelektrische Signale als Informationsträger.

Informationsübermittlung	Informationsträger
<p>Eizelle eines Säugetiers</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Nachkommen (was übertragen und vererbt wird, ist nichts materielles. Kein Atom eines Nachkommen braucht aus einem der Vorfahren zu stammen)</p>	<p>DNA, Code-Wörter aus Nucleotiden</p>
<p>Wachstumsprozesse, physiologische Prozesse</p>	<p>Hormone</p>
<p>Informationsverarbeitung im Gehirn</p>	<p>Nervenzellen (Neurone)</p>

Bild 7: Übertragung von Information in Lebewesen

Besonders eindrucksvoll ist das immaterielle Prinzip der Informationsübertragung bei der Fortpflanzung: Die genetische Information ist in einer bestimmten Art von Zellmolekülen, den Desoxyribonucleinsäuren, kurz DNS-Moleküle genannt, gespeichert. Diese Makromoleküle sind aus kleineren Moleküleinheiten, den sog. Nucleotiden, zusammengesetzt. Sie wirken wie die Schriftsymbole einer Sprache. Das Alphabet dieser genetischen Sprache besteht aus nur vier verschiedenen Symbolen, die im allg. durch die Initialen ihrer chemischen Bezeichnung gekennzeichnet werden:

- A Adenosinphosphat
- T Thyminphosphat
- G Guanosinphosphat
- C Cytidinphosphat

Die Abfolge der Nucleotide A, T, G und C im DNS-Molekül verschlüsselt die gesamte Information für den Aufbau eines lebenden Organismus. Bild 8 zeigt als Beispiel einen Ausschnitt aus dem genetischen Bauplan eines Virus [Sanger 78].

```

....CGTCCTTACTTGTGCATGCGCTCTAATCTCTGGGCA
TCTGGCTATGATGTTGATGGAAGTACCAACGTCGTT
AGGCCAGTTTTCTGGTCGTGTTCAACAGACCTATAAAC
ATTCTGTGCCGCGTTTTCTTTGTTCCCTGAGCATGGCACT
ATGTTTACTCTTGCCTGTTGTTGTTTTCCGCCTACTGC
GACTAAAGAGATTAGTACCTAACGCTAAAGTGCTT
TGACTTATACCGATATTGCTGGCGACCCGTGTTTTGTAT
GGCAACTTGCCGCGCGTGAAATTTCTATGAAGG....

```

Bild 8: Ausschnitt aus der Information auf den DNS-Molekülen, mit denen der genetische Bauplan eines Virus beschrieben ist

Die in Buchstabenform verschlüsselte genetische Information lässt sich mit

```

A = 00
G = 01
C = 10
T = 11

```

in der in Bild 9 dargestellten üblichen Binärcodierung darstellen.

```

.....100111101011111100101111011110001101100110111011000011101110101010110
00111011010110110011010011011111010011010100001011010010100000001001111001
11110001011010000111111111011010111100110111110000010000100101011001100
00001000111010110111011010011001111111011111011111010110100011000110101
100010110011011111100101110111011001101111011111001111111101001101011
0010110110010010110000000100010011110000111001010111100001001101100000001
01110110111111010010111100110010100100110011110110110101100100101010110111
1111101110011010110000010111101101001101001100111010000001111111011001101
0000101....

```

Bild 9: Ausschnitt aus dem genetischen Bauplan nach Bild 8 in Binärcodierung

5. Informationssysteme

Ein System, in welchem Information erfasst, übertragen, gespeichert, verarbeitet und weitergegeben wird, sei als Informationssystem¹ bezeichnet. Beispiele für Informationssysteme in dieser sehr weit gefassten Definition sind:

- Datenverarbeitungssysteme
- Automatisierungssysteme
- Regelungssysteme
- Biologische Systeme (Lebewesen).

Bild 10 zeigt als Beispiel ein technisches Informationssystem, dessen Komponenten zur Infor-

¹ In der Literatur wird der Begriff „Informationssystem“ sehr uneinheitlich verwendet [Schneider 97].

mations-Eingabe, -Übertragung, -Speicherung, -Verarbeitung und -Ausgabe in Bild 11 in Form eines Blockbildes dargestellt sind.

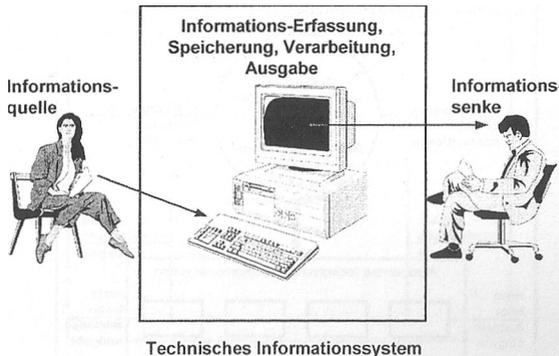


Bild 10: Technisches Informationssystem (z. B. Computersystem)

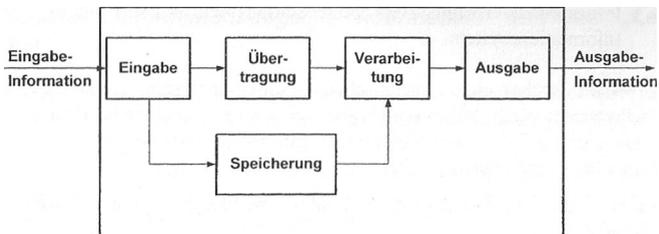


Bild 11: Komponenten eines technischen Informationssystems

In Bild 11 ist angenommen, dass am Ausgang des Informationssystems wieder eine Information erscheint (wie es ja z. B. bei dem in Bild 10 gezeigten Computersystem der Fall ist). Bei manchen Informationssystemen, insbesondere bei Automatisierungssystemen, geht es jedoch um die Steuerung energetischer Prozesse durch Information. In diesem Fall stellt sich die interessante Frage: Wie kann die nicht-physikalische Information physikalische Wirkungen erzeugen?

Wie bei [Oppelt 84] gezeigt, wird diese Aufgabe mit Hilfe sog. Aktoren gelöst, deren Anregung durch den (physikalischen) Informationsträger erfolgt. Beispiele für technische Aktoren sind: Relais, Thyristoren usw. In biologischen Systemen stellen die Muskeln die Aktoren dar, die durch die Informationsträger auf den Nervenbahnen angeregt werden.

Ein anderer Gesichtspunkt ist in Bild 12 veranschaulicht: Ein technisches Informationssystem wird stets von intelligenten und kreativen Menschen - den Entwicklern - ausgedacht und entworfen. Beim Entwurf müssen Annahmen über die zu erwartenden Eingabe-Informationen und die erforderlichen Ausgabe-Informationen getroffen werden. Bei der Übertragung von codierten Zeichen von einer Informationsquelle zu einer Informationssenke muss beim I il-

wurf dafür gesorgt werden, dass der bei der Quelle verwendete Code von der Senke „verstanden“ wird, um eine Deodierung zu ermöglichen.

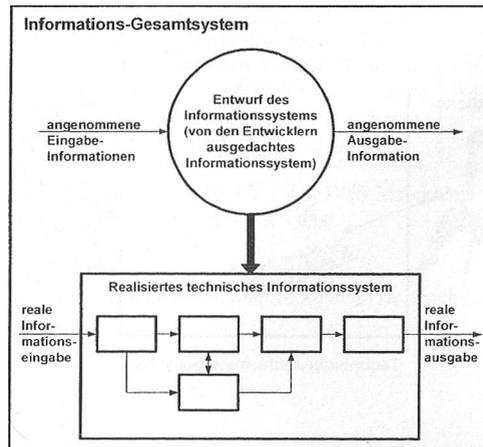


Bild 12: Informations-Gesamtsystem, bestehend aus dem Entwurf und dem realisierten Informationssystem.

Dieser Sachverhalt ist bei einem technischen Informationssystem leicht einzusehen und eigentlich selbstverständlich. Naheliegend, aber keineswegs selbstverständlich ist jedoch die Annahme, dass auch im Falle eines biologischen Informationssystems, wie in Bild 13 dargestellt, unterschieden werden darf zwischen

- dem „Entwurf“ des biologischen Informationssystems durch einen intelligenten und kreativen Schöpfer
- und dem realisierten biologischen System.

Bei dem in Bild 13 angenommenen biologischen Informations-Gesamtsystem muss - ebenso wie beim technischen Informations-Gesamtsystem - beim Entwurf gewährleistet werden, dass eine Informationssenke den Code der Informationsquelle decodieren kann. Dies gilt z. B. für die Zellen eines lebenden Organismus als „Informationssenken“, die so beschaffen sein müssen, dass sie den in den DNS-Molekülen verwendeten Code (z. B. wie in Bild 8 gezeigt) „verstehen“ und auswerten können.

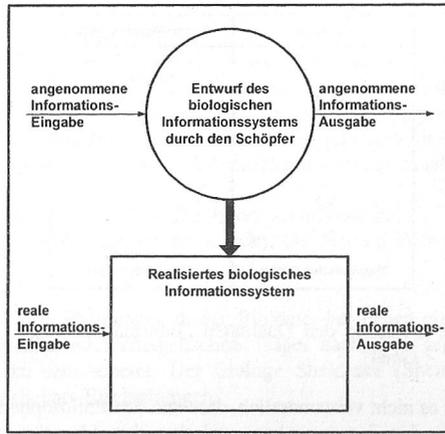


Bild 13: Biologisches „Informations-Gesamtsystem“, bestehend aus „Entwurf und Realisierung (in Analogie zu Entwurf und Realisierung bei dem technischen Informations-Gesamtsystem in Bild 12).

6. Die Dualität „Informationsträger - Information“ und das „Leib-Seele-Problem“.

Das „Leib-Seele-Problem“ ist eine der zentralen Fragestellungen der Philosophie seit der Zeit der altgriechischen Philosophen. So schrieb z. B. schon Aristoteles [Gohlke 61] vor 2300 Jahren:

„Es ist in jeder Hinsicht ein sehr schwieriges Unterfangen, sich eine feste Meinung über die Seele zu bilden. . . . Es scheint, als ob alle Erfahrungen der Seele in Verbindung mit einem Leib zustande kommen. . . .“

In ganz ähnlicher Weise scheint es, als ob Information nur in Verbindung mit einem materiellen oder energetischen Informationsträger erfahrbar ist.

Diese offensichtliche Analogie ist in Bild 14 dargestellt. Sie legt es nahe, die vergleichsweise klar beschreibbare Dualität „Informationsträger - Information“ als Modell der wesentlich unschärferen und schwieriger umschreibbaren Dualität „Leib - Seele“ zu verwenden.

In der heutigen Philosophie wird statt vom Leib lieber vom „Physischen“ und statt von der Seele vom „Mentalen“ gesprochen [Brüntrup 96]. Alternative Benennungen des Leib-Seele-Problems sind: „Körper-Geist-Problem“, „Gehirn-Geist-Problem“ oder auch „Gehirn-Selbst-Problem“ [Eccles 97]. Die verschiedenartigen Benennungen ändern jedoch nichts an der Tatsache, dass sowohl die Natur dessen, was als „Seele“, „Geist“, „Mentales“ oder „Selbst“ bezeichnet wird, als auch die Verbindung mit dem Leib, dem Gehirn, dem Physischen rätselhaft und ausdeutbar bleibt.

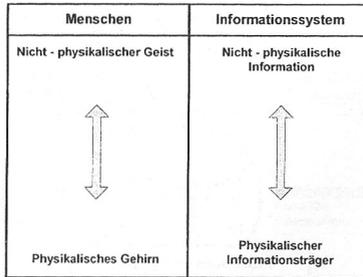


Bild 14: Analogie zwischen den Dualitäten „Informationsträger - Information“ und „Gehirn - Geist“

Aus diesem Grunde ist es nicht verwunderlich, dass von den Philosophen zahlreiche verschiedenartige Theorien über den Zusammenhang zwischen dem Mentalen und dem Physischen, oder anders ausgedrückt, zwischen Geist und Gehirn entwickelt wurden². Die gegenwärtig weit verbreitete Richtung des Materialismus geht z. B. davon aus, dass der Geist eine Eigenschaft des Gehirns sei.

Zieht man die in Bild 14 angegebene Modellvorstellung zu Rate, so erscheint diese materialistische Theorie unverständlich. Denn wenn schon - wie oben gezeigt - die nicht-physikalische Information keine Eigenschaft des physikalischen Informationsträgers ist, wie kann dann behauptet werden, der Geist sei eine Eigenschaft des Körpers?

Unzweifelhaft ist, dass die Nervenzellen des Gehirns als Informationsträger dienen, um Information zu übertragen, zu speichern und zu verarbeiten. Da jedoch andererseits das, was als Geist bezeichnet wird, in irgend einer Weise an die im Gehirn befindliche Information gebunden ist (ohne eine Eigenschaft dieser Information zu sein!), liegt die Annahme nahe, die Information als „Zwischenschicht“ zwischen Gehirn und Geist zu sehen. In Bild 15 ist diese Modellvorstellung dargestellt. Sie drückt aus, dass der (immaterielle) Geist über die (nicht-physikalische) Information an das (physikalische) Gehirn gebunden ist.

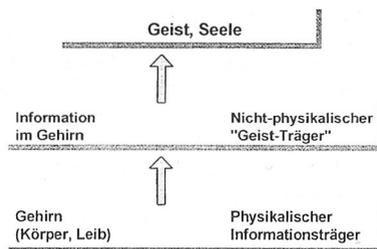


Bild 15: Die Information als Bindeglied zwischen Gehirn Und Geist

² In [Eccles 97] werden folgende philosophischen Theorien klassifiziert: Radikaler Materialismus, Panpsychismus, Epiphänomenalismus, Identitätstheorie und Dualistischer Interaktionismus.

7. Gibt es Information ohne Träger?

In technischen Informationssystemen ist, wie oben an Hand von Beispielen gezeigt wurde, die Information stets an einen physikalischen oder energetischen Informationsträger gebunden, wobei bei einer Informationsübertragung nacheinander viele verschiedene Arten von Trägern auftreten können. In solchen Systemen ist Information ohne Träger nicht erfahrbar.

Dies gilt scheinbar auch für biologische Informationssysteme, bei denen, wie in Bild 7 gezeigt, die DNA-Moleküle, die Hormone oder die Nervenzellen als Informationsträger dienen.

Es gibt jedoch rätselhafte Phänomene in der Biologie, bei denen eine Informationsübertragung ohne physikalischen oder energetischen Träger nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung möglich zu sein scheint. Der Biologe Sheldrake [Sheldrake 93] nennt z. B. folgende, bisher unerklärbare Erscheinungen:

Die Fähigkeit von Haustieren (Hunden, Katzen), die Rückkehr ihres Herrn/ihrer Herrin auf große Entfernungen zu „erahnen“.

Die Orientierung der Brieftauben (und anderer Tiere), die über große Entfernungen an einen bestimmten Ort zurückfinden.

Die Orientierung der Zugvögel.

Die Fähigkeiten von „sozialen Insekten“ (Ameisen, Bienen usw.).

Die Fähigkeit mancher Menschen, zu merken, wenn jemand sie von hinten anstarrt.

Wie bei [Sheldrake 94] angeregt, müssen weitere Forschungen und Experimente angestellt werden, um diese rätselhaften Phänomene zu untersuchen. Dabei erscheint es nicht unmöglich, bisher unbekannte Wirkungsmechanismen - Sheldrake spricht von „morphischen Feldern“ - zu entdecken³.

Die Existenz von Information ohne Träger (und damit entsprechend der Modellvorstellung in Bild 15 von Geist ohne physischen Träger) ist eine grundlegende Voraussetzung bei allen Religionen. Insbesondere stellt, wie in Bild 16 angegeben, das Gebet eines religiösen Menschen zu einem transzendenten göttlichen Wesen eine Informationsübertragung ohne physikalischen Informationsträger dar.

³ Auch in den Theorien bei [Tipler 94] wird implizit angenommen, dass es Information ohne physischen Träger gibt.

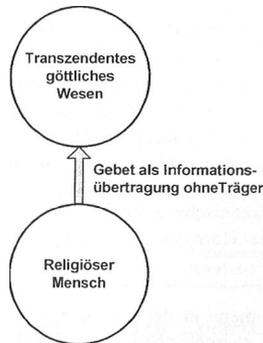


Bild 16: Informationsübertragung ohne Träger beim Gebet

Auch die in der christlichen Religion grundlegende Aussage, dass die Bibel göttliche Offenbarung enthält, setzt voraus, dass zwischen Gott und den Autoren der biblischen Schriften eine Informationsübertragung ohne Träger stattgefunden hat.

Andere Bereiche, in denen eine Informationsübertragung ohne Träger offensichtlich erfahren wird, sind Visionen und auch, wie bei [Weizsäcker 92] beschrieben, Formen des „mystischen Bewusstseins“.

8. **Schlussbemerkungen**

Auf die Frage „Was ist Information?“ wurden in den vorangegangenen Abschnitten dieses Beitrags verschiedene Aspekte diskutiert, ohne eine endgültige Antwort zu formulieren. Auf jeden Fall gilt: Wegen ihres nicht-physikalischen Charakters ist die Information ein faszinierendes Phänomen!

Die Faszination wird noch durch die Beobachtung gesteigert, dass es das „Informationsprinzip“ offenbar nur in der belebten Natur gibt, d. h. im Bereich der biologischen Informationssysteme und der von Menschen erzeugten technischen Informationssysteme. Dieses Prinzip besteht darin, dass Wirkungen nicht direkt durch mechanische oder energetische Prozesse erzeugt werden (wie es in der unbelebten Welt der Fall ist), sondern indirekt durch Zwischenschaltung von Information.

Erstaunlich ist, dass in der Philosophie dieses Informationsprinzip und überhaupt die Information als nicht-physikalisches Phänomen bisher kaum beachtet wird. Vielfach wird die Welt als „komplexes physikalisches System“ verstanden, das durch die Physik und die Chemie beschrieben wird. Dass dies nicht die ganze Wahrheit sein kann, zeigt die Überlegung: Auch wenn man alle Atome, aus denen ein Computer besteht, und alle elektrischen Vorgänge, die in diesem Computer ablaufen, genau kennen würde, so wüsste man noch nichts über das Programm, das dieser Computer ausführt.

Es scheint an der Zeit, dass die Philosophen die Information als lohnenden Gegenstand des Nachdenkens entdecken. Möglicherweise kann die Information, wie in Bild 15 angegeben, eine Brücke zwischen der Welt der Physik und der Welt des Geistes bilden.

Literatur

- Bartels 96 Bartels, Klaus: Wie Berenike auf die Vernissage kam. 77 Wortgeschichten. Darmstadt: Wissenschaftl. Buchges. 1996
- Capurro 87 Capurro, Rafael: Was ist Information? HMD 133 / 1987 S. 107 - 113.
- Eccles 97 Eccles, John C.: Wie das Selbst sein Gehirn steuert. Mtnchen - Zürich: Piper 1997. Bzw. die Originalausgabe: How the Self Controls its Brain. Berlin-Heidelberg: Springer 1994.
- Eigen 76 Eigen, Manfred: Wie entsteht Information? Prinzipien der Selbstorganisation in der Biologie. Berichte der Bunsen-Ges. Bd.80 Nr. 11 (1976) S. 1059 - 1081. Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr. 1976.
- Ganzhorn 86 Ganzhorn, Karl: Informationsstrukturen und Ordnungsprinzipien. In: 0. G. Folberth und C. Hackl (Hrsg.): Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft. München: R. Oldenbourg 1986.
- Gohlke 61 Gohlke, P.: Über die Seele (Übersetzung des Traktats von Aristoteles). 1961, S. 23 - 27.
- Hassenstein 86 Hassenstein, B.: Information und Steuerung in Organismen. In: 0. G. Folberth und C. Hackl (Herausg.): Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft. München: R, Oldenbourg 1986.
- Küppers 86 Küppers, Bernd-Olaf: Molekulare Selbstorganisation und die Entstehung biologischer Information. In: 0. G. Folberth und C. Hackl (Hrsg.): Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft. München: R. Oldenbourg 1986.
- Oppelt 84 Oppelt, W.: Über das Menschenbild des Ingenieurs. Sitzungsberichte der wiss. Ges. an der Goethe-Univ. Frankfurt (Main), Band 20 Nr. 5. Stuttgart: Franz Steiner 1984.
- Pinker 98 Pinker, Steven: Wie das Denken im Kopf entsteht. München: Kindler 1998.
- Popper 90 Popper, Karl R. und Eccles John C.: Das Ich und sein Gehirn. München - Zürich: Piper 1990 (9. Auflage). Bzw. die Originalausgabe: The Self and its Brain - an Argument for Interactionism. Berlin-Heidelberg: Springer 1977.
- Sanger 78 Sanger F. et al.: The nucleotide sequence of bacteriophage Phi X 174. J. Mol. Biol 125 (1978) p. 225.
- Schneider 97 Schneider, Hans-Jochen (Herausg.): Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung. München - Wien: Oldenbourg 1997.
- Sheldrake 94 Sheldrake, Rupert: Die Wiedergeburt der Natur. Eine neue Weltansicht. Hamburg: Rowohlt 1994.
- Sheldrake 96 Sheldrake, Rupert: Sieben Experimente, die die Welt verändern könnten. Bern - München - Wien: Scherz 1996.
- Tipler 94 Tipler, Frank: Die Physik der Unsterblichkeit. München - Zürich: Piper 1994.
- Wassermann 92 Wassermann C., Kirby R. and Rordorff, B.: The Science and Theology of Information. Proc. 3rd European Conf. on Science and Theology, Geneva 1990. Genf: Labor et Fides 1992.
- Weizsäcker 92 Weizsäcker, C. F. von: Die Sterne sind glühende Gaskugeln und Gott ist gegenwärtig. Über Religion und Naturwissenschaft. Freiburg - Basel - Wien: Herder 1992.
- Wendt 89 Wendt, Siegfried: Nichtphysikalische Grundlagen der Informationstechnik. Berlin - Heidelberg: Springer 1989.
- Zemanek 86 Zemanek, Heinz: Information und Ingenieurwissenschaft. In: 0. G. Folberth und C. Hackl (Herausg.): Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft. München: R. Oldenbourg 1986.
- Zemanek 92 Zemanek, Heinz: Das geistige Umfeld der Informationstechnik. Berlin - Heidelberg: Springer 1992.