

Die Bedeutung der Nachrichtentechnik für die Herausbildung eines Informationskonzeptes der Technik im 20. Jahrhundert

VON SIEGFRIED BUCHHAUPT

Überblick

Information ist für Technik von Bedeutung seit Stoffe geformt (*informiert*) werden. Aber erst im 20. Jahrhundert wurde Information zu einem expliziten Konzept der Technik. Das geschah im Rahmen einer forcierten informationstechnischen Entwicklung, die mit dem Aufstieg der elektrischen Nachrichtentechnik in der Mitte des 19. Jahrhunderts beginnt. Technische Probleme regten im Zusammenhang der Theoriebildung zu einer intensiven Auseinandersetzung mit dem Gegenstand – *Information* – an. Ingenieure erkannten die Möglichkeiten zur Veränderung der Gestalt von Information mit Hilfe von Sachtechnik, ohne Beeinträchtigung ihrer inhaltlichen Dimension. Claude E. Shannon definierte Information als physikalische Größe mit einer Maß- bzw. Zählseinheit, dem Bit. Damit wurde es möglich, den für die technische Übertragung von Schrift, Sprache und Bildern erforderlichen Aufwand zu vergleichen und die Kapazität von Übertragungskanälen und Informationsspeichern zu bestimmen.

In diesem Beitrag geht es um Rezeption und Interpretation der von Shannon 1948 publizierten Studie *The Mathematical Theory of Communication*, die als Informationstheorie bezeichnet wird. Entgegen manchen Erwartungen ist sie für das, was Menschen in der Regel an Information(en) interessiert, irrelevant, obwohl sie mit fundamentalen Erkenntnissen zur technischen Entwicklung beitrug. Nicht zuletzt waren die Klärungen wichtig für systemtheoretische Ansätze zur Darstellung der gesamten Technik, die sich auf die Kategorien Stoff (Masse), Energie und Information stützen.

Abstract

Information has been of significance for technology ever since matter was formed. But it was not before the 20th century it became an explicit conception of technology. This happened in the framework of a forced development of information-technology, starting in the field of electrical communication engineering in the middle of the 19th century. Technical problems along with the creation of theories led to intensive examination of its object – *information*. Engineers recognized how the form of information could be changed with mechanical devices without impacting the contents of information. Claude E. Shannon defined information as a physical quantity, its measuring unit being

the *Bit*. This way, it became possible to compare the effort required for technical transmission of different types of information (characters, speech, images) and to determine the capacities of transmission channels and storage media.

The article deals with the interpretation of Shannons study *The Mathematical Theory of Communication*, which was published in 1948 and is referred to as Information Theory. In contrast to various expectations, it has no relevance for what people usually want to know about information, although it contributed fundamental knowledge to the development of technology. Eventually, these clarifications were important for system-theory-approaches to the representation of technology as a whole, which are based on the categories matter, energy, and information.

Einführung

In den letzten beiden Jahrzehnten wurde *Information* zu einem bedeutungsschweren Wort: Es dient zur Charakterisierung einer Zäsur in der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung, der Entstehung einer *digitalen Ökonomie* bzw. *Informationsgesellschaft*. Die Apologeten dieser Auffassung berufen sich auf die Potenz moderner Technik zur umfassenden Veränderung der Gesellschaft. In ihrer Argumentation wird vielfach die Unterscheidung zwischen Information und Wissen verwischt. Inzwischen existieren auch Positionen, die mit dem Hinweis auf Internet, Multimedia und andere informationstechnische Entwicklungen eine Wissensgesellschaft begründen. Wenn auch ein Zusammenhang zwischen Information und Wissen gegeben ist – Information als Kommunikationsform des Wissens aufgefasst werden kann, – so bedeutet das keine Identität.¹ Gerade die Interpretationsschwierigkeiten, die der im Kontext der Technik definierte Informationsbegriff bereitet, unterstreichen die Differenz von Wissen und Information.

Um 1900 bedeutete Information Auskunft oder Unterweisung. Als Informationsprozess wurde das von der Kurie durchgeführte Verfahren bei der Verleihung höherer Kirchenämter zur Überprüfung der Eignung des Kandidaten und der Ordnungsmäßigkeit der Wahl bezeichnet.² Im technischen Kontext existierte der Begriff Information dagegen nicht. In Handbüchern der Fernmeldetechnik, oder auch der zwischen 1926 und 1928 erschienenen dritten Auflage von Otto Luegers *Lexikon der gesamten Technik*, sucht man das Schlagwort vergeblich. Allerdings wurde in der langen Begriffsgeschichte – über das lateinische *forma* auf griechische Begriffe zurückgehend – Information auch im technischen Zusammenhang gebraucht: Die Zweckmäßigkeit von Handlungen fand in dem Begriff einen Ausdruck, wenn z. B. ein Schild in einer Weise geformt werden soll, dass er Geschosse abhält.³

1 Vgl. Jürgen Mittelstraß, Wissen und Grenzen, Frankfurt a. M. 2001, S. 33-45.

2 Nach Meyers Großes Konversationslexikon, 9. Band, Leipzig, Wien 1908.

3 Zur Begriffsgeschichte: Rafael Capurro, Information. Ein Beitrag zur etymologischen und ideengeschichtlichen Begründung des Informationsbegriffs, München u. a. 1978, S. 58ff.

Die technische Entwicklung im 20. Jahrhundert regte zu einer inhaltlichen Auseinandersetzung mit dem Informationsbegriff an. Carl Friedrich von Weizsäcker betonte, dass Information (Form) der historische Gegenbegriff zu Materie sei. Er erläuterte seine Auffassung am Beispiel eines Schrankes, der nicht nur Holz, sondern ein hölzerner Schrank sei. Ein Schrank ohne Materie sei nur ein von der Wirklichkeit abgezogener Gedanke, ein Abstraktum. Der Schrank aus Holz dagegen stelle ein wirkliches Ganzes, ein Konkretum dar. Es gebe im Bereich des Konkreten keine Form ohne Materie und keine Materie ohne Form.⁴ Weizsäcker definierte Information als Form, Gestalt oder Struktur.⁵ Der britische Physiker Donald MacKay stellte das menschliche Erkenntnisvermögen in das Zentrum seiner Überlegungen. Menschen könnten das, was sie wissen, in der Form von Bildern, Sätzen, Modellen usw. repräsentieren. Repräsentationen seien Strukturen, die einige abstrakte Grundzüge mit dem, was sie vorgeben darzustellen, gemein haben. Information sei das, was Menschen ihre Repräsentationshandlungen ermögliche.⁶ Unter Berücksichtigung der Überlegungen Weizsäckers und MacKays lässt sich Information sehr allgemein definieren als Form, Gestalt oder Struktur, die durch Repräsentationen erzeugt und zu Repräsentationen führen kann. Repräsentationen können auch mental sein. Die Fähigkeit des Menschen, Form von Materie gedanklich zu trennen, ist Voraussetzung für alle Arten der Planung, in der Technik beispielsweise für den Entwurf und das Konstruieren von Artefakten.

Wegen der Allgemeinheit des Informationsbegriffes und der Breite seiner Anwendung ist es zweckmäßig, die aus der Semiotik bekannten Dimensionen zur Analyse von Zeichenprozessen – Syntax, Semantik, Pragmatik – zur Abgrenzung verschiedener Ebenen von Information zu nutzen.⁷ Die semantische Dimension betrifft die Bedeutung der Information, beispielsweise die Objekte, für die sie steht. Die pragmatische Dimension fragt nach dem Bezug der Information zu einem Interpreten, der diese interessant finden kann oder auch nicht. Auf dieser Ebene besteht die Verbindung zwischen Information und Wissen. Bei der im Zusammenhang von Technik besonders wichtigen syntaktischen Dimension geht es um die Gestalt und formale Struktur der Information, die beispielsweise als Zeichenfolge, Bild oder Bündel akustischer Schwingungen vorliegen kann.

- 4 Vgl. Carl Friedrich von Weizsäcker, Materie, Energie, Information, in: Ders., Die Einheit der Natur, München, Wien 1974, S. 342-366, hier S. 343.
- 5 Vgl. Ders., Sprache als Information, in: Ders., Die Einheit der Natur, München, Wien 1974, S. 39-60, hier S. 52.
- 6 Vgl. Donald M. MacKay, Information, Mechanism and Meaning, Cambridge (Mass.) 1969, S. 156-158.
- 7 Vgl. Charles William Morris, Grundlagen der Zeichentheorie (erschien zuerst 1938 unter dem Titel: Foundations of the Theory of Signs), in: Ders., Grundlagen der Zeichentheorie – Ästhetik der Zeichentheorie, Frankfurt a. M. 1988, S. 25. Die Dimensionen sind ein analytisches Hilfsmittel zur Klärung verschiedener Aspekte des Phänomens Information, das in der Wirklichkeit immer alle Ebenen umfasst.

Die Gestaltung elektrischer Schaltungen als informationelles Problem

Das Problem der Information im Sinne der Gestaltung von Form stellte sich in der Technik mit der Expansion der elektrischen Netzwerke zur Elektrizitätsversorgung und Nachrichtenübertragung zugespitzt dar. Diese technischen Systeme beruhen auf elektrischen Schaltungen, deren Funktion von der Anordnung und Verknüpfung ihrer Elemente abhängt. Jede Schaltaufgabe kann in der Regel mit verschiedenen wirkungsgleichen Schaltungsformen bewältigt werden. Mit der Entwicklung umfangreicher und komplexer Schaltungen – in den 1920er Jahren konnten beispielsweise über hundert elektromagnetische Schalter (Relais) für die Herstellung einer Fernverbindung mit einer automatischen Fernsprechvermittlungsanlage zum Einsatz kommen – wurde die Frage nach mit möglichst geringem Aufwand realisierbaren Lösungen dringlich. So betonte ein Telegraphendirektor im Reichspostzentralamt, dass es von großer wirtschaftlicher Bedeutung sei, wenn man einer bestimmten Aufgabe alle möglichen Lösungen wenigstens gedanklich gegenüber stellen könnte.⁸ Gefordert waren systematische Methoden als Hilfe bei Entwurf und Beurteilung von elektrischen Schaltungen, eine Schaltungslehre.⁹ Der amerikanische Mathematiker und Elektroingenieur Claude E. Shannon zeigte 1938 in seiner Diplomarbeit die Anwendungsmöglichkeiten der im 19. Jahrhundert von George Boole begründeten Algebra („symbolische Logik“) für Operationen mit zwei Zeichen (0, 1 bzw. wahr, falsch) bei der Analyse von Schaltkreisen.¹⁰ Nach Boole beruht die Richtigkeit der Operationen der symbolischen Logik nicht auf der Interpretation der benutzten Zeichen, sondern allein auf den Gesetzen ihrer Verknüpfung.¹¹ Ein offener Schalter kann durch 0 und ein geschlossener durch 1 in der formalen Logik dargestellt werden. 1 und 0 bringen auch die Wirkung der Schaltung, ob sie das Fließen von elektrischem Strom (I) ermöglicht oder nicht, zum Ausdruck. Die Funktion einer Schaltung, die möglicherweise auch mit einer einfacheren Ersatzschaltung realisierbar ist, lässt sich mit Hilfe logischer Operationen ermitteln. Beispielsweise kann eine Reihenschaltung zweier Schalter durch eine Und-Verknüpfung und eine Parallelschaltung durch eine Oder-Verknüpfung repräsentiert werden (s. Abb. 1). Während bei der Reihenschaltung das Ergebnis wegen des offenen Schalters, kein Stromfluss = 0, feststeht, hängt es bei der Parallelschaltung von der nicht bestimmten Stellung des zweiten Schalters ab.

8 Vgl. Martin Hebel, Selbstanschlussstechnik, München, Berlin 1928, S. 287.

9 Eine Einführung in die Thematik bietet Otto Plechl, Elektromechanische Schaltungen und Schaltgeräte. Eine Einführung in Theorie und Berechnung, Wien 1956, S. 1-10.

10 Vgl. Claude E. Shannon, A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits, in: Transactions of the American Institute of Electrical Engineers 57, 1938, S. 713-723. Vgl. auch Heinz Zemanek, Geschichte der Schaltalgebra, in: Manfred Broy (Hg.), Informatik und Mathematik, Berlin u. a. 1991, S. 43-70.

11 Vgl. George Boole, The Mathematical Analysis of Logic. Being an Essay towards a Calculus of Deductive Reasoning, Oxford 1951, S. 3 (zuerst 1847).

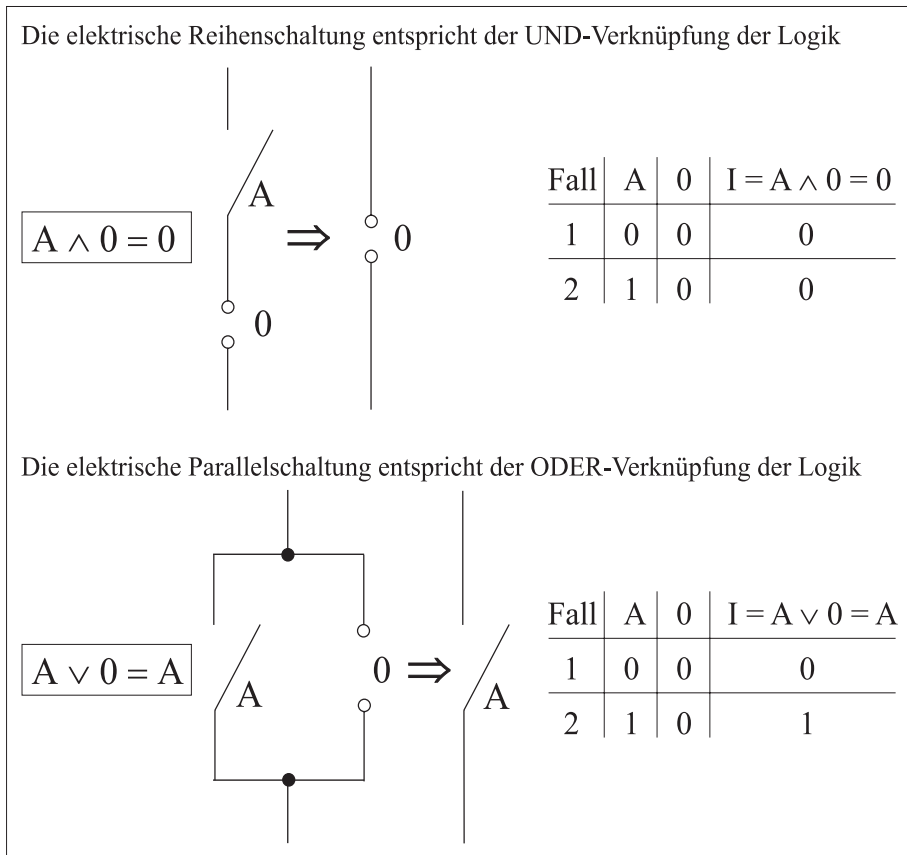


Abb. 1: Äquivalenz von elektrischen Schaltungen und logischen Operationen.

Shannon wies auch darauf hin, dass mathematische Berechnungen mit Hilfe von Relaisschaltungen automatisch ausgeführt werden können.¹² Während formale Logik einerseits die Ingenieure bei der Lösung ihrer Schaltungsprobleme unterstützt, konnten mit elektrischen Schaltkreisen aufgebaute Rechenmaschinen andererseits zum Hilfsmittel für Mathematiker und Logiker werden. Die Erkenntnis der Möglichkeit, elektrische Schaltungen durch Logik zu repräsentieren und umgekehrt, ist Ausgangspunkt für die Herausbildung der Dualität von Hardware und Software und bildet letztendlich die Voraus-

12 Als Shannon seine Diplomarbeit schrieb war die Entwicklung des Digitalcomputers bereits im Gange. Bedeutende technische Voraussetzungen für diesen informationsverarbeitenden Automaten waren mit den Anlagen der automatischen Fernsprechvermittlung (Selbstanschlusstechnik) realisiert worden. Zur Frühgeschichte des Digitalcomputers vgl. Paul E. Ceruzzi, Reckoners, Westport 1983, hier S. 73ff. Vgl. auch E. G. Andrews, Telephone Switching and the early Bell Laboratories Computers, in: The Bell Technical Journal 42, 1963, S. 341-353.

setzung der Leistungsfähigkeit heutiger Informationstechnik.¹³ Die Wechselwirkung zwischen den zuvor völlig getrennten Entwicklungen von Logik und Schaltungstechnik gehört jedenfalls zu den bedeutenden Ereignissen in der Technik- und Wissenschaftsgeschichte im 20. Jahrhundert.

Im Kontext von Schaltungen ist Information vermittelt für die Gestaltung materieller Gebilde von Bedeutung, im Weiteren soll gezeigt werden, in welchem Zusammenhang Information zu einem expliziten Konzept der Technik werden konnte.

Die Entstehung eines Informationskonzeptes im Rahmen der elektrischen Nachrichtentechnik

Die elektrische Nachrichtentechnik ist das Ursprungsgebiet einer durch Elektrotechnik geprägten Informationstechnik. Telegrafie und Telefonie führten im 19. Jahrhundert zum Durchbruch technischer Systeme, die ausschließlich der Übermittlung von Nachrichten dienen. Diese ist damit nicht mehr an Boten oder Transportmittel für Güter und Menschen gebunden.¹⁴ Die zum Teil synonyme Verwendung der Bezeichnungen *Nachricht* und *Information* verdeutlicht den Stellenwert der Nachrichtentechnik für die informationstechnische Entwicklung im 20. Jahrhundert. Bis in die 1960er Jahre war für deutschsprachige Ingenieure, die Einrichtungen des Computers als *Nachrichtenverarbeitung* bezeichneten, der Begriff der Nachricht zentral.¹⁵ In den 1920er Jahren waren die heute gebräuchlichen Systeme der elektrischen Nachrichtenübertragung im Prinzip vorhanden. Für den Zweck dieser Studie können wir uns weitgehend auf die Betrachtung der klassischen Systeme der Telegrafie und Telefonie beschränken, die zu diesem Zeitpunkt technisch ausgereift waren.

Die Telegrafie arbeitet mit Information, die aus zeitlich oder räumlich getrennten Elementen besteht, wie Buchstaben oder anderen Zeichen. Der Wertebereich ist diskret (abgegrenzt, getrennt), d. h. die zur Darstellung der

13 Vgl. Karl Nickel, Die Dualität Hardware – Software, in: Nova Acta Leopoldina. Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina 37/1, Nr. 206, Leipzig 1972, S. 373-398.

14 Vgl. Joseph Weizenbaum, Information statt Material, in: Evelyn Gröbl-Steinbach (Hg.), Licht und Schatten. Dimensionen von Technik, Energie und Politik, Wien, Köln 1990, S. 61-67.

15 Wie wenig die Begriffe *Nachricht* und *Information* gegeneinander abgegrenzt waren, zeigt der schnelle Wechsel der Benennungen eines Ausschusses im Deutschen Normenausschuss (DNA): Dieser wurde am 10. April 1961 als *Ausschuss Datenverarbeitung* gebildet, kurz darauf in *Ausschuss für Nachrichtenverarbeitung* umbenannt, um am 1. August 1962 den Namen *Ausschuss für Informationsverarbeitung* zu erhalten. Vgl. die entsprechenden Sitzungsprotokolle in: Institut für Stadtgeschichte Frankfurt a. M., VDE-Archiv (W 2/1), Altsignatur Nr. 874. Zu der Verwendung von *Information* und *Nachricht* mit sowohl gleicher als auch unterschiedlicher Bedeutung vgl. auch Arthur Mehlig, Nachricht und Information als Wort und Bedeutung, in: Fernmelde-Praxis 44, 1967, S. 856-860 und Fernmelde-Praxis 45, 1968, S. 362f.

Information notwendigen Elemente können gezählt werden. Das ist der Hintergrund der Bezeichnung digital (ziffernmäßig). Im Sender werden die Zeichen über einen Code in elektrische Impulse umgesetzt.

Die Telefonie arbeitet mit Information, die eine stetige Funktion der Zeit oder des Raumes bildet. Der Wertebereich ist kontinuierlich (stetig), d. h. die Information wird durch Werte zu jedem Zeitpunkt innerhalb des Bereichs ausgedrückt. Im Sender werden die Schallwellen der Sprache in elektromagnetische Wellen übersetzt.

Diskret und kontinuierlich charakterisieren die technisch relevanten Grundformen der Information, denen die gebräuchlichen Darstellungsformen Schrift (diskret), Sprache (kontinuierlich) und Bild (kontinuierlich) zugeordnet werden können.

In den 1920er Jahren gab es keinen Zweifel, dass das die Kommunikation in natürlicher Sprache ermöglichende Telefonsystem seine dominante Position weiter ausbauen wird. Die umständliche Zuführung der Nachrichten und die Fachkräfte erfordernde Übersetzung in den Telegrafencode war ein Handicap der Telegrafie. Die Bedingungen verbesserten sich mit der Einführung des Fernschreibers, der wie eine Schreibmaschine von den Teilnehmern direkt bedient werden konnte. Im Nahbereich war das Fernsprechen billiger, bei großen Entfernungen rechnete sich die Benutzung des Fernschreibers. Die Perspektive der Telegrafie wurde als Ergänzung der Telefonie gesehen – wegen der Schriftform der Nachrichtenübermittlung mit besonderem Stellenwert für den Geschäftsverkehr.¹⁶

Unter technischen Gesichtspunkten wurde – im Gegensatz zu den Präferenzen der Nutzer – die Telegrafie keineswegs als zweitrangig bewertet. Solange die Verzerrung der Signale in bestimmten Grenzen bleibt, arbeitet der Fernschreiber praktisch fehlerfrei und benötigt ein viel schmaleres Frequenzband als der Fernsprecher. Bei der Übertragung von Sprache und Tönen ist die Verständlichkeit entscheidend von der Breite des Frequenzbandes abhängig.¹⁷ Ein zentrales Problem der Nachrichtentechnik stellten Störungen, das Rauschen, dar. Rauschen entsteht durch elektromagnetische Beeinflussung zwischen elektrotechnischen Systemen, atmosphärische Effekte (Gewitter) und die immer vorhandene Bewegung von Ladungsträgern infolge von Wärme.¹⁸ Zur Verminderung des Einflusses von Störungen und zur besseren Aus-

16 Vgl. Artikel (nach einer Betrachtung von D. Murray) „Zukunftsbild einer modernen Telegraphie“, in: Elektrische Nachrichtentechnik 2, 1925, S. 339-342.

17 Eine wichtige Kenngröße der elektrischen Nachrichtentechnik ist die Frequenz, d. h. die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit. Nachrichtensignale setzen sich aus Wellen verschiedener Frequenzen zusammen, wobei die Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Frequenz die Bandbreite ergibt. Für die Übertragung von Schrift, Sprache und Bildern sind unterschiedliche Bandbreiten (Frequenzspektren) erforderlich.

18 Vgl. z. B. W. Kleen, Rauschprobleme der Nachrichtentechnik, in: Elektrotechnische Zeitschrift 76, 1955, S. 209-213.

nutzung der Übertragungswege dient Modulation: Die Nachricht wird den Bedingungen des Übertragungsweges durch eine Verknüpfung mit einer hochfrequenten Schwingung oder Impulsfolge, dem Trägersignal, angepasst.¹⁹ Nachrichtenübertragung mit technischen Mitteln verlangt die Modifikation der Nachricht, d. h. Nachrichtenverarbeitung, was auf der terminologischen Ebene in der Unterscheidung von *Nachricht* und *Signal* einen Ausdruck findet.²⁰

Für Ingenieure, die immer auch mit Wirtschaftlichkeitsanforderungen konfrontiert sind, zeichnete sich in den 1920er Jahren ein Dilemma ab: Einerseits war die Übertragungsgeschwindigkeit wegen des Rauschens und der Abschwächung der Signale begrenzt. Andererseits verursachte die Erweiterung der Bandbreite mit aufwändigeren Übertragungsmitteln höhere Kosten.²¹ Diese Situation motivierte zu einer intensiven theoretischen Auseinandersetzung mit den Bedingungen der Nachrichtenübertragung. Untersuchungen zur Telegrafie ergaben, dass die Übertragungsgeschwindigkeit von der Form des Signals und der Wahl des Codes abhängig ist.²² Mit der übergreifenden Behandlung der verschiedenen nachrichtentechnischen Systeme gewann die Theoriebildung in dieser Zeit auch eine neue Perspektive.²³ In der einflussreichen Studie *Transmission of Information* entwickelte R. V. L. Hartley, ein leitender Ingenieur der Bell Telephone Laboratories, ein quantitatives Maß für den Vergleich der Übertragungskapazitäten von Telegrafie, Telefonie und Bildtelegrafie.²⁴ Möglicherweise erhielt hier der Informationsbegriff erstmals einen dezidiert technischen Inhalt. Auch andere Schlüsselbegriffe der Studie, wie Symbol (gleichbedeutend mit Zeichen), waren ungewöhnlich für die nachrichtentechnische Fachliteratur.²⁵ Hartley betonte, dass die inhaltliche Interpretation der Zeichen bei einer physikalischen Betrachtung ignoriert werden könne. Die Übertragungskapazität beruhe auf der Möglichkeit,

19 Zu der Bedeutung von Modulation vgl. z. B. K. Steinbuch u. W. Rupprecht, Nachrichtentechnik, Berlin u.a. 1973, S. 266f.

20 Vgl. John Brown u. Edward V. D. Glazier, Telecommunications, London 1974, S. 15: „It is preferable to use the term ‚message‘ for the information before it has been modified and subjected to the errors and distortion of the channel, and to use the term ‚signal‘ for the message after it had been modified for transmission.“

21 Vgl. Herbert S. Dordick, Understanding Modern Telecommunication, New York u. a. 1986, S. 29f., S. 37.

22 Vgl. H. Nyquist, Certain Factors affecting Telegraph Speed, in: The Bell System Technical Journal 3, 1924, S. 324-346.

23 Grundlegend zur Theoriebildung der elektrischen Nachrichtentechnik ist die Studie von Friedrich Wilhelm Hagemeyer, Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik. Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Technik in Industrie- und Kriegsforschung, Diss. Freie Universität Berlin 1979.

24 Vgl. R. V. L. Hartley, Transmission of Information, in: Bell System Technical Journal 7, 1928, S. 535-563.

25 Vgl. dazu Hagemeyer (wie Anm. 23), S. 218ff., der vermutet, dass Hartley zu dieser Terminologie durch Arbeiten des amerikanischen Philosophen Charles S. Peirce angeregt wurde.

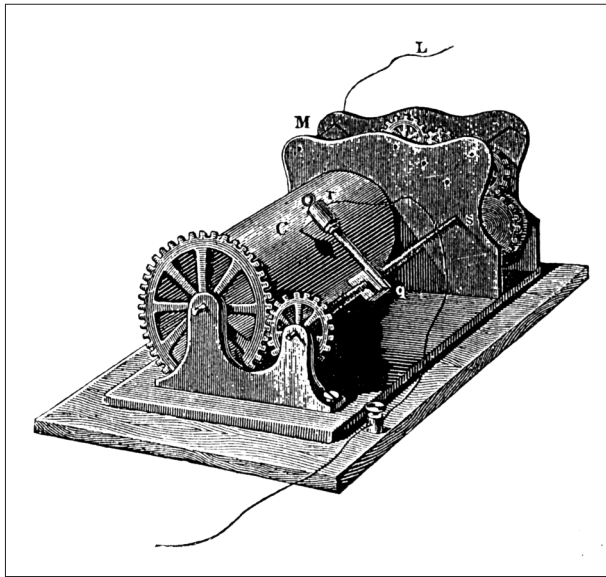


Abb. 2: Geber des Kopiertelegrafen von Bakewell. Quelle: Arthur Korn, Bildtelegraphie, Berlin u. Leipzig 1923, S. 9.

an der Empfängerseite zwischen den Ergebnissen der Auswahlvorgänge (Selektionen), die auf der Senderseite unter den Symbolen einer Zeichenmenge vorgenommen wurden, zu unterscheiden. Hartley gab zur Berechnung der übertragenen Informationsmenge eine logarithmische Formel an. Diese könnte auch Systeme zur Übertragung von Information in kontinuierlicher Gestalt erfassen, wenn die Schwingungen in eine endliche Zahl von Segmenten unterteilt werden. Die damit vorgeschlagene Transformation einer kontinuierlichen in eine zeitdiskrete Informationsdarstellung lässt sich durch eine Gerade veranschaulichen, die in einer Näherung als Aneinanderreihung einer großen Zahl von Punkten betrachtet werden kann.²⁶ Im Hintergrund steht die Überlegung, dass wegen der Begrenztheit menschlicher Sinneswahrnehmung und dem Vorhandensein von Redundanz nicht die gesamte Schwingung übertragen werden muss.

Realisiert war die von Hartley vorgeschlagene Transformation bereits für die Übertragung von Bildern, die nach heutiger Terminologie eine große Informationskapazität verlangt. Grundlegend für die Bildtelegrafie, wie später auch das Fernsehen, ist die Unterteilung der Bildfläche in eine Anzahl Flächenelemente. Bei dem Kopiertelegrafen, dessen Prinzip der Engländer Frederick Bakewell 1848 patentieren ließ, werden Zeichnungen oder Handschriften mit den elektrischen Strom nicht leitende Tinte auf eine Metallfolie gebracht. Auf einen drehbaren Zylinder gespannt wird diese durch eine bewegte Metallspitze abgetastet (s. Abb. 2). Beim Auftreffen auf die zu übertragende

26 Zur mathematischen Betrachtung des Zusammenhangs zwischen dem Kontinuum und dem Diskreten vgl. Michael Otte, Arithmetic and Geometry: Some Remarks on the Concept of Complementarity, in: Studies in Philosophy and Education 10, 1990, S. 37-62, insbesondere S. 57ff.

Kontur wird der über die Metallspitze und eine Telegrafenteileitung gebildete Stromkreis unterbrochen. Die Kontur wird durch „kein-Stromfluss“, die übrige Bildfläche durch „Stromfluss“ repräsentiert. Auf der Empfängerseite ermöglichen die Stromschwankungen über eine gleiche, synchron mit dem Gerberzylinder laufende Apparatur eine Reproduktion des Schwarzweiß-Bildes auf elektrochemischem oder elektromechanischem Wege.²⁷

Die telegrafische Übermittlung von Bildern kostete viel Zeit bei bescheidener Bildqualität. Erst in den 1940er Jahren stand mit dem Abtasttheorem ein Qualitätskriterium für diese Transformation zwischen den Grundformen der Information zur Verfügung: Ein kontinuierliches Signal kann durch diskrete Elemente vollständig beschrieben werden, wenn die Abtastfrequenz mindestens das Zweifache der Bandbreite beträgt.²⁸

Hartleys logarithmisches Maß spielte in der Praxis keine Rolle, aber ein anderer von ihm angegebener Kennwert: Die maximale über ein technisches System übertragbare Informationsmenge sei dem Produkt aus Bandbreite und Übertragungsdauer proportional, das als konstant angenommen wurde.²⁹ Ein ähnliches Vergleichskriterium entwickelte der deutsche Ingenieurwissenschaftler Karl Küpfmüller in seinem *Zeitgesetz der elektrischen Nachrichtentechnik*.³⁰

Ein Durchbruch in der Praxis beförderte dann die weitere Theoriebildung: Das bei höheren Frequenzen, so beim Rundfunk, stärker ins Gewicht fallende Rauschen, war Hintergrund einer Erfindung des bei ITT (International Telephone & Telegraph Corporation) tätigen britischen Ingenieurs Alec H. Reeves im Jahr 1938. Der Zweck des mit Elektronenröhren aufgebauten *Electric Signaling System* sei, komplexe Schwingungen, wie Sprache, ohne Beeinträchtigung zu übertragen. Dazu werden die Schwingungen mit Abtastung in eine endliche Zahl von Amplitudenwerten zerlegt. Anschließend werden die Amplitudenwerte durch einen Signalcode ausgedrückt. Solange die Empfangsapparatur die Signalimpulse identifizieren kann, werde eine praktisch störungsfreie Nachrichtenübertragung möglich.³¹

27 Vgl. Arthur Korn, Bildtelegraphie, Berlin, Leipzig 1923, S. 7ff.

28 Vgl. Claude E. Shannon, Communication in the Presence of Noise, in: Proceedings of the Institute of Radio Engineers 37, 1949, S. 10-21, insbesondere S. 11f. Wegen dieser Veröffentlichung wird das Abtasttheorem in der Regel mit Shannon verbunden. Lücke merkt dazu an, dass es auch in Arbeiten von technischen Praktikern eine Rolle spielte, und Mathematiker ohne Kenntnis der technischen Relevanz die damit aufgeworfenen mathematischen Probleme gelöst haben. Vgl. Hans Dieter Lücke, Zur Entstehung des Abtasttheorems, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift 31, 1978, S. 271-274.

29 Vgl. Hartley (wie Anm. 24), S. 554. Das Produkt aus Bandbreite und Übertragungszeit bei Übertragung der gleichen Nachricht beträgt 7 (Fernschreiber), 2,5 (Siemens-Schnelltelegraf), 80 (gesprochen über Telefon) und 330 (Bildtelegrafie). Angaben nach F. Lüschen, Modern Communication Systems, in: The Journal of the Institution of Electrical Engineers 71, 1932, S. 776-798, hier S. 786.

30 Vgl. K. Küpfmüller u. P. Storch, Fernsprechen und Fernschreiben, in: Europäischer Fernsprehdienst 51, 1939, S. 5-18, hier S. 8.

31 Nach der Patentschrift für US-Patent, Nr. 2272070, erteilt am 3.2.1942, S. 1.

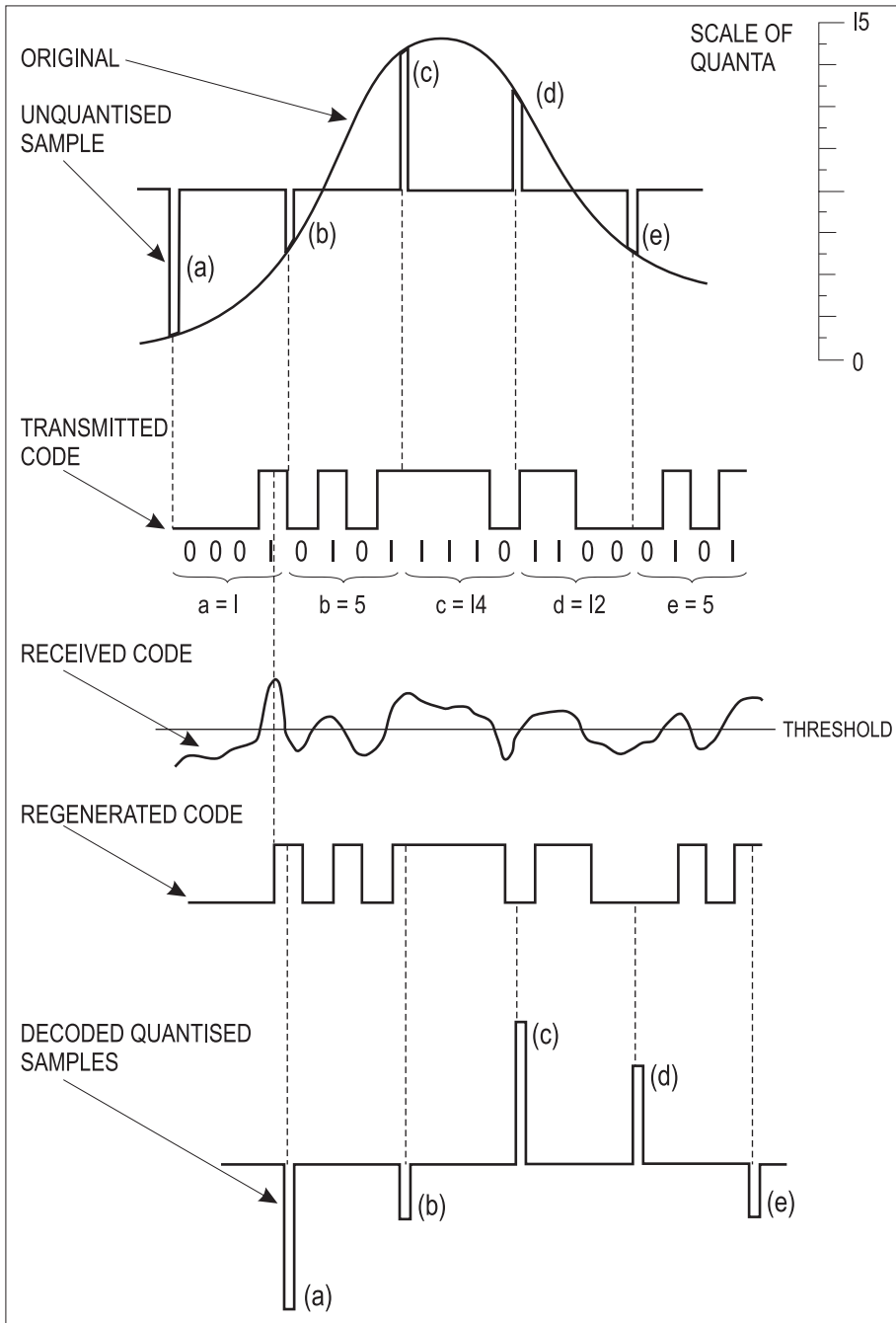


Abb. 3: Signaltransformation bei PCM. Quelle: Kenneth W. Cattermole, Principles of Pulse Code Modulation, London 1969, S. 17.

Das Diagramm (s. Abb. 3, S. 287) zeigt, wie die abgetasteten Amplitudenwerte in einer von 0 bis 15 reichenden Skala zahlenmäßig erfasst werden. Für die Übertragung werden die 16 Werte, die den Amplituden mit der Quantisierung³² zugeordnet wurden, durch einen vierstelligen Binärcode ausgedrückt und als Folge von zweiwertigen Impulsen gesendet. Das Signal kommt auf der Empfängerseite (Received Code) infolge von Störungen deformiert an. Aber im Unterschied zu der Übertragung kontinuierlicher Signale bereitet das bei der *Puls-Code-Modulation* (PCM) – so die für die Erfindung von Reeves eingeführte Bezeichnung – keine Probleme. Je nachdem, ob das Signal während eines bestimmten Zeitabschnittes einen Wert oberhalb oder unterhalb des Schwellenwertes (Threshold) aufweist, wird dieser durch die Werte 1 oder 0 des Binärcodes dargestellt. Durch Dekodierung des regenerierten Codes kann in einem weiteren Schritt die Form des Ausgangssignals rekonstruiert werden.

Worin besteht der mit PCM verbundene Fortschritt gegenüber dem vorherigen Stand der Technik? Die Veränderung von Nachrichten und Informationen zum Zwecke der technischen Verarbeitung war jedenfalls nicht neu. Bei der Telegrafie wurden von Anfang an Schriftzeichen als elektrische Impulse übertragen, bei der Telefonie Schallschwingungen durch elektrische Ströme repräsentiert. Im ersten Fall sind Nachricht und Signal diskret, im letzteren kontinuierlich. Aber in beiden Fällen besteht eine Entsprechung – eine Analogie³³ – zwischen den Formen von Nachricht und Signal. Mit technischen Mitteln war es nicht möglich, die Grundform der Information zu verändern. Bildtelegrafie und Zeitmultiplexverfahren³⁴ stellten Ansätze zur Überwindung dieser Hürde dar. Der Durchbruch gelang mit PCM, einem Modulationsverfahren, das in zwei Verarbeitungsschritten – Abtastung und Quantisierung – ein kontinuierliches Signal in ein sowohl zeit- als auch wertdiskretes Signal übersetzt. Damit erhielten die Nachrichtentechniker die Möglichkeit, Sprache zu telegrafieren. Darüber hinaus demonstrierte das Verfahren, dass die Transformati-

32 „Quantization means that each set of small ranges into which a larger range may be divided is assigned a single discrete number. ... Quantization permits the approximate representation of a continuously varying function by a set of discrete values.“ Nach Harold S. Black, *Modulation Theory*, Toronto 1953, S. 59.

33 Analogie wird hier im Sinne von Entsprechung und Abbildung verstanden. Zu ihrer erkenntnistheoretischen Funktion vgl. Mary B. Hesse, *Models and Analogies in Science*, Notre Dame 1966.

34 Multiplexverfahren sind verbunden mit Modulation. Bei Frequenzmultiplex wird die gesamte Bandbreite eines Kanals auf mehrere Signale aufgeteilt, die mit Trägersignalen verschiedener Frequenz moduliert wurden. Bei Zeitmultiplex muss das zu übertragende Signal so umgeformt werden, dass es nur in periodischen Intervallen einen von Null verschiedenen Wert annimmt. In den zeitlichen Zwischenräumen lassen sich die Impulse eines bzw. mehrerer weiterer Signale übertragen. Das ursprünglich mit der Telegrafie verbundene Zeitmultiplexverfahren fand ab den 1930er Jahren auch in der Telefonie einen Anwendungsbereich.

on zwischen den Grundformen der Information, heute als Analog-Digital-Wandlung und Digital-Analog-Wandlung bezeichnet, automatisch ausgeführt werden kann.³⁵ Darin besteht die fundamentale Bedeutung der PCM für die gesamte informationstechnische Entwicklung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Während des Krieges wurde PCM für eine abhörsichere Sprechfunkverbindung (Project X) bei den Bell Telephone Laboratories entwickelt und die Verwendungsmöglichkeiten im Fernsprechnetz untersucht.³⁶ Die Veröffentlichung *The Philosophy of PCM* durch Bell-Wissenschaftler, darunter Shannon, war Ergebnis einer intensiven Auseinandersetzung mit der neuen Modulationstechnik. Im Zentrum steht ein Vergleich zwischen PCM und der Frequenzmodulation (FM), einem gegen Störungen sehr leistungsfähigen Modulationsverfahren auf der Basis des kontinuierlichen Signals: PCM führe bei Erweiterung der Bandbreite zu einem exponentiellen Wachstum des Störabstands (einer Kenngröße, definiert durch ein Verhältnis zwischen Nutzsignal und Störsignal), während dieser bei FM nur linear wachse. Die Autoren betrachteten das Verhältnis von FM zu PCM in Analogie zu dem zwischen Analog- und Digitalcomputer. Während bei dem Analogrechner kleine Fehler mit der Zahl der Rechenoperationen anwachsen könnten, würden diese beim Digitalcomputer nicht akkumulieren. Bei PCM könne das Signal immer wieder regeneriert werden. Allerdings seien PCM-Sende- und Empfangsgeräte aufwändiger als die anderer Modulationsverfahren. Wenn die Autoren abschließend betonten, dass PCM ideal für die Zeitmultiplex-Übertragung sei, deutet sich ein Perspektivwechsel an: Das Hauptargument für die Einführung der aufwändigen Modulationstechnik bilden nicht mehr Störungen, sondern wirtschaftliche Erwägungen im Hinblick auf die erwartete Expansion des Nachrichtenaufkommens.³⁷

- 35 Zu den Möglichkeiten der technischen Realisierung siehe W. Krägeloh, Analog/Digital- und Digital/Analog-Umsetzer, in: Karl Steinbuch (Hg.), Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung, Berlin u. a. 1962, S. 756-778. Die in der technischen Fachsprache verwendeten Begriffe sind nicht exakt: Analog und digital eignen sich nicht zur Charakterisierung von Signalen und Informationsquellen. Die Formulierung analoges Signal provoziert die Frage, analog zu was? Die Bezeichnung digital, wie auch Digitaltechnik, ist problematisch, da sie zwar auf eine Informationsdarstellung mit unterschiedenen abzählbaren Zuständen rekurriert, diese aber nicht Ziffern sein müssen. In den Erläuterungen zu der Norm DIN 44300, Informationsverarbeitung. Begriffe/Allgemeine Begriffe, Teil 1, November 1988, S. 7, heißt es: „Für einige in der Norm DIN 44300 benutzte allgemeine Begriffe, wie Information, digital, analog, werden keine Definitionen gegeben. ... Der Ausschuß vertritt die Meinung, daß die Verwendung des Adjektivs diskret nicht nur im Sprachgebrauch der Mathematik treffender wäre als die des Adjektivs digital. Dennoch unterblieb die Ersetzung, weil sie sich gegen bestehende Sprachgewohnheit nicht durchsetzen ließe.“
- 36 Vgl. Sidney Millman (Hg.), A History of Engineering and Science in the Bell System. Communications Sciences (1925-1980), AT&T Bell Laboratories 1984, S. 403-414.
- 37 Vgl. B. M. Oliver, J. R. Pierce u. C. E. Shannon, The Philosophy of PCM, in: Proceedings of the Institute of Radio Engineers 36, 1948, S. 1324-1331.

Entgegen manchen Erwartungen kam es in den 1950er und 1960er Jahren zu keiner schnellen Verbreitung von PCM – wie auch nicht des Digitalcomputers. Der lange die Nachrichtentechnik bestimmende Mangel an Bandbreite war einem relativen Überfluss gewichen. In einem Überblicksbeitrag zum Stand der PCM-Entwicklung ging Reeves nicht davon aus, dass das Telefonsystem unbedingt auf die neue Technik umgestellt werden muss. Es sei „a healthy cold shower“ für einen Pionier, wenn sein „wonderful new system“ mit verbesserten Versionen der alten Technik konkurrieren müsse. In seinen Visionen für das Jahr 2000, die sich in Anbetracht von Internet und Multimedia als realitätsnah erweisen sollten, erscheint PCM als Rückgrat eines globalen Kommunikationssystems. Dieses sollte die Verbindung mit den bei zunehmender beruflicher Spezialisierung notwendigen „Informationsbereitstellungszentren“ gewährleisten, zur Bildübertragung im großen Umfang dienen und insgesamt zu der Dezentralisierung der Arbeitswelt beitragen.³⁸

Das entscheidende technische Hindernis für die Durchsetzung einer digitalen Informationstechnik bildete längere Zeit der Mangel an geeigneten Speicherelementen.³⁹ Eine Wende wurde schließlich durch die Leistungen der Fertigungs- und der Materialtechnik möglich: Mikrominiaturisierung und integrierte Schaltkreise erlaubten, die zur binär-digitalen Repräsentation von Information verwendbare Schalterfunktion massenhaft und kostengünstig zu realisieren.⁴⁰ Die Entscheidung der Deutschen Bundespost im Jahr 1979, das Fernmeldenetz nur noch digital auszubauen, ist nur ein Moment des Umschwungs in der Informationstechnik, deren Perspektive ab einem gewissen Zeitpunkt allein auf der Basis des digitalen Prinzips gesehen wurde.

Die *Mathematical Theory of Communication* – für Information wird eine Maßeinheit definiert

Die Erfindung der PCM bildete den technischen Hintergrund für *The Mathematical Theory of Communication* von Shannon. Mit dem Anspruch einer „allgemeinen Theorie“ der Nachrichtenübertragung steht die Studie in Kontinuität zu dem Beitrag von Hartley. Shannon hob hervor, dass die semantischen Aspekte der Kommunikation für die Technik irrelevant seien: Es gehe nicht um die Bedeutung einer Nachricht für eine Person, sondern um die exakte oder zumindest angenäherte Reproduktion der Nachricht, die an

38 Vgl. Alec H. Reeves, The past, present, and future of PCM, in: IEEE spectrum 2, 1965, S. 58-63.

39 Zu diesem technischen Engpass und den Anfängen seiner Überwindung vgl. Emerson W. Pugh, Memories that shaped an Industry, Cambridge (Mass.), London 1984.

40 Grundlegend zur Geschichte elektronischer Bauelemente: Ernest Braun u. Stuart MacDonald, Revolution in Miniature. The history and impact of semiconductor electronics, Cambridge u. a. 1978; Vgl. auch Paul Ceruzzi, Electronics Technology and Computer Science, 1940-1975: A Coevolution, in: Annals of the History of Computing 10, 1989, S. 257-275.

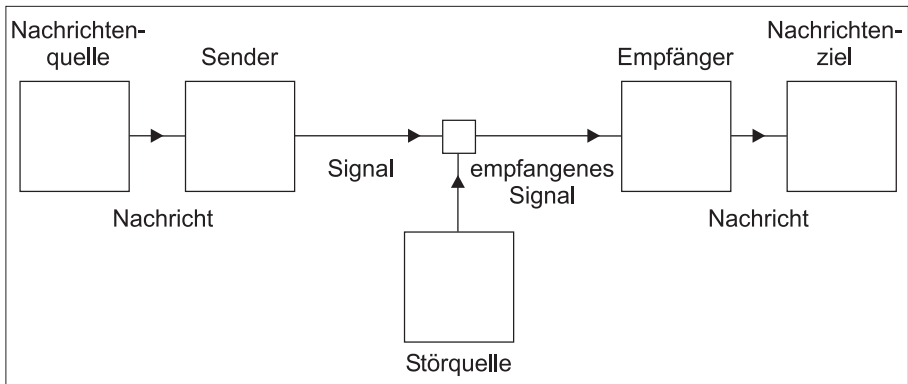


Abb. 4: Allgemeines Nachrichtenübertragungssystem. Quelle: Claude E. Shannon u. Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana ¹⁰1964, S. 7.

einem anderen Ort ausgewählt wurde, am Empfangsort. Das sei das fundamentale Problem der Kommunikation.⁴¹

Im Bewusstsein der Wandelbarkeit der Gestalt der Information ging Shannon von einem allgemeinen Nachrichtenübertragungssystem mit den Elementen Sender – Kanal – Empfänger aus (s. Abb. 4). Er definierte die nachrichtentechnischen Systeme nicht über die Artefakte, sondern anhand der Form von (ursprünglicher) Nachricht und (zu übertragendem) Signal, und unterschied:

- diskrete Systeme, z. B. bei der Telegrafie: Nachricht und Signal stellen eine Sequenz von diskreten Zeichen dar
- kontinuierliche Systeme, z. B. bei Radio- oder Fernsehübertragungen: Nachricht und Signal sind kontinuierliche Funktionen
- gemischte Systeme, z. B. die PCM-Übertragung von Sprache: Es kommen sowohl kontinuierliche als auch diskrete Größen vor.

Im Zentrum der *Informationstheorie*⁴² – so die Bezeichnung mit der die *Mathematical Theory of Communication* in die Geschichte einging – stehen Überlegungen zu dem Verhältnis Nachrichtenquelle – Übertragungskanal. Ein Kanal könne nie eine seine Kapazität übersteigende Informationsmenge übertragen. Shannon stellte auch Überlegungen zu der Kapazität des kontinuierlichen Ka-

41 Vgl. Claude E. Shannon u. Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana ¹⁰1964, S. 31. Die Studie wurde zuerst 1948 im Bell System Technical Journal veröffentlicht und ab 1949 mit einer allgemein verständlichen Einführung von Warren Weaver in mehreren Auflagen als Buch publiziert. Zu dem allgemeinen Hintergrund der Studie, ihrer Einordnung in die Theorieentwicklung und dem Zusammenhang mit anderen Forschungsarbeiten von Shannon vgl. Hagemeyer (wie Anm. 23), S. 422-439.

42 Diese Kurzbezeichnung wurde kritisiert, da sie Missverständnisse fördere: Der Name *Theory of Signal Transmission* wäre eher angemessen. Vgl. Yehoshua Bar-Hillel, *Language and Information*, Jerusalem 1964, S. 11, S. 285-290.

nals an. Jedoch fungierte das diskrete System als Modell, auf welches Nachrichten in kontinuierlicher Gestalt über Abtasten und Quantifizieren mit dem Resultat eines gemischten Systems bezogen werden sollen. Im Unterschied zu Hartley und Küpfmüller nahm Shannon die Störproblematik auf. Auch ein durch Rauschen gestörtes Nachrichtenübertragungssystem könne bei geeigneter Codierung eine Nachricht mit einem willkürlich kleinen Fehler übertragen. Dafür sollte, im Hinblick auf eine wirtschaftliche Übertragung, in der Nachricht vorhandene Redundanz beseitigt und der Korrektur von Übertragungsfehlern dienende Redundanz hinzugefügt werden. Im Lichte der Informationstheorie wird Codierung, d. h. die Anpassung der Gestalt der Information an die Übertragungsbedingungen, zum zentralen Moment der Nachrichtentechnik. Später veranschaulichte Shannon die Leitidee am Beispiel eines Sägewerkes, das Holz für den Abtransport vorbereitet. Es sei unmöglich, eine Holzmenge, die die Transportkapazität übersteigt, zu transportieren. Sollte jedoch die Menge gleich oder kleiner der Transportkapazität sein, entscheide der richtige Zuschnitt über den vollständigen Abtransport.

Zur Einordnung der von Shannon gewählten Maß- bzw. Zählinheit für Information zunächst eine Vorbemerkung: Mit dem Bit (binary digit) werden Auswahlvorgänge zwischen zwei Möglichkeiten (Binärentscheidungen) quantifiziert.⁴³ Unabhängig von Sachtechnik treffen Menschen Entscheidungen, die als Ergebnis eines Informationsbildungsprozesses betrachtet werden können.⁴⁴ Binärentscheidungen, die auf Lochkarten gespeichert werden können, wurden in der Technik für Steuerungen bereits vor der Ausbildung einer digitalen Informationstechnik genutzt. Wegen ihrer zweiwertigen Bauelemente (Schalter) besteht in einer von Elektrotechnik geprägten Informationstechnik eine Präferenz für die binäre Darstellung. Zudem erlaubt der Binärcode eine effizientere Informationsspeicherung als die Verwendung von höherwertigen Codes.⁴⁵

Shannon nutzte Binärentscheidungen als formales Mittel zur Quantifizierung von kommunizierbarer Information. Das Verfahren, um den informationellen Aufwand bei der Nachrichtenübertragung zu bestimmen, erinnert an ein Ratespiel mit Ja oder Nein als ausschließlich zulässigen Antworten. So kann mit fünf Binärentscheidungen ein bestimmtes Zeichen aus dem 32 Zeichen umfassenden Repertoire eines Fernschreibers selektiert werden. Je größer die Menge, aus der gewählt wird, oder je seltener ein Zeichen ist, desto größer ist der so genannte Informationsgehalt (amount of information). Es ist

43 Zum Ursprung des Ausdrucks Bit, vgl. Henry S. Tropp, Origin of the Term Bit, in: *Annals of the History of Computing* 10, 1989, S. 336-339.

44 Vgl. Wilhelm Steinmüller, *Informationstechnologie und Gesellschaft. Einführung in die angewandte Informatik*, Darmstadt 1993, S. 243-245.

45 Zur Speicherung einer bestimmten Menge von Zahlen sind bei Verwendung des Dualzahlensystems im Vergleich mit dem Dezimalzahlensystem nur etwa ein Drittel der Speicherelemente erforderlich. Vgl. Louis Couffignal, *Denkmaschinen*, Stuttgart 1955, S. 43f. Zu den Anfängen des Binärcode vgl. Colin E. Cherry, The Communication of Information, in: *American Scientist* 40, 1952, S. 640-664, hier S. 642f.

offensichtlich, dass allein auf der Basis einer diskreten Informationsdarstellung diese Methode zur „Messung“ von Information angewandt werden kann. In einer Summenformel der Produkte der relativen Häufigkeit der Zeichen und ihres Logarithmus Dualis zur Bestimmung des Informationsgehaltes (measure of information, choice and uncertainty) $H = - \sum p_i \log p_i \dots$ werden auch verschiedene Häufigkeiten von Zeichen berücksichtigt.⁴⁶ Darin besteht der wesentliche Unterschied zu der von Hartley entwickelten Formel. Für die Informationstheorie ist die Wahrscheinlichkeitsrechnung von fundamentaler Bedeutung.⁴⁷

Zur Rezeption der Informationstheorie

Die Ähnlichkeit der Gleichung von Shannon mit derjenigen der physikalischen Entropie führte zu einer längeren Kontroverse in der Scientific Community, angeregt durch die These des Physikers Leon Brillouin, dass Information und Entropie denselben Charakter aufweisen.⁴⁸ Mit Entropie wird die Gerichtetheit energetischer Vorgänge erfasst. Ludwig Boltzmann formulierte 1877 den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik als statistisches Gesetz und postulierte für geschlossene physikalische Systeme ohne Phasenübergänge die stetige Zunahme von Entropie. Die Entropie (griechisch: Verwandlung, terminologischer Gegensatz zu Erhaltung beim Prinzip der Erhaltung der Energie) ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit der durch die Molekülverteilung bestimmten inneren Zustände eines physikalischen Systems. Der stochastische Charakter der Gleichungen für die Entropie und den Informationsgehalt führt zu einer mathematischen Analogie. Aber

- 46 Vgl. Shannon/Weaver (wie Anm. 41), S. 9f., S. 32, S. 48-53. In der Gleichung wird mit einer logarithmischen Funktion für die Zahl der Möglichkeiten gearbeitet, da diese sich linear mit dem wichtigen technischen Parameter, der Anzahl der Schaltelemente, verändert. Ein Relais mit zwei Schaltpositionen kann einen „Informationsgehalt“ von einem Bit speichern, zwei Relais 2 Bit ..., entsprechend 2^1 , 2^2 , ... Möglichkeiten. Zu dem speziellen Verständnis der Informationstheorie und zentralen Begriffen vgl. auch Donald M. MacKay, Unbestimmtheit, Ungewißheit und Informationsgehalt, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift 16, 1963, S. 617-620.
- 47 Vgl. ebd., S. 85. Im Hinblick auf das theoretische Grundverständnis verdanke die Informationstheorie Norbert Wiener sehr viel, bekundet Shannon. Dieser habe das Kommunikationsproblem als erster statistisch formuliert. Es ist anzumerken, dass bereits der Morse Code auf einem anhand der Mengenverteilung der Buchstaben in den Setzkästen der Druckereien gewonnenen statistischen Verständnis basiert. Der häufigste Buchstabe der englischen Sprache e wird mit dem kürzesten Zeichen ausgedrückt. Mit einem Code, der die relative Häufigkeit der Buchstaben der englischen Sprache berücksichtigt, sind zur Übertragung jedes Buchstaben 0,6-1,3 Bit erforderlich, ohne Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit dagegen 4,76 Bit! Zu der Bedeutung von Codes in der Nachrichtentechnik, die eine Zuordnungsvorschrift zur eindeutigen Abbildung der Zeichen eines Zeichenvorrats auf einen anderen darstellen, vgl. Volker Aschoff, Vom Buchstaben-Alphabet zum Telegraphen-Code, in: Kultur und Technik 3, 1989, S. 160-166.
- 48 Vgl. Leo Brillouin, Science and Information Theory, New York 1963 und die Beiträge in: Harvey S. Leff u. Andrew F. Rex (Hg.), Maxwell's Demon Entropy, Information, Computing, Princeton 1990.

ihre Bedeutung ist für Physik und Nachrichtentechnik gänzlich verschieden, wie mit Hilfe der eingangs eingeführten allgemeinen Definition von Information verdeutlicht werden kann: In der Physik ist das Entropiekonzept im Zusammenhang der Hauptsätze der Thermodynamik relevant. Entropie dient zur Kennzeichnung der Formen bzw. Strukturen physikalischer Systeme bei energetischen Prozessen. Da Physiker sich mit Beschreibung und Interpretation von Naturprozessen beschäftigen, ist für sie die semantische und pragmatische Dimension des Informationsbegriffs entscheidend.⁴⁹ Dagegen dient Shannons Formel des Informationsgehaltes zur wahrscheinlichkeitstheoretischen Analyse der formalen Struktur kommunizierbarer Information, wie der Zeichenfolgen in Codes und Schriftsprachen.⁵⁰ Untersucht wird das Darstellungspotenzial von Formen der Information, was auf die syntaktische Dimension des Informationsbegriffs abhebt.

In der Kontroverse um den Zusammenhang von Information und Entropie ging es letztendlich um die Grundsatzfrage, ob der Informationsbegriff aus dem Energiebegriff ableitbar ist, oder Information eine eigene Kategorie darstellt, wie Norbert Wiener mit einem berühmten Statement betont: „Information ist Information, weder Masse noch Energie. Kein Materialismus, der dieses nicht berücksichtigt kann den heutigen Tag überleben.“⁵¹ Shannon benutzte die Bezeichnung Entropie in Verbindung mit seiner Gleichung möglicherweise nur aus einer Laune, denn in seinem wissenschaftlichen Werk spielt der Entropiebegriff der Thermodynamik keine Rolle.⁵² Er äußerte zurückhaltend, dass mögliche Verbindungen zu der Physik bei der Anwendung seiner Theorie in der Technik nicht beachtet werden müssten.⁵³ Die Grundidee der Informationstheorie sei, Information wie eine physikalische Größe zu behandeln, vergleichbar Masse und Energie, so Shannon.⁵⁴ Physikalische Größen sind durch einen Zahlenwert und eine

49 Der Syntax, Semantik und Pragmatik umfassende ganzheitliche Informationsbegriff ist auch für das ambitionierte Forschungsvorhaben von Weizsäckers maßgeblich, die Physik über den Informationsbegriff zu vereinheitlichen und somit Materie und Energie als Manifestationen von Information abzuleiten. Vgl. Holger Lyre, *Quantentheorie und Information*, Wien, New York 1998, S. 54-58.

50 Vgl. Claude E. Shannon, *Prediction and Entropy of Printed English*, in: Neil J. A. Sloane u. Aaron D. Wyner (Hg.), *Claude Elwood Shannon. Collected Papers*, New York 1993, S. 194-208 (zuerst 1950). Küpfmüller führte eine ähnliche Untersuchung über die deutsche Sprache durch: Vgl. Karl Küpfmüller, *Die Entropie der deutschen Sprache*, in: *Fernmeldetechnische Zeitschrift* 7, 1954, S. 265-272.

51 Norbert Wiener, *Kybernetik* (zuerst 1948 unter dem Titel *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine* erschienen), Düsseldorf u. a. 1992, S. 192.

52 Vgl. die biografische Notiz von John Horgan, *Profile – Claude E. Shannon*, in: *Scientific American*, 1990, S. 16f.

53 Vgl. Claude E. Shannon, *Information Theory*, in: Sloane/Wyner (wie Anm. 50), S. 212-220, hier S. 215.

54 Vgl. Claude E. Shannon, *Recent Developments in Communication Theory*, in: *Electronics* 23, 1950, S. 80-83, hier S. 80.

Maßeinheit gekennzeichnet. Sie bezeichnen Attribute oder Eigenschaften von Dingen, gewonnen durch die Zurückführung qualitativer Bestimmungen auf quantitative. Die Entwicklung eines Vergleichsverfahrens ist die Grundlage für die Definition einer Maßeinheit.⁵⁵ Messen bedeutet Vergleichen – damit können sehr verschiedene Erscheinungen in einen Zusammenhang gebracht und der mathematischen Behandlung zugänglich gemacht werden.⁵⁶

Die Anziehungskraft der Informationstheorie auf Forscher unterschiedlicher Fachrichtungen, bis hin zu Psychologen und Sozialwissenschaftlern, ist auf das Prestige der mathematisierten (exakten) Naturwissenschaften in der Nachkriegszeit zurückzuführen, die als Ideal der Wissenschaft galten. Später wurde zu den vielfältigen Anwendungsversuchen bilanziert, dass diese zu einem methodischen Desaster geführt hätten: „In actual fact, the theory of signal transmission or activating impulses has little or nothing to teach, that could be extended or applied to human communication, social behavior, or psychology, theoretical or experimental.“⁵⁷ Zu der Entwicklung in der Biologie, deren Terminologie stark durch die Informationstheorie beeinflusst wurde, wird konstatiert, dass diese eher als diskursives denn als mathematisches Werkzeug fungiere.⁵⁸ Die Enttäuschungen seien auf Unklarheiten bezüglich der Grenzen der Informationstheorie zurückzuführen, fasste MacKay zusammen, sowie die fehlende Unterscheidung zwischen einer allgemeinen Konzeption von Information und den Ansätzen diese zu quantifizieren.⁵⁹

Die Informationstheorie ist eine Ingenieurtheorie auf hohem Abstraktionsniveau – gewonnen in Auseinandersetzung mit den Problemen und Perspektiven der Nachrichtentechnik.⁶⁰ Sie wurde von Theoretikern der Nachrichten-

- 55 Zu der Theorie der physikalischen Größe vgl. Julius Wallot, Größengleichungen, Einheiten und Dimensionen, Leipzig 1953, S. 1, S. 45ff. Vgl. auch Hilmar Wöhner, Grundsätzliche Betrachtungen zur Maßsystemfrage und zum Begriff der „physikalischen Dimension“, in: Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 8, 1954/55, S. 249-287, insbesondere S. 253f.
- 56 Vgl. Michael Otte, Das Formale, das Soziale und das Subjektive, Frankfurt a. M. 1994, S. 338.
- 57 Vgl. Fritz Machlup u. Una Mansfield, Cultural Diversity in Studies of Information, in: Dies. (Hg.), The Study of Information. Interdisciplinary Messages, New York u. a. 1983, S. 3-56, hier S. 17. Vergleichbare Missverständnisse existieren bezüglich der Informationsverarbeitung durch den Computer, der nicht zur Lösung von Problemen geeignet ist, die primär die semantische oder pragmatische Dimension des Informationsbegriffs betreffen. Vgl. Heinz Zemanek, Informale und formale Beschreibung, in: IBM-Nachrichten 22, 1972, S. 175-179 u. 279-283, insbesondere S. 279f.
- 58 Vgl. Lily E. Kay, Who wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code, Stanford 2000, S. 126.
- 59 Vgl. Donald M. MacKay, The wider Scope of Information Theory, in: Machlup/Mansfield (wie Anm. 57), S. 485-492, hier S. 491f.
- 60 Zur Bedeutung von Ingenieurtheorien siehe die Arbeiten von Edwin T. Layton, z. B.: Mirror Image Twins. The Communities of Science and Technology in 19th Century America, in: Technology and Culture 12, 1971, S. 562-580. Vgl. auch Kurt Klöppel, Die Entwicklung der Ingenieurwissenschaften, in: Zeitschrift des Verein Deutscher Ingenieure 103, 1961, S. 1145-1153. Die Verwendung anspruchsvoller mathematischer Ansätze in der

technik, auch in Deutschland, schnell rezipiert.⁶¹ Ihre Bedeutung wurde in einer allgemeinen Orientierungsfunktion gesehen, weniger als direkte Hilfe bei der praktischen technischen Entwicklung. Die Informationstheorie werfe ein neues Licht auf die alte Frage nach der möglichst rationellen Übertragung der Nachrichten, betonte Küpfmüller. Die Auffassung, dass Veränderungen der Bandbreite zwangsläufig zu einer entgegen gesetzten Veränderung der Übertragungszeit führt, war überholt. Nicht das Produkt aus Bandbreite und Zeit stellt eine Konstante dar, sondern der zu übertragende Informationsgehalt in Bit war konstant.⁶² Auf diese Erkenntnis konnte sich die Entwicklung von verbesserten Modulationsverfahren, die über PCM hinausgehen, stützen. Geklärt war, was ein ideales Nachrichtenübertragungssystem zu leisten vermag und was nicht geht: „In den Bereich des Unmöglichen gehört die Erfindung eines Systems, das bei jedem beliebigen Verhältnis von Sendeleistung zu Störleistung den Störabstand der Nachrichtenwiedergabe mit wachsender Bandbreite verbessern will.“⁶³

Durch das Bit erhielten Ingenieure eine sichere Grundlage zur Beurteilung des Aufwandes bei Übertragung unterschiedlicher Formen von Information, der Evaluierung von Codes und für den Vergleich der Kapazitäten von Übertragungskanälen und Informationsspeichern. Damit erfüllt die Definition von Information als physikalischer Größe die gleiche Funktion, wie die Klärungen zu Energie mit dem Energieerhaltungssatz im 19. Jahrhundert. Fasziniert von der Möglichkeit mit Hilfe des Wirkungsgrades die Effizienz von Kraftmaschinen und Energieumwandlungsprozessen zu bewerten, formulierten damals führende britische Ingenieure, dass Ökonomie („the production of every desired effect by those means which are exactly adequate to produce it and no more“) das Kriterium für wirklichen technischen Fortschritt

Technik wurde begünstigt durch die Entwicklung der Mathematik zu einer Strukturwissenschaft. Vgl. dazu Sybille Krämer, *Symbolische Maschinen. Die Idee der Formalisierung im geschichtlichen Abriß*, Darmstadt 1988, insbesondere S. 122f.

- 61 Küpfmüller berücksichtigte bereits in der zweiten Auflage (1952) seiner 1949 erschienenen *Systemtheorie der elektrischen Nachrichtentechnik* Ergebnisse der Informationstheorie. Neben ihm ist u. a. zu erwähnen: Hans F. Mayer: Die Bedeutung der Informationstheorie für die Nachrichtentechnik, in: *Fachberichte des Verbandes Deutscher Elektrotechniker* 17, 1953, Teil IV, S. 1-6.
- 62 Das lässt sich mit einem Quader veranschaulichen, dessen Volumen den Informationsgehalt und dessen Kanten die Bandbreite B , die Zeitdauer T und den Störabstand r darstellen. Solange das Volumen gleich bleibt, kann der gleiche Informationsgehalt mit Quadern verschiedener Gestalt ausgedrückt werden. Eine Veränderung der Frontfläche $r \times B$ bedeutet eine Frequenzbandpressung bzw. -dehnung, wie sie durch PCM erreicht werden kann. Die Umformung der Grundfläche $B \times T$ verändert die Zeitdauer der Nachricht, wie es bei verschiedenen Bandgeschwindigkeiten eines Tonbandes der Fall ist. Vgl. Karl Küpfmüller, *Informationstheorie*, in: *Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens* 8, 1954/55, S. 25-48, hier S. 42f.
- 63 John R. Pierce, *Phänomene der Kommunikation. Informationstheorie – Nachrichtenübertragung – Kybernetik*, Düsseldorf u. a. 1965 (zuerst 1961), S. 207.

sei.⁶⁴ Allerdings ist für die Effizienz der Nachrichtenübertragung auf der Basis des diskreten Signals ein Preis zu entrichten, der durch den Aufwand für die Transformationstechnik bestimmt wird. Darum ist es kein Wunder, dass die Dominanz des digitalen Prinzips, die Shannon theoretisch antizipierte, sich in der Praxis der Informationstechnik erst nach längerer Zeit durchsetzte.

Schlussbemerkung

Mit der informationstechnischen Entwicklung im 20. Jahrhundert entstand eine für technische Zwecke vorteilhafte Repräsentation von Information, in die die gebräuchlichen Darstellungsformen Sprache, Schrift und Bild überführt werden können. Information in Gestalt einer Sequenz zweiwertiger elektrischer Impulse ermöglichte eine zuvor unbekannte Flexibilität der Verbindung mit materiellen oder energetischen Trägern zu ihrer Übermittlung über Raum und Zeit. Die theoretischen Klärungen konzentrierten sich in der Definition von Information als physikalischer Größe. Dabei wurde ein systemtheoretisches Verständnis in der Technik gefördert. Küpfmüller konstatierte die „Erweiterung des Begriffs der Nachricht“, der nicht mehr an die (unmittelbare) menschliche Sinneswahrnehmung gebunden ist: „Unter Nachricht im technischen Sinne verstehen wir eine zeitliche Folge wechselnder meßbarer Ereignisse; die Zeitfolge kann auch in Form einer räumlichen Anordnung (bei Speicherung – S. B.) abgebildet sein.“⁶⁵ Dieser „erweiterte Begriff der Nachricht“ ist identisch mit der als physikalische Größe definierten Information. Messtechnik ermöglicht, technische Zustände als Information zu erfassen: Materielle und energetische Phänomene gewinnen durch Messen eine informationelle Dimension. Physikalische Größen sind grundlegend für Ansätze, die die gesamte Technik als System modellieren: So definierte Günter Ropohl technische Sachsysteme durch die Kategorien Materie, Energie und Information in Kombination mit den Funktionen Wandlung, Transport und Speicherung.⁶⁶ Die praktische Relevanz der theoretischen Klärungen zu Information im Zusammenhang der Herausbildung von Systemtheorien zeigt der Aufschwung von Mess- und Regelungstechnik, die eine strategische Bedeutung für die Automatisierung technischer Anlagen erlangten.⁶⁷

64 Vgl. James Robert Napier, Walter Neilson u. W. J. Macquorn Rankine, Report on the Progress and State of Applied Mechanics, in: Proceedings of the Royal Philosophical Society of Glasgow 4, 1855/60, S. 207-230, hier S. 208.

65 Küpfmüller (wie Anm. 62), S. 26. Zur Bedeutung der Nachrichtentechnik für die Herausbildung des systemtheoretischen Ansatzes in der Technik vgl. Gerhard Wunsch, Geschichte der Systemtheorie, München, Wien 1985, S. 7, S. 70ff.

66 Vgl. Günter Ropohl, Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie, München, Wien 1979, hier S. 112, S. 175-179.

67 Vgl. F. V. A. Engel, Messen und Regeln als eigenständiges Fachgebiet der Technik, in: Zeitschrift des Verein Deutscher Ingenieure 91, 1949, S. 325-330. Als anspruchsvolles Ziel der Automatisierung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die Optimierung der Abläufe in großtechnischen Anlagen (Kraftwerke, Hüttenbetriebe) durch Ma-

Abschließend noch eine Bemerkung zu dem zu Beginn problematisierten Bezug zwischen Information und Wissen. Ein wesentliches Ergebnis der Klärungen zu Information ist die Erkenntnis, wie und in welchem Ausmaß die Gestalt von Information mit Sachtechnik – bei Invarianz der semantischen Ebene – verändert werden kann. Dabei zeigt sich die Mehrdimensionalität von *Information*. Gerade diese spricht gegen ihre Gleichsetzung mit Wissen. Während die Abstraktion von der inhaltlichen Bedeutung den Ingenieuren half, Wissen über *Information* zu gewinnen, sind die Nutzer moderner Informationstechnik in der Regel an den Inhalten interessiert. Daher müssen Informationen immer noch entsprechend des jeweiligen Erkenntnisinteresses geprüft und bewertet werden. Geändert hat die Informationstechnik die Rahmenbedingungen der Wissensbildung, wenn inzwischen Enzyklopädien auf CD-ROM Platz finden und das Internet die Recherche in entfernten Bibliotheken ermöglicht. Der technische Fortschritt muss jedoch nicht zwangsläufig zu allgemeinem Fortschritt führen, wie eine Klage des Wissenschaftstheoretikers Erhard Oeser zeigt: „Denn das größte Problem des heutigen Wissenschaftsbetriebes ist nicht die Produktion von falschen Informationen oder Desinformationen, durch deren Beseitigung und Vernichtung man etwas gewinnt, weil dadurch der Weg zur Wahrheit geöffnet wird, sondern das größte Problem ist die Produktion von irrelevanter Information oder scheinbarer Information, deren Bewertung und Entwertung genauso viel Zeit kostet wie die der relevanten Information. Und die Produktion von nicht-relevanten Informationen steigt, je wirkungsvoller und komfortabler die Informationskanäle werden.“⁶⁸

Anschrift des Verfassers: Dr. Siegfried Buchhaupt, Institut für Stadtgeschichte, Münzgasse 9, D-60311 Frankfurt, E-Mail: SBuchhaupt@t-online.de

schinisierung der Steuerungsprozesse mit Hilfe von Prozessrechnern formuliert. Vgl. dazu Hans Kaufmann, Informations-Verarbeitung und Automatisierung, München, Wien 1966 (zuerst 1961), insbesondere S. 18-21.

- 68 Erhard Oeser, Der Informationsbegriff in der Philosophie und in der Wissenschaftstheorie, in: Otto G. Folbert u. Clemens Hackl (Hg.), Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft, München 1986, S. 231-256, hier S. 254.