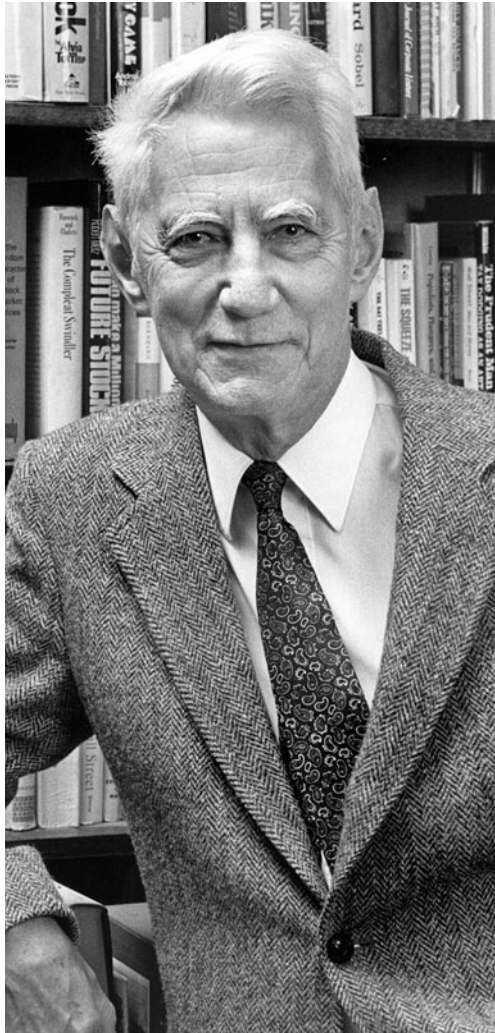


Vor 60 Jahren begann das Informationszeitalter

INFORMATION – EIN MERKWÜRDIGER STOFF

Claude Shannon und seine Kommunikationstheorie



Claude Shannon (1916-2001) lieferte bedeutende Beiträge zum digitalen Zeitalter und gehört damit zu den einflussreichsten Wissenschaftlern des 20. Jahrhunderts.

VON ANDRÉ SCHWARZ

Telefon und Radio waren längst im Gebrauch, als Wissenschaftler begannen, sich Gedanken darüber zu machen, was da eigentlich von diesen Systemen transportiert wird: „Information“. Sie war so selbstverständlich, dass man sich bis dahin um ihre Eigenschaften und Besonderheiten weit weniger Gedanken gemacht hatte als um andere Größen, wie beispielsweise Masse und Energie.

Information wurde zu einem Forschungsgegenstand. Claude Shannon, der Information in eine formale Theorie fassen wollte, begriff, dass er eine präzise Definition der Information liefern musste, etwas, was einem physikalischen Parameter entsprach, der quantifiziert werden konnte. Im Jahr 1948, also vor 60 Jahren, präsentierte der 32-jährige seine *Mathematical Theory of Communication* und half damit, die Grundlagen zu schaffen für die Welt, in der wir heute leben. Diese Grundlagen betrachtet man heute als so selbstverständlich, dass die Frage erlaubt ist, warum niemand wesentlich früher diese Überlegungen formulierte.

Die Zeit vor Shannon

Für die Ingenieure gab es bis dahin zwei getrennte Welten: die der Übermittlung von Telefongesprächen und die von Radio- und Fernsehsignalen. Über eine Telefonleitung Fernsehbilder zu übertragen, war demnach für sie nicht denkbar. Der Grund lag aber nicht so sehr im

Umstand, dass die Technik damals noch nicht so weit fortgeschritten war. Ingenieure behandelten die beiden Domänen ganz einfach getrennt; sie hatten nicht erfasst, was diesen gemeinsam war: „Information“!

Der Weg zur Theorie

Shannons Studien in Mathematik wie auch in Elektrotechnik erlaubten ihm, die Welt der Wissenschaft in einer besonderen Weise zu betrachten. Bei seinen Arbeiten 1936 am M.I.T. realisierte er, dass man elektrische Schaltkreise dazu verwenden konnte, um logische Operationen auszuführen. Dies war die Geburtsstunde der digitalen Logik, die Verbindung von Boole'scher Algebra und Maschinen. Maschinen hatten nun die Fähigkeit, Entscheidungen zu treffen. Nach H. H. Goldstine war „seine Arbeit ... ein Meilenstein, bei dem der Schaltungsentwurf von einer Kunst zu einer Wissenschaft wurde.“

Hier zeigte sich bereits deutlich Shannons besondere Fähigkeit, mathematische Strukturen in jedes Gebiet, mit dem er sich beschäftigte, hineinzubringen. Shannon war eigentlich nie der Erste gewesen, der versuchte, in den verschiedenen Bereichen entsprechende Theorien zu formulieren. Es waren soziale und ökonomische Faktoren, entstanden durch weltweite Umbrüche, die bewirkten, dass man in der Technik Neues erwartete, ein Umstand, der es ihm erlaubte, bedeutende Beiträge zum digitalen Zeitalter zu liefern. Er hatte einfach den richtigen Zeitpunkt erwischt.

Nach einem kurzen Abstecher in die Genetik gehörte er ab 1940 zu jenen Wissenschaftlern, die vom amerikanischen Verteidigungsministerium aufgefordert wurden, einen Beitrag zur Landesverteidigung zu leisten. Shannon beschrieb seine Arbeit so: „Die Bell Labs arbeiteten an Verschlüsselungssystemen. Ich forschte über Kommunikationssysteme und wurde zusätzlich einem Komitee zugeteilt, das kryptanalytische Techniken untersuchen sollte. Die Arbeit an beiden, der mathematischen Theorie der Kommunikationssysteme und der Kryptografie,

schritt ab 1941 zügig voran. Ich arbeitete gleichzeitig an beiden und hatte oft zu der einen Ideen, wenn ich an der anderen arbeitete – die beiden waren so eng verflochten, dass man sie nicht trennen konnte.“ Shannon hatte 1944 bereits das Wesentliche an seiner Theorie über Kommunikation erledigt, sie wurde aber nach einigen Verfeinerungen erst 1948 veröffentlicht.

Shannons Theorie

In der Alltagssprache stellt man sich unter einer Information etwas vor, was Bedeutung hat. Information im Sinne von Wissen ist zumeist Aussagewissen und hat daher eine semantische Bedeutung sowie einen Wahrheitswert. Dies trifft aber nicht auf den Informationsbegriff zu, so wie Shannon ihn verwendete. Bereits in den 20er-Jahren gab es in den Bell Labs erste Konzepte, Information unabhängig von ihrem semantischen Inhalt zu verstehen. Hier sind besonders die Arbeiten von H. Nyquist und R. Hartley zu erwähnen, auf die Shannon zurückgriff.

Shannon unterschied ganz klar zwischen der Information und der Semantik der Nachricht: „Der semantische Aspekt der Kommunikation ist irrelevant für den Ingenieur. Der wichtigste Aspekt ist, dass die tatsächliche Nachricht aus einem Satz von möglichen Nachrichten stammt.“ Er stellte fest, dass Information im einfachsten Fall durch den Logarithmus der Anzahl der verfügbaren Auswahl von Symbolen gemessen werden kann. Da der Ausdruck für dieses „Informationsmaß“ H der Formel für Entropie S in der statistischen Mechanik entsprach ($S = k \ln W$) wird H oft als Entropie bezeichnet. Man sollte aber nicht aus den Augen verlieren, dass H ein Maß der Kodierungsdichte von Zeichenfolgen ist, nicht ein Maß ihres Informationsgehaltes im Sinne von Wissen, das Bedeutung hat.

Der Grundstein seiner Kommunikationstheorie bildet sein Modell eines Kommunikationssystems (siehe Abbildung). Shannon zeigte sich hier als Meister der Abstraktion, jedes

Teil des komplexen Systems lässt sich durch einen einfachen Block darstellen, der unabhängig von den anderen Teilen behandelt werden kann.

Mit der Übertragung von Information über einen Kanal beschäftigt sich der zweite Teil seiner Theorie: Was sind die Grenzen der Information, die übertragen werden kann, und welchen Einfluss haben Störungen auf diese Übertragung? Antworten darauf geben seine beiden Theoreme. Das erste Theorem behandelt die Übertragung einer Nachricht über einen störungsfreien Kanal mit der Kanalkapazität C . Die Hauptidee hinter diesem Theorem ist die Menge an Information, die überhaupt möglich zu übertragen ist. Er stellte fest, dass ausgehend von den statistischen Eigenschaften der Nachrichtenquelle, man die Information so kodieren kann, dass es möglich ist, mit der maximal möglichen Rate zu übertragen, die der Kanal zulässt, wobei gilt, dass die Übertragungsrates nur durch das Verhältnis Kanalkapazität C zu Entropie H nach oben hin begrenzt ist. Das war für die Nachrichtentechniker geradezu revolutionär, da sie bis dahin annahmen, dass diese Grenze von solchen Faktoren wie der Frequenz abhänge.

Die Übertragung über einen gestörten Kanal behandelt sein zweites Theorem. Er fand heraus, dass Störungen auf dem Kanal kein Problem darstellen; es gibt stets ein Kodierungsverfahren, das erlaubt, die Nachricht fehlerfrei über den gestörten Kanal zu übertragen, solange gilt: Entropie $H <$ Kanalkapazität C . Auch diese Idee war revolutionär, da bis dahin angenommen wurde, dass ab einem bestimmten Störungspegel es unmöglich sei, das gewünschte Signal zu übertragen.

Shannons Stil

Das Konzept der Abstraktion und Vereinfachung ist der Schlüssel zu Shannons Arbeitsstil. Wenn er das Problem auf dem gewünschten Niveau abstrahiert hatte, wandte er die Mathematik an: Boole'sche Logik bei den Schaltkreisen, Algebra in der Genetik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

im Fall der Kommunikationstheorie.

Shannon selbst sagte, dass es ihn nicht kümmere, ob seine Forschung nutzbringend sei oder nicht. „Ich bin sehr selten an Anwendungen interessiert. Mich interessiert mehr die Eleganz des Problems. Ist es ein gutes Problem, ein interessantes Problem?“ Er arbeitete ganz einfach an dem, was ihn in jenem Moment interessierte. Seine Arbeiten stehen in einer Reihe mit denen von Norbert Wiener, Warren McCulloch, Walter Pitts, Alan Turing¹ und John von Neuman², Mitglieder einer Bewegung, die während und nach dem Zweiten Weltkrieg mithalfen, die Welt in das Informationszeitalter zu führen.

Nachwirkungen

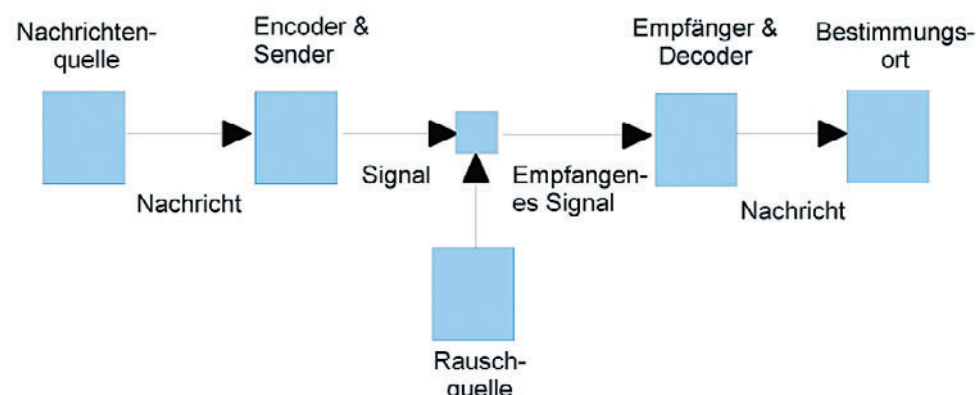
Alle digitalen Übertragungen, inklusive der bunten Webseiten, die wir heute über das Internet betrachten, verdanken ihre Existenz gewissermaßen Claude Shannon, der aufzeigte, dass dies alles möglich sei. So führte die konsequente Anwendung seiner Überlegungen dazu, dass man heute über eine Glasfaser den Inhalt von 90 000 Enzyklopädien innerhalb einer Sekunde übermitteln kann. Inzwischen hat der Informationsbegriff auch in der Physik, in der Biologie und in der Medizin Eingang gefunden. Die nunmehr „berechenbar“ gewordene Information inspirierte allerdings auch Psychologen, Soziologen, sogar Parapsychologen und Sektengurus zu oft recht abenteuerlichen Kommunikationstheorien.

Vielleicht sollte Information neben Materie und Energie (und letztlich mit ihnen austauschbar) als eine Grundeigenschaft des Universums angesehen werden (oder vielleicht ist sie es sogar). In einer solchen Theorie (oder dem Ansatz zu einer Theorie, um genauer zu sein) würde Information ein inneres Maß der Struktur und Ordnung in Teilen des Universums oder in seinem Ganzen sein, das eng mit der Entropie zusammenhängt (und in gewissem Sinne ihr Gegenteil ist). Information existiert unabhängig von unserer Fähigkeit, sie zu entschlüsseln oder zu deuten.

¹ Ein Unbekannter, Unsterblicher, Die Warte vom 7. Juni 2007;

² „Innovate or Die“, Die Warte vom 8. März 2007

Bibliografie: Chiu, Eugene et al.: *Mathematical Theory of Claude Shannon*; Devlin, Keith: *Infos und Infone*, Birkhäuser 1993; Kray, Michael; Mahner, Martin: *Warum Shannons „Informationstheorie“ keine Informationstheorie ist*, *Naturwissenschaftliche Rundschau* 11/2004; Hering, Norbert: *Vom Denken und von Denkmäschinen*, Hippocampus 2005; Lüke, H.D.: *Signalübertragung*, Springer 1985; Shannon, Claude: *Communication in the Presence of Noise*, *Proceedings of the IEEE*, February 1998; Von Randow, Thomas: *Information als Teilchen*, *Die Zeit* 45/1990.



Aufbau eines allgemeinen Kommunikationssystems nach Shannon