Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 42 (1951)

Heft: 19

Artikel: Über den Begriff der Information und der Übertragungskapazität in der Nachrichtentechnik

Autor: Weber, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061018

42. Jahrgang Nr. 19 Samstag, 22. September 1951

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Über den Begriff der Information und der Übertragungskapazität in der Nachrichtentechnik

Vortrag, gehalten an der 10. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik vom 22. Juni 1951 in Solothurn,

von *H. Weber*, Zürich

621.392

Es wird der Begriff «Information» erläutert und gezeigt, wie die Menge der Information eines langen Textes berechnet werden kann. Dazu wird Shannons Modell zur Herstellung eines reduzierten Textes gebraucht. Anschliessend folgt eine kurze Betrachtung des Begriffs «Übertragungskapazität».

Exposé de la notion de l'information et du mode de calcul de la quantité d'information d'un long texte, en faisant usage du modèle de Shannon pour l'établissement d'un texte réduit. Brèves considérations sur la notion de la capacité de transmission.

Die vorliegende Darstellung lehnt sich stark an verschiedene Veröffentlichungen von *Claude E. Shannon* an. Ihm kommt an der Schaffung der Informationstheorie zweifellos das grösste Verdienst zu. Um nicht ungerecht zu sein, ist am Schluss ein Literaturverzeichnis angegeben, das sehr interessante Arbeiten von weitern verdienten Autoren aufführt, ohne dass im Text besonders darauf Bezug genommen wird.

Überdenkt man die Begriffe «Information und Übertragungskapazität», so kommt man zum Schluss, dass beide Begriffe mit Energie etwas zu tun haben müssen. Jede Information, die wir mit unsern Sinnen aufnehmen, ist mit irgendeiner Energieübertragung verknüpft. Es ergeben sich unmittelbar zwei Fragen:

1. Welche minimale Energie ist notwendig, um ein Informationselement sicher empfangen zu können?
2. Wie kann man die Mindestanzahl von Energiequanten, die für eine Nachricht notwendig sind, angeben?

Die erste Frage berührt die Übermittlungskapazität. Infolge der stets vorhandenen Störungen kann eine Übermittlung nicht mit beliebig kleiner Energie in beliebig kurzer Zeit stattfinden. Ausserdem gibt es eine physikalische Grenze, die durch die Quantisierung der Energie gegeben ist.

Zunächst wollen wir uns der zweiten Frage zuwenden, uns dabei aber auf den Fall beschränken, dass die Nachricht in Form eines schriftlichen Sprachtextes vorliegt. Gegenüber dem gesprochenen Text weist der Schrifttext viel weniger Information auf, denn Klangfarbe, Stimmlage, Betonung, Tempo usw. sind nicht mehr vorhanden. Wir sind lediglich auf den intellektuellen Inhalt des Textes beschränkt, den wir getreu nach dem allgemeinen Schema der Fig. 1 übermitteln wollen. Für die Übermittlung wählt man zweckmässig Dualzeichen, d. h. Stromschritte und Pausen einheitlicher Zeitdauer, wie dies in vielen Telegraphiesystemen üblich ist. Ein solches Zeitelement, Stromschritt oder Pause, kurz «Bit» genannt, dient nun gerade als Grundeinheit der Information. Die zweite Frage lautet infolgedessen: Welche Anzahl Bit sind pro Textbuchstaben mindestens notwendig, um einen vorliegenden Text zu übertragen? Mit 1 Bit lassen

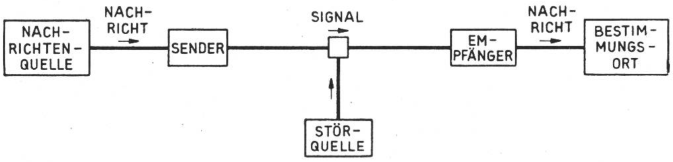

Fig. 1
Schema einer Nachrichtenübertragung

sich 2 Begriffe übertragen, mit 2 aufeinanderfolgenden Bit 4 Begriffe, mit 3 Bit 8 Begriffe, mit n Bit 2^n Begriffe. Mit dem 5er-Code lassen sich 32 Begriffe übertragen, d. h. 26 Buchstaben, Pause, 2 Indikatorzeichen, ob Buchstaben oder Ziffern zu

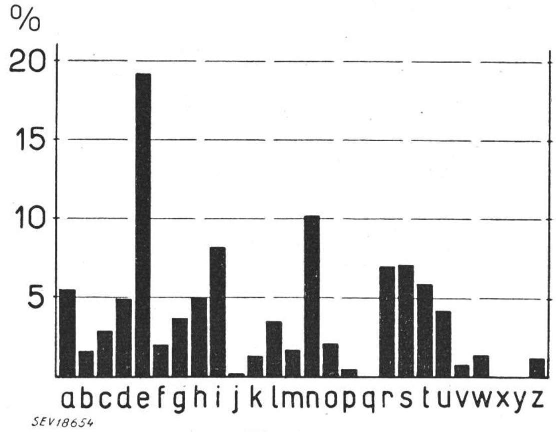

Fig. 2
Häufigkeit der Einzelbuchstaben in der deutschen Sprache

drucken sind u. a. m. Es sei der Einfachheit halber vorausgesetzt, dass in unserem Text nur Buchstaben vorhanden sind. Auch die Wortzwischenräume und Satzzeichen seien weggelassen. Im allgemeinen hat diese Massnahme keine Einbusse an der Verständlichkeit der Nachricht zur Folge. Wir müssen also 26 Begriffe = 26 Buchstaben übertragen. Dazu braucht man $2^n = 26$, also

$$n = {}^{2}\log 26 = 4{,}7 \text{ Bit/Buchstabe}$$

Nun aber kommen in einem Text nicht alle Buchstaben des Alphabetes gleich häufig vor (Fig. 2). Dies hat schon die Pioniere vor hundert Jahren dazu geführt, den Telegraphencode der Häufigkeit entsprechend zu wählen, z. B. im Morsealphabet E = Punkt, T = Strich, N = Strichpunkt usw. Das Prinzip der bestangepassten Codierung lässt sich sehr gut an einer Sprache mit nur 4 Buchstaben mit den Häufigkeiten $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_8$ illustrieren (Fig. 3*C*). Die nach rechts aufsteigenden Äste bedeuten Pause oder 0, die absteigenden Äste Stromschritt oder 1. Die Aufstellung in Fig. 4 zeigt, dass die angepasste Codierung im Durchschnitt weniger Bit beansprucht als die einheitliche Codierung. Diese letzte benötigt 2 Bit pro Buchstabe, die erstere dagegen nur $1^3/_4$ Bit pro Buchstabe. Die Bedingung der eindeutigen Decodierungsmöglichkeit beim Empfänger ist dabei gewährleistet. Ordnen wir die Buchstabenhäufigkeiten unseres Alphabetes nach absteigenden Werten (Fig. 5), so können wir einen ähnlichen abgestuften Code in Dualzeichen für die Schriftsprache aufstellen (Fig. 6). Codiert man mit diesem Code einen sehr langen Text, in welchem die angegebenen Häufigkeiten tatsächlich auftreten, so braucht man pro Buchstabe durchschnittlich

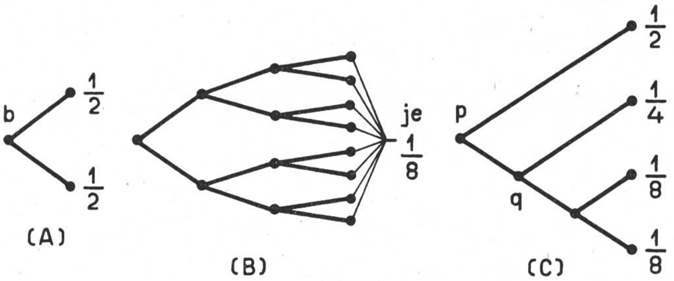

Fig. 3
Codierungsmöglichkeiten
(*A*) zwei Begriffe mit der Wahrscheinlichkeit $^1/_2$;
(*B*) acht Begriffe mit gleicher Wahrscheinlichkeit $^1/_8$;
(*C*) vier Begriffe mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten

Sprache mit 4 Lauten: A B C D
Wahrscheinlichkeiten $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_8$
Text: ABACBAAD...

Codierung	*1. System*	*2. System*
A	00	0
B	01	10
C	10	110
D	11	111

Text codiert:
1. System 0001001001000011...
2. System 01001101000111...

Anzahl der dualen Einheiten pro Laut:
1. System 2 Bit
2. System $^1/_2 \cdot 1 + {}^1/_4 \cdot 2 + {}^1/_8 \cdot 3 + {}^1/_8 \cdot 3 = 1^3/_4$

Fig. 4
Codierung einer Sprache mit 4 Buchstaben

$$\begin{aligned} &2 \cdot p_e + 3 \cdot p_n + 4 \cdot (p_i + p_s + p_r + p_t) \\ &+ 5 \cdot (p_a + p_n + p_d + p_u + p_g + p_l + p_c) \\ &+ 6 \cdot (p_o + p_f + p_m + p_b + p_w + p_k + p_z + p_v) \\ &+ 7 \cdot (p_p + p_j + p_q) + 8 \cdot (p_x + p_y) \\ &= 4{,}075 \text{ Bit} \end{aligned}$$

p Wahrscheinlichkeit der Einzelbuchstaben

$$\sum_a^z p = 1$$

Die Codierung ist noch nicht ideal, da die Anzahl Bit für jeden Buchstaben ganzzahlig gewählt wer-

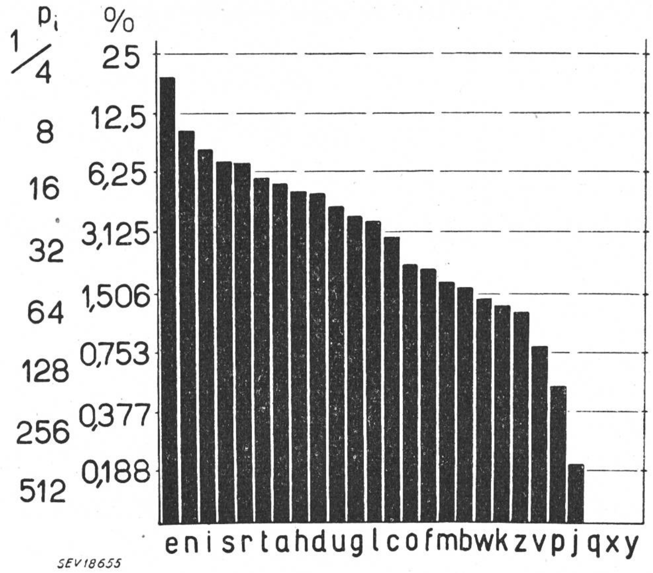

Fig. 5
Geordnete Buchstabenhäufigkeit der deutschen Sprache
p Wahrscheinlichkeit der Einzelbuchstaben

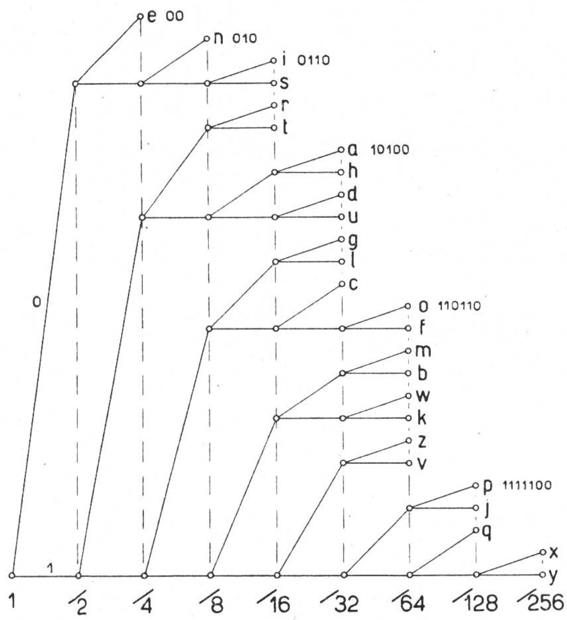

Fig. 6
Dualcode, den Buchstabenhäufigkeiten angepasst

den muss. Theoretisch ist eine Anpassung in Bruchteilen von Bit an die Häufigkeit des einzelnen Buchstabens denkbar. Die günstigste Anpassung ergibt sich durch $2^{x_j} = \frac{1}{p_j}$, wobei x_j = Anzahl Bit für den Buchstaben j bedeutet. Die durchschnittliche Anzahl H Bit pro Buchstabe errechnet sich dann als Summe $x_{Ind.} \cdot p_{Ind.}$. Über alle Buchstaben erstreckt:

$$H = \sum x_{Ind.} \cdot p_{Ind.} = \sum p_{Ind.} \cdot {}^2\log\left(\frac{1}{p_{Ind.}}\right)$$

oder $$H = -\sum_{a}^{z} p_j \cdot {}^2\log(p_j) \qquad \text{Bit/Buchstabe}$$

Für unser Beispiel der deutschen Sprache ausgerechnet, ist H = 4,00 Bit/Buchstabe.

Dieser Wert H, Entropie genannt, ist der kleinstmögliche Wert, den man durch irgendwelche Codierung der Einzelbuchstaben nicht unterschreiten kann. H ist also ein Mass für die Information pro Buchstabe, ausgedrückt in einer Zahl von Energiequanten. Es bestehen aber in der Sprache nicht nur

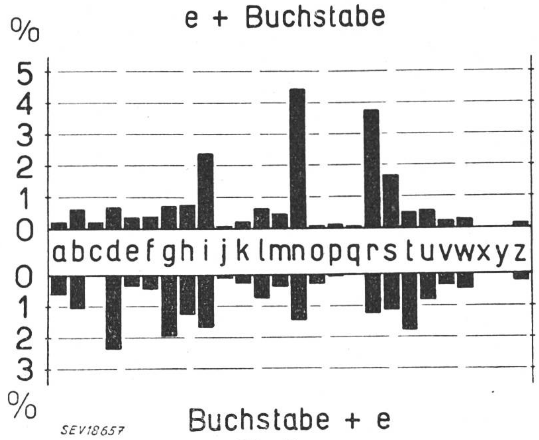

Fig. 7
Häufigkeit der Buchstabenkombinationen (deutsch) e + Buchstabe und Buchstabe + e

sehr verschiedene Häufigkeiten der Einzelbuchstaben, sondern auch sehr starke Bindungen zwischen aufeinanderfolgenden Buchstaben. Fig. 7 zeigt für den Buchstaben e die Häufigkeitsverteilung nachfolgender nach oben und vorausgehender Buchstaben nach unten aufgetragen. Von insgesamt in 19,2 auf 100 Fälle auftretenden Buchstaben e folgt diesem in 4,5 Fällen der Buchstabe n nach. Auf den Buchstaben c folgt fast immer h. Ähnlich wie Einzelbuchstaben können die Buchstabenpaare (Bigramme) entsprechend ihrer Häufigkeit codiert werden. Die theoretische Schranke ergäbe dabei 3,5 Bit pro Buchstabe. Das gleiche für Buchstabentrios (Trigramme) ausgeführt, ergäbe noch 3,0 Bit pro Buchstabe. Die Sprachforschung hat aber auch die Worthäufigkeiten ermittelt. Nach Shannon nimmt bei der englischen Sprache die Wahrscheinlichkeit logarithmisch aufgetragen mit der logarithmisch aufgetragenen Rangordnung linear ab (Fig. 8). Die Summe der Wahrscheinlichkeiten muss 1 geben, infolgedessen werden nur etwa 8000 Worte berücksichtigt. Bei einer mittleren Wortlänge von 5 Buchstaben ergäbe eine ideal angepasste Codierung noch 2,62 Bit pro Buchstabe als mittlere Information. Selbst zwischen Worten bestehen noch

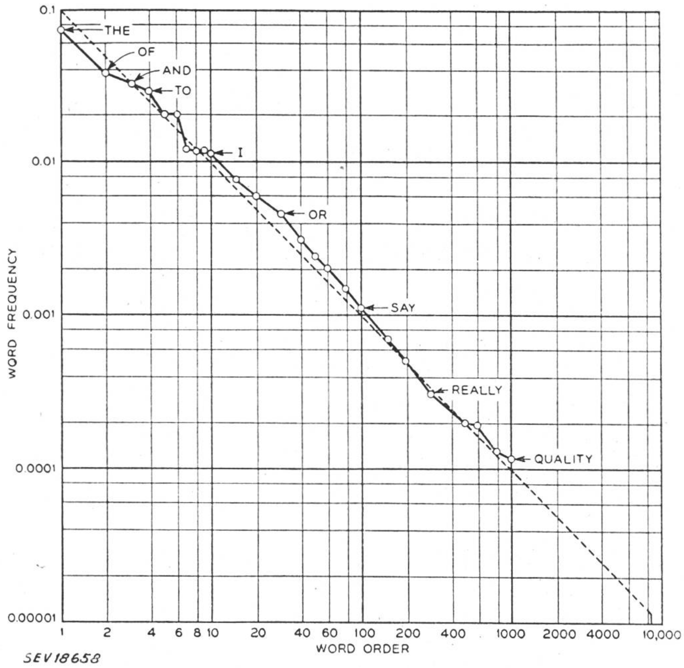

Fig. 8
Relative Worthäufigkeit in Abhängigkeit des Ranges für die englische Sprache

starke Bindungen, die berücksichtigt, eine weitere Reduktion erwarten lassen. Bei (n-1) bekannten Buchstaben eines Textes lässt sich die zusätzliche Information des n-ten Buchstabens mathematisch folgendermassen angeben:

$$H_n = -p\,(b_i, j) \cdot {}^2\log p_{b_i}(j)$$

darin bedeuten

b_i	(n-1)-gramm (Buchstabenblock)
j	n-ter Buchstabe, beliebig
$p\,(b_i, j)$	Wahrscheinlichkeit des n-gramms
$p_{b_i}(j)$	Wahrscheinlichkeit dafür, dass j auf b_i folgt.

Praktisch sind aber für grössere Buchstabenblöcke die Wahrscheinlichkeiten nicht bekannt. Ausserdem ist die Summierung über sehr viele Glieder zu erstrecken.

Shannon gelang es in einer neuern Arbeit [10] dieses Jahres, die Bindungen innerhalb der Sprache mit einem bedeutend einfacheren Verfahren zu erforschen. Dieses Verfahren gestattet es, sich einen Apparat auszudenken, der aus dem Originaltext einen reduzierten Text herstellt. Ein zweiter Apparat beim Empfänger muss aus diesem wieder den Originaltext rekonstruieren können. Das Verfahren von Shannon beruht auf folgendem Prinzip:

Bei Kenntnis eines Textes bis zum (n-1)-ten Buchstaben den n-ten Buchstaben vorherzusagen, gelingt in den meisten Fällen ohne Unsicherheit sofort. In manchen Fällen ist es aber nicht der wahrscheinlichste, sondern der zweitwahrscheinlichste, drittwahrscheinlichste usw. Buchstabe, den man auf Grund des bereits bekannten Textes vorherzusagen in der Lage ist. Jeder vorausgehenden Buchstabenfolge ist eine Aufstellung nach der Wahrscheinlichkeit des folgenden Buchstabens zugeordnet. Es wird nun nicht mehr der Buchstabe übermittelt, sondern diejenige Ordnungszahl angegeben, die der Textbuchstabe in dieser Aufstellung einnimmt. Wir bekommen damit eine Folge von Zahlen, wobei die Zahl 1 als die weitaus häufigste Ordnungszahl erscheint.

Folgendes Beispiel illustriert das Verfahren besser als Worte:

Eine Person wählt einen beliebigen Text. Eine zweite Person, die den Text nicht kennt, hat die Aufgabe, Buchstabe um Buchstabe zu erraten. Die Anzahl der Vorhersagen eines Buchstabens bis zum richtigen Textbuchstaben wird unter diesen aufgeschrieben. In den meisten Fällen stimmt die erste Vorhersage, so dass die Häufigkeit der Zahl 1 im Zahlentext sehr gross ist.

```
A M   2 7   J A N U A R   J Ä H R T   S I C H   Z U M
5 1   2 4   1 1 1 1 1 1   14 1 1 1 1   1 1 1 1   1 1 1

5 0   M A L E   D E R   T A G   A N   D E M   G I U
3 1   1 1 1 1   1 1 1   1 2 1   1 1   1 1 1   4 4 17

S E P P E   V E R D I   G E S T O R B E N   I S T
2 1 1 1 1   1 1 1 1 1   1 1 1 1 1 1 1 1 1   1 1 1
```

Dieser dem Originaltext zugeordnete Zahlentext kann nun entsprechend der Häufigkeit der vorkommenden Zahlen codiert werden. Schon eine Schätzung zeigt, dass dies mit durchschnittlich weniger als 2 Bit/Zahl für den im Beispiel angegebenen Text möglich ist.

Die Herstellung des reduzierten Textes mit einem Apparat kann so gedacht werden (Fig. 9): Der Sender besteht aus einem Vorhersagegerät mit einem Speicher. In einem Vergleichsgerät wird die Wahrscheinlichkeitsaufstellung im Vorhersagegerät mit dem Textbuchstaben verglichen, und der Rang, in welchem dieser Buchstabe in der Vorhersagetabelle erscheint, wird übermittelt. Der Textbuchstabe wird im Gedächtnis gespeichert. Gemäss dem gespeicherten Text produziert der Vorhersageapparat die dem Buchstabenblock entsprechende Häufigkeitsaufstellung des nächstfolgenden Buchstabens. Am Emp-

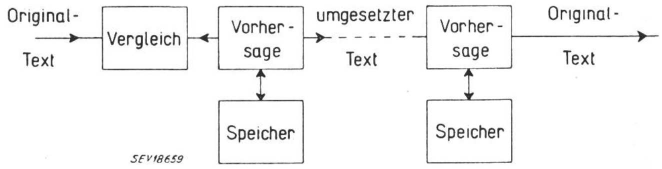

Fig. 9
Modell zur Herstellung des reduzierten Textes und umgekehrt

fangsort ist eine genau gleiche Maschine vorhanden. Der übermittelte reduzierte Text sagt dem Vorhersagegerät beim Empfänger, an welcher Stelle der Vorhersagetabelle der Textbuchstabe steht, und dieser wird gedruckt. Auch hier wird der Originaltext gespeichert. Solange der Originaltext an beiden Enden in den Speichern derselbe ist, solange wird das Vorhersagegerät in beiden Apparaten die gleiche Häufigkeitstabelle präsentieren, d. h. am Ausgang erscheint der Originaltext wieder. Auf eine Besonderheit sei hier aufmerksam gemacht. Tritt nämlich ein Übermittlungsfehler ein, so wird im Empfänger ein falscher Buchstabe produziert, und dieser falsche Buchstabe hat zur Folge, dass das Vorhersagegerät beim Empfänger für die folgenden Buchstaben nicht mehr die gleiche Tabelle produziert wie dasjenige beim Sender. Von diesem Moment an wird der Text beim Empfänger unverständlich.

Shannon hat nun mit eigenen Versuchen die Häufigkeitsverteilung des reduzierten Zahlentextes fest-

Häufigkeitsverteilung des reduzierten Zahlentextes Tabelle I

	Zahl	*n*-ter Buchstabe, wenn (n-1) Buchstaben bekannt sind															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	100
Häufigkeit der Zahl des reduzierten Textes, auf 100 verschiedene Texte ermittelt	1	18,2	29,2	36	47	51	58	48	66	66	67	62	58	66	72	60	80
	2	10,7	14,8	20	18	13	19	17	15	13	10	9	14	9	6	18	7
	3	8,6	10,0	12	14	8	5	3	5	9	4	7	7	4	9	5	
	4	6,7	8,6	7	3	4	1	4	4	4	4	5	6	4	3	5	3
	5	6,5	7,1	1	1	3	4	3	6	1	6	5	2	3			4
	6	5,8	5,5	4	5	2	3	2			1	4	2	3	4	1	2
	7	5,6	4,5	3	3	2	2	8		1	1	1	4	1		4	1
	8	5,2	3,6	2	2	1	1	2	1	1	1	1		2	1	3	
	9	5,0	3,0	4		5	1	4		2	1	1	2		1		1
	10	4,3	2,6	2	1	3		3	1					2			
	11	3,1	2,2	2	2	2	1			1	3		1	1	2	1	
	12	2,8	1,9	4		2	1	1	1			2	1	1		1	1
	13	2,4	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1			
	14	2,3	1,2		1			1					1				1
	15	2,1	1,0	1	1							1	1	1			
	16	2,0	0,9					1			1					1	
	17	1,6	0,7	1		2	1	1				1		2	2		
	18	1,6	0,5													1	
	19	1,6	0,4			1	1			1		1					
	20	1,3	0,3		1		1	1									
	21	1,2	0,2														
	22	0,8	0,1														
	23	0,3	0,1														
	24	0,1	0,0														
	25	0,1															
	26	0,1															
	27	0,1															

gestellt (Tabelle I). Betrachtet man den reduzierten Text, so konstatiert man, dass zwischen aufeinanderfolgenden Zahlen keine Bindungen mehr existieren. Berechnet man den günstigsten Code für diesen reduzierten Text gemäss dem erläuterten Prinzip, so findet man eine Aufstellung für die Anzahl Bit pro Buchstabe, die um so mehr abnehmen, je mehr Text bereits bekannt ist (Fig. 10). Die ermittelte Anzahl Bit pro Buchstabe kann als Maximalwert der Information pro Buchstabe angesehen werden, da die von Shannon benutzten Vorhersagetabellen nicht die optimalsten sein können. Es ergibt sich daraus die Folgerung, dass die Information unserer täglichen Umgangssprache schriftlich niedergelegt bei einem längern Text mit etwa 1 Bit pro Buchstabe angegeben werden kann.

Was nun den Begriff der Übertragungskapazität anbelangt, so ist es zweckmässig, dass wir auch hier die gleiche Einheit, nämlich das Dualzeichen, als Energiequant verwenden. Wir sind dann in der Lage, anzugeben, wieviel Information im besten Fall durch einen Nachrichtenkanal übermittelt werden kann. Es ist jedoch hervorzuheben, dass es dem Nachrichtenkanal gleichgültig ist, ob in den über-

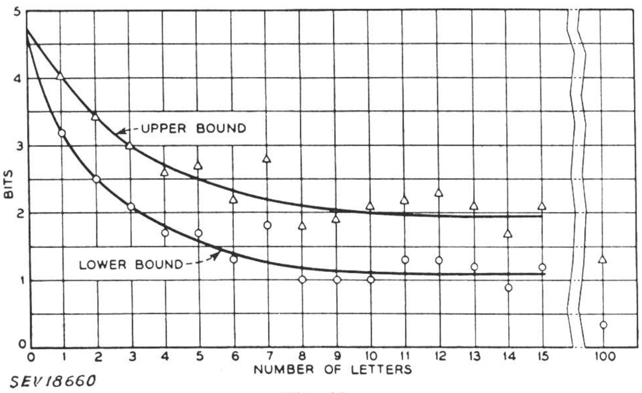

Fig. 10
Information des n-ten Buchstabens, obere und untere Grenze

mittelten Bit viel oder wenig Information steckt. Die Tendenz ist heute sogar so, dass zu den nur notwendig übermittelten Signalen noch Kontrollsignale mitgesandt werden, um gewisse Unzulänglichkeiten des Übertragungskanals unschädlich zu machen. Um mit solchen Anlagen dieselbe Information in der gleichen Zeit übermitteln zu können, muss notgedrungen eine grössere Übertragungskapazität des Kanals vorhanden sein. Die grösstmögliche Übertragungskapazität eines Kanals ist nach Shannon gegeben durch den Ausdruck

$$C = w \log \frac{P+N}{N} \quad \text{Bit/s}$$

w Frequenzbandbreite
P Maximale Nutzleistung
N Mittlere Störleistung (Wärmerauschen)
} am Empfangsende

Das Zustandekommen dieses Ausdruckes kann anschaulich folgendermassen erklärt werden:

Eine beliebige zeitliche Funktion, wie in Fig. 11 gezeigt wird, die auf den Zeitabschnitt t beschränkt und auf einem Frequenzspektrum aufgebaut ist, welches keine höhern Frequenzen als w enthält, kann durch $2 \times t \times w$-Angaben vollständig beschrieben werden, z. B. durch die Amplituden an allen Stellen im zeitlichen Abstand von $\frac{1}{2w}$. Wenn nun dieser zeitlichen Funktion eine zufällige Stö-

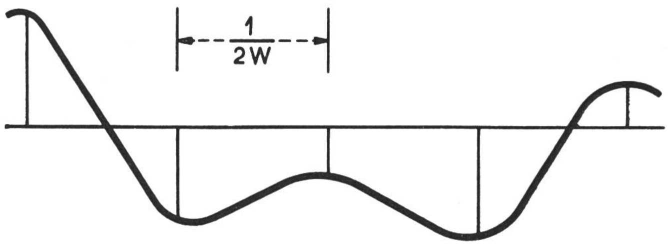

Fig. 11
Zeitliche Funktion, nur Frequenzen unter w enthaltend

rung, z. B. Geräuschspannung, überlagert wird, können beim Empfänger die Amplituden nicht mehr exakt empfangen werden. Wir sind nur noch in der Lage, Spannungsänderungen in der ungefähren Grösse der Störspannung festzustellen. Da sich der Einfluss der Geräuschspannung zur Nutzspannung quadratisch addiert, so sind infolgedessen, wenn P die grösste Nutzleistung ist, $\sqrt{\frac{P+N}{N}}$ Energieniveaux am Empfangsende mit einiger Sicherheit festzustellen. Die Gesamtmenge von möglichen Nachrichten in der Zeit t ist $\sqrt{\frac{P+N}{N}}^{\,2tw}$. Die Menge der Bit, die es braucht, um diese Gesamtmenge zu übertragen, ist der Logarithmus zur Basis 2 von diesem Ausdruck. Wenn nach der Leistung gefragt wird, d. h. nach der Übertragungskapazität in Bit pro s, so errechnet sich diese aus der Gesamtzahl der Bit, dividiert durch die Zeit t. Damit erhält man den oben gegebenen Ausdruck. Allerdings bedeutet dieser eine theoretische Grenze, die nur dann erreicht werden könnte, wenn der Empfänger eine Speichervorrichtung besässe und die Nachricht sehr lang wäre, so dass mit einer Ausgleichsmethode die tatsächliche Signalkonfiguration wieder herausgeschält werden könnte. Die praktisch erreichten Resultate erheischen ein etwa zweimal grösseres Nutz-Stör-Spannungsverhältnis, als vorausgesetzt werden müsste. Das kommt daher, dass bei der heutigen Technik ein Nachrichtensignal ohne Verzug geprüft und weitergegeben wird, ohne Bedacht auf die vorhergehenden und nachfolgenden Signale zu nehmen. Wenn nämlich das Geräusch statistisch zufällig ist, so kann man das einzelne Signal durch statistische Methoden verifizieren und, sofern die Nachbarelemente herangezogen werden, auch korrigieren. Der Einbau eines Gedächtnisses hätte aber eine starke Komplizierung der Empfangsapparaturen zur Folge.

In den vorstehenden Ausführungen spielte die Grösse der Energie keine Rolle. Bei der Betrachtung von aktuellen Systemen wird aber die Energiefrage sehr wichtig. Abschliessend ist zu den beiden Begriffen zu sagen, dass die Information mehr den Physiologen und Physiker interessieren wird, während die Übertragungskapazität diejenige Grösse ist, mit der die Nachrichten-Leute rechnen müssen. Die Verwirklichung der Übermittlung von Sprache in ein Band von wenigen Hertz wird noch lange Zeit eine Utopie bleiben müssen. Gerade in der Übermittlung der Sprache selbst spielen jene nicht berücksichtigten Elemente der Information, die wir Gefühlswerte nennen, unter Umständen die Hauptrolle. Für die Übermittlung grosser Informationsmengen im intellektuellen Sinne bleibt die telegraphische Übermittlung in ihrer modernsten Form allen andern überlegen, wenn von der Postbeförderung abgesehen wird.

Die Einführung und Begründung der beiden Begriffe «Information und Übertragungskapazität» befruchteten die Nachrichtentechnik ausserordentlich; sie sind heute nicht mehr wegzudenken.

Literatur

[1] *Carson, J. R.*: Notes on the Theory of Modulation. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 10(1922), Februar, S. 57.

[2] *Nyquist, H.*: Certain Factors Affecting Telegraph Speed. Bell Syst. techn. J. Bd. 3(1924), April, S. 324...346.

[3] *Küpfmüller, K.*: Einschwingvorgänge in Wellenfiltern. Elektr. Nachr. Techn. Bd. 1(1924), Nr. 5, S. 141...152.

[4] *Hartley, R. V. L.*: Transmission of Information. Bell Syst. techn. J. Bd. 7(1928), Juli, S. 535...564.

[5] *Gabor, D.*: Theory of Communication. J. Instn. Electr. Engr". Bd. 93, Part III(1946), Nr. 26, S. 429...457. [S. 439].

[6] *Shannon, C. E.*: A Mathematical Theory of Communication. Bell Syst. techn. J. Bd. 27(1948), Nr. 3, S. 379...423; Nr. 4, S. 623...656.

[7] *Shannon, C. E.*: Communication in the Presence of Noise. Proc". I.R.E. Bd. 37(1949), Nr. 1, S. 10...21.

[8] *Tuller, William G.*: Theoretical Limitations on the Rate of Transmission of Information. Proc". I.R.E. Bd. 37(1949), Nr. 5, S. 468...478.

[9] *Wiener, Norbert*: The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. Cambridge, Mass.: Technology Press; New York: Wiley 1949.

[10] *Shannon, C. E.*: Prediction and Entropy of Printed English. Bell Syst. techn. Bd. 30(1951), Nr. 1, S. 50...64.

[11] *Brillouin, L.*: Maxwell's Demon Cannot Operate: Information and Entropy I. J. appl. Phys. Bd. 22(1951), Nr. 3, S. 334...337; Physical Entropy and Information II. S. 338...343.

Adresse des Autors:
Prof. *H. Weber*, Institut für Fernmeldetechnik der ETH, Sternwartstrasse 7, Zürich 6.

Über die Farbe „weisser" Leuchtstoffröhren

Von *E. Rohner* und *A. Stern*, Zürich

621.327.43.0014

Die Farbeigenschaften «weisser» Leuchtstoffröhren wurden gemessen und graphisch dargestellt. Es zeigt sich, dass von verschiedenen Herstellerfirmen stammende Leuchtstoffröhren der gleichen Farbgruppe erhebliche Farbunterschiede aufweisen. Eine Normalisierung wäre wünschenswert.

Les caractéristiques de couleur des lampes fluorescentes «blanches» ont été mesurées et reproduites graphiquement. On s'est ainsi rendu compte qu'il existe de notables différences de couleur entre des lampes fluorescentes du même groupe de couleur, mais provenant de fabricants différents. Une normalisation serait désirable dans ce domaine.

Die neuere Entwicklung der Beleuchtungstechnik und Versuche, die Farbe von Leuchtstoffröhren an die Bedürfnisse der Praxis anzupassen, zeigten, dass für allgemeine Beleuchtungszwecke eine verhältnismässig kleine Auswahl von Farben bevorzugt wird. Entsprechend dieser Erkenntnis beschränkten die Herstellerfirmen ihre Produktion auf eine Anzahl mehr oder weniger genau umschriebener Farbtypen. Immerhin zeigt die Beobachtung, dass zwischen Röhren des gleichen Farbtypus, aber verschiedener Herkunft erhebliche Farbdifferenzen feststellbar sind. Infolgedessen ist es nicht immer ohne weiteres möglich, defekte Röhren durch andere des gleichen Farbtypus, aber verschiedener Herkunft, zu ersetzen, da bei nebeneinander betriebenen Röhren der Farbunterschied auffallend sein kann. Die im weitern beschriebenen Messungen wurden durchgeführt, um die Farbe der heute verwendeten Röhren zu bestimmen und auf die Notwendigkeit einer gegenseitigen Anpassung, bzw. internationalen Normung hinzuweisen.

Zur Messung der spektralen Energieverteilung wurde ein Monochromator (Fuess 139a) in Verbindung mit einer Photovervielfacher-Röhre (RCA 1P22) und einem Spiegelgalvanometer verwendet. Die Vervielfacherröhre wurde über ein hochstabilisiertes Netzgerät gespiesen. Die Wellenlängeskala wurde mit Hilfe einer Anzahl von Spektrallampen geeicht. Zur Energieeichung wurden drei verschiedene Leuchtstoffröhren verwendet, deren spektrale Energieverteilung im Kontinuum bekannt war (gemessen am Eidgenössischen Amt für Mass und Gewicht). Diese Eichung wurde durch eine Glühlampe bekannter Farbtemperatur kontrolliert. Das durch den Leuchtstoff bedingte kontinuierliche und das von der Niederdruck-Quecksilberentladung herrührende Linienspektrum wurden separat ermittelt. Als Bezugsgrösse wurde die Energie bei der Wellenlänge 600 nm gewählt, die gleich 100 gesetzt wurde. Auch die Linienenergien wurden auf diese Grösse bezogen.

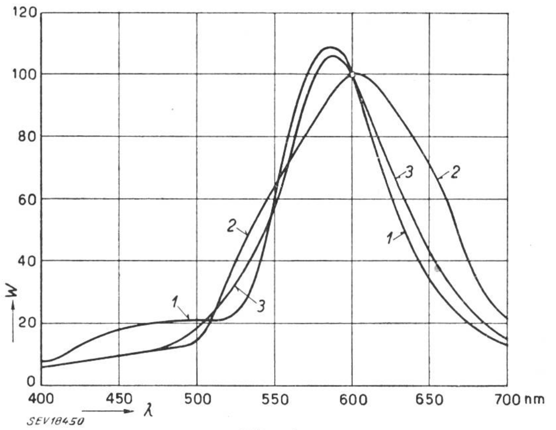

Fig. 1
Relative spektrale Energieverteilung *W* von Leuchtstoffröhren der Farbgruppe «Warmton»
λ Wellenlänge; *1* General Electric «Standard warmwhite»; *2* Philips 29; *3* Sylvania «Warmtone»

Alle ausgemessenen Röhren hatten eine Nennleistung von 40 W. Es wurden pro Farbtypus und Herstellerfirma 2...6 Röhren untersucht und das Re-