

Musikprotokolle 95 Graz: Sabine Sand, Christian Seeb (Hrsg.),
Berlin

Geräusche, Rauschen, Schall und Klang (1995)

Von Peter Weibel

Ich wurde eine Art teuflischer Parsifal,
nicht auf der Suche nach dem heiligen Gral,
sondern nach der Bombe, die das
musikalische Universum sprengen könnte,
um alle Klänge durch die Trümmer hereinzulassen,
die man — bis heute — Geräusche genannt hat.
Edgard Varèse (1883-1965)

p. 81-98

Der Lärm der Produktion

Die künstlerische Emanzipation des Geräuschs erfolgte bekanntlich 1913 durch das Manifest *Die Kunst der Geräusche (L'arte dei rumori)* des italienischen Futuristen Luigi Russolo. Er schreibt: »Das Leben der Vergangenheit war Stille. Mit der Erfindung der Maschine im 19. Jahrhundert entstand das Geräusch. Heute triumphiert und herrscht das Geräusch souverän über die Sensibilität der Menschen. Wir nähern uns so immer mehr dem Ton-Geräusch. Diese Entwicklung in der Musik geht parallel mit dem Anwachsen der Maschinen. Wir müssen die unendliche Vielfalt der Geräusch-Töne hinnehmen!« Für Russolo befand sich die moderne Musik in einer Sackgasse aufgrund der Beschränktheit der herkömmlichen Musikinstrumente. Russolo baute daher neue Instrumente, die Intonarumori, die Geräuschanstimmer. Mit diesen neuen Geräuscherzeugern wollte er in die »unendliche Vielfalt der Geräusch-Töne« eindringen. Das »Ton-Geräusch« ist in jenem Klang-Raum angesiedelt, wo Geräusche, Schall, Töne und Klänge einem gemeinsamen Klangraum angehören. Wie bei Busoni und Varèse wird den Maschinen und der Mechanisierung der Musik ein großer Anteil an der Entwicklung des neuen Klangraumes und der neuen Musik zugeschrieben. Die technogenen Geräusche der modernen Welt werden legitimiert und ästhetisiert. Die künstlerische Inthronisation des Geräusches durch Russolo hat vielleicht ihre geschichtsmächtigste Wirkung in der Popmusik gehabt, von den Heavy-Metal-Gruppen bis zur avantgardistischen *Noise Music* eines John Zorn, Arto Lindsay, Christian Marclay und den symphonischen Lautstärke-Hymnen der militanten Gitarren-Heere eines Rhys Chatham und Glenn Branca. Der Kampf der Musik gegen den Lärm zeigt sich besonders im Kampf der Musik gegen Rock, New Wave und Punk.

Das Rauschen
Musikprotokolle
steirischer
Kunst

Wichtiger aber als die Inklusion des Geräusches in den Klang-Raum durch Russolo war für avancierte Kompositions- und Aufführungspraktiken die Emanzipation des Schalls durch Varèse. Er selbst liefert uns anlässlich einer Vorlesung an der Princeton University 1959 die Stichworte: »Mein kämpferischer Einsatz für die Befreiung des Klangs und für mein Recht, mit jeder Art von Schall, mit allem, was klingt, Musik zu machen, ist zuweilen als Wunsch, die große Musik der Vergangenheit herabzusetzen, ja sogar sie zu verwerfen ausgelegt worden ...« Die Emanzipation des Schalls sei jedoch nicht als Herabsetzung der Musik zu verstehen, sondern als Sehnsucht, »unser musikalisches Alphabet zu erweitern«, wie er schon 1916 im New Yorker »Morning Telegraph« forderte. Varèse will ja weiterhin Musik machen, nur allerdings eine, die mit der sozialen Entwicklung »und mit dem Denken Schritt halten« (1916) kann. Daher kann er sich nicht auf die alten Klangqualitäten und Instrumente beschränken, sondern will Musik machen »mit allem, was klingt«. Die stete Suche nach neuen Klängen und neuen Instrumenten war der Ausdruck seines Einsatzes für die »Befreiung des Klangs«, wie der Titel einer auszugsweisen Sammlung (1966) seiner Vorlesungen lautet. Diese Suche nach neuen Klängen und Instrumenten hat Varèse auch dazu befähigt, enorm frühzeitig (1922) das Medium der Elektronik für die Musik zu erschließen und die Zusammenarbeit mit Elektronikern zu suchen, etwa mit René Bertrand, dem Erfinder eines der ersten elektronischen Instrumente, des Dynaphones, mit Leon Theremin, der 1920 sein erstes elektronisches Instrument vorgestellt hat, viele Geräte baute, darunter das Therminvox, das Hand-Gesten, die sich in einem Magnetfeld bewegen, in Töne verwandelt.

Niemand hat daher besser als Varèse das Wesen der elektronischen Musik verstanden, nämlich als ein von Umwegen befreiendes Komponieren: »Unser neues befreiendes Medium — die Elektronik — ist nicht als Ersatz der alten Musikinstrumente gedacht, deren Verwendung durch Komponisten, auch durch mich, weitergehen wird. Elektronik ist ein zusätzlicher, kein zerstörender Faktor in der Kunst und Wissenschaft von Musik« (1959). Statt über eine Partitur und einen Interpreten kann man in der Elektronik direkt mit dem Klang arbeiten, daher mißversteht Varèse elektronische Musik nicht als Konservenmusik toter Töne, sondern im Gegenteil: »Für mich bedeutet die Arbeit mit elektronischer Musik Komponieren mit lebendigen Klängen, so paradox das scheinen mag« (1965). Schon sehr früh hatte Varèse musikalische Ideen, die mit den vorhandenen Mitteln nur schwer oder gar nicht auszudrücken waren, und angeregt von den Schriften des polnischen Philosophen und Mathematikers Joseph M. Hönené-Wronski (»Musik ist die Verkörperlichung der im Klang selbst angelegten Intelligenz«) und von Hermann Helmholtz' »Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik« (1862) kreiste sein Denken »sogar damals schon

um die Idee der Befreiung der Musik von temperierten Systemen, von den Beschränkungen der Musikinstrumente ...« (1959). Für Varèses Ideen zur Befreiung des Klangs war auch noch seine Bekanntschaft mit Ferruccio Busoni wichtig (seit 1908), der 1906 seinen epochemachenden utopischen *Entwurf einer Ästhetik der Tonkunst* veröffentlicht hatte. Denn auch Busoni setzte sich für neue Klänge und Klangwerkzeuge ein, da »die Entfaltung der Tonkunst an unseren Musikinstrumenten scheitert, die Entfaltung des Komponisten an dem Studium der Partituren«. Busoni strebte ebenfalls »zur hinderlosen Technik, zur tonlichen Unabgegrenztheit«, denn »frei ist die Tonkunst geboren und frei zu werden ist ihre Bestimmung«. Busonis Aversion gegen die Beschränkungen der Partitur und der herkömmlichen Musikinstrumente, die jeden »freien Flugversuch des Komponisten« vereiteln, und seine Forderung nach der »Freiheit der Tonkunst« bilden wichtige Bausteine in Varèses »Befreiung des Klangs«.

Die Befreiung des Klangs von der Musik führte zur einschneidendsten und folgenreichsten musikalischen Umwälzung, zum fundamentalen Axiom der Musik im 20. Jahrhundert, nämlich zur Definition der Musik als »son organisé«, als organisierter Schall, als organisierter Ton, als organisiertes Geräusch. Damit hat Varèse auch das Gespenst gebannt, das über aller Musik lauert, den Lärm. Denn »was ist Musik denn letztlich anderes als organisierter Lärm?« (1962) Durch die Befreiung des Klangs hat Varèse den Feind des Klangs, den Lärm, in die Musik selbst inkorporiert. »Wenn jede Art von Schall« das Rohmaterial von Musik sein kann, dann auch der Lärm, der ja ebenfalls Schall ist. Dann ist auch jedes schallerzeugende Instrument den Musikinstrumenten äquivalent. Bei dieser objektiven Gleichwertigkeit aller Klänge und Schallfrequenzen wird Lärm ein rein subjektives Empfinden, nämlich »jeder Klang, den man nicht mag« (1962). Bei der ersten Aufführung von Varèses »*Arcana*« 1932 in Europa wurde diese neue Musik der Klang-Emanzipation denn auch ständig als »sinnloser Lärm« oder »sinnlose Klangferkelei« bezeichnet. Diese Musik »hat mit Musik nichts zu tun«, hieß es. Die häufige Bezeichnung von Varèses Musik als Lärm zeigte nur, wie neu seine Musik war, wie sehr seine neue musikalische Organisationsform und seine neuen Instrumente die Fundamente der bürgerlichen Kultur angriffen. Denn »in der Tat wurde alles Neue in der Musik, wo immer es zunächst auf widerspenstig konditionierte Ohren stieß, stets Lärm genannt« (Varèse 1962). Der organisierte Ton war nicht nur eine Erweiterung des Tonraums, sondern auch des Denkraums, in dem die neue Musik des 20. Jahrhunderts, von der *musique concrète* bis zur elektronischen Musik, entstehen konnte. Die Befreiung des Klangs allein garantierte die Freiheit der Musik, die nun auch Geräusche jeder Art, Schall jeder Frequenz als Klang, als Ton, als musikalisches Element verwenden konnte.

Varèse hat aber auch buchstäblich die Musik in den Raum erweitert, Musik

als Bewegung im Raum verstanden und dies »spatiale Musik« genannt. Die Freiheit der Tonkunst endet also nicht bei neuen Klängen und neuen Instrumenten, sondern setzt sich fort in den Raum: »Ich denke den musikalischen Raum eher als einen offenen denn als einen unbegrenzten« (1965). Wenn allein der Schall das Material der Musik bildet, dann werden auch die Schallwellen selbst und somit auch das Medium, in dem sie sich fortpflanzen, nämlich der Raum, für den »Arbeiter mit Rhythmus, Frequenzen und Intensitäten« (Varèse) zu kompositorischen Mitteln. Als Schall im Raum »ist Klang nichts anderes als eine atmosphärische Störung« (Varèse 1965). Die räumliche Entfaltung des organisierten Schalls, z. B. durch 425 Lautsprecher beim *Poème Electronique* von 1958, bildete Varèses wesentlichste Vorstellung von Musik, nämlich »als Körper intelligenter Klänge, die sich frei im Raum bewegen«.

Um die wahre Bedeutung der Befreiung des Klanges und der Emanzipation des Geräusches zu verstehen, muß man der These Jacques Attali folgen, daß »die Welt nicht lesend, sondern hörend verstanden wird«, wie er sie in seinem Buch *Bruits* (1977), einer politischen Ökonomie der Musik, vertritt. Platons Diktum folgend, daß an den Staat rührt, wer an die Musik rührt, hört Attali die Musik als Mimesis der sozialen Ordnung. Auch der Code der Musik beschreibt die soziale Geschichte.

In der westlichen Evolution der Musik unterscheidet Attali drei große Perioden im Gebrauch der Musik durch die Macht. Das Ritual ist die erste Phase, in ihr ist die Musik ein Kampf gegen den Lärm. Allmählich kanalisiert, sozialisiert die Musik den Lärm und zeigt durch ihre Ordnung, daß eine Gesellschaft möglich ist. In der zweiten Phase der Repräsentation wird die Musik zum Spektakel, die Inszenierung der Gesellschaft durch sich selbst ein Konzert. Die soziale Ordnung plakatiert sich durch die Harmonie der Noten und deren Mathematisierung. Der domestizierte Ton soll an die Harmonie der Welt glauben machen, an die Ordnung des Tausches, an die Legitimität des Geldes. Doch durch das Geld degradiert langsam das Gebäude. Stars entstehen, Meisterwerke, ein Repertoire. Die bürgerliche Gesellschaft stellt sich selbst zur Schau. Das Orchester mit Dirigent, Solist, Ensemble wird zur politischen Metapher für die bürgerliche autoritäre Gesellschaft. Von William Godwin, Autor von *Political Justice*, *Caleb Williams* (1794) etc., bis Federico Fellini (*Die Orchesterprobe*) dient daher das Orchester als Metapher und Spielfeld für die Erprobung des anarchistischen Aufstands, für die Utopie der Herrschaftslosigkeit, für die Zertrümmerung der Bourgeoisie. Doch auch so zerbricht die Harmonie selbst durch die Logik der politischen Ökonomie. Pathos, Dissonanz, Aleatorik sind Schritte des Zerfalls der Harmonie, in denen sich die Brüche der Gesellschaft, ihre Transformation, wahrnehmen lassen.

Die dritte Ära ist die Repetition. In der Techno-Gesellschaft des postindustri-

ellen Zeitalters haben die technischen Erfindungen wie Radio, Television, Magnetophon, Schallplatte die musikalischen Gewohnheiten umgestürzt, das Hören von Musik aus dem Konzertsaal nach Hause verlagert. Um so mehr wird natürlich die Repräsentanz-Musik zum Ort der bloßen sozialen Repräsentanz, zum Spektakel ohne Musik, wo die Stars, der Maestro das eigentliche Ereignis sind. Durch die Verschiebung von konzertanter Live-Musik zur technisch endlos wiederholbaren Konserven-Musik wandelt sich die Musik vom Fest zum Alltag. Es gibt vom Aufzug bis zur Küche fast keinen Ort mehr, wo die Musik nicht vorhanden wäre. Musik wird untrennbar vom Alltag.

Die technische Repetierbarkeit findet natürlich Widerhall im musikalischen Werk selbst: von der repetitiven Struktur der Schlager und der Minimalmusik bis zur Alltagsmusik von Cage, welche den musikalischen Klangraum für banale Alltagsgeräusche öffnete. Die endlose Wiederholbarkeit der Konservenmusik ist auch die Voraussetzung für die Musik als Konsumware. In der Muzak-Musik finden wir die Charakteristika der Konsummusik nur konzentrierter als sonst. David O'Neill, einer ihrer Erfinder, sagt selbst: »Wir verkaufen keine Musik, wir verkaufen Programmierungen.« Diese sind von Fall zu Fall verschieden; für ein Restaurant (zu Mittag z. B. Musik mit Saiteninstrumenten, am Nachmittag, wo der Kunde leicht ermüdet ist, flottere Rhythmen), für ein Büro, für eine Fabrik. Die Muzak-Musik ist jene oberflächliche Musik, wo das Wesen der Repräsentationsmusik zur Oberfläche auftaucht, um den unangenehmen Lärm der Arbeit zu tilgen. Die Aufzug- und Kaufhaus- und Radio-Musik, jenes einlullende Geplätscher, ist das Gegenstück zum erschreckenden Getöse der Realität. Sie soll jene Agonie des Bewußtseins erzeugen, wo der Mensch die Herrschaft über sich selbst verliert und dadurch um so leichter den Verführungen des Konsums erliegt. Die klassische Repräsentanzmusik hat zum Teil eine ähnliche Funktion der Agonisierung des Bewußtseins, um die Realität zu übertönen. Klassische Musik, vom Mädchenorchester in Auschwitz für die NS-Bestien gespielt, zeigt das Schweigen der Musik zur Realität. Sie übertönt und unterdrückt die sinisterste Realität. Konsum- und Kulturmusik treffen einander im Verdecken der Realität und in der Bewußtlosigkeit. Die verschiedensten Formen des Brütismus (Einstürzende Neubauten, Punk, Heavy Metal, Throbbing Gristle, industrielle Musik, Grunge, Techno) sind daher Anstrengungen, der Realität eine Stimme zu verleihen, das Bewußtsein aufzurütteln. Der Lärm der Straße soll auch im Konzertsaal zu hören sein. Der Lärm als Aufstand gegen die Repräsentationsmusik ist auch ein Aufstand gegen die bürgerliche Kultur und soziale Ordnung bzw. eine Invasion des Realen in den luxuriösen, von den Spuren der Arbeit, der Ausbeutung und des Realen gesäuberten Klangraum der bürgerlichen Gesellschaft (= Konzertsaal). Frühe Formen des Rock 'n' Roll, der New-Wave-, der Noise-Musik mit ihrer beschleunigten Geschwindig-

keit und ihrem Lärm waren solche Invasionen, Schreie des Realen. Jugendliche Protestkultur findet in einer Musik, die das erschreckende Getöse der Realität, den Lärm des Alltags steigert, stets ein Medium der Auflehnung gegen die zwangsharmonisierte Gesellschaft und die Agonie der Erwachsenen.

Musik, die wirklich Musik sein will, intelligible Musik, was mehr ist als hörbare Musik, muß sich also dem Lärm öffnen, einen offenen Raum bilden, durch den alle Schallformen und alle Instrumente, ob musikalisch, ob Lärm, Geräusch oder Klang, ziehen können. Klassische Musik schweigt zur Realität. Gebrüll, Geräusch, Getöse ist daher oft der legitime Klang des Realen. Der befreite Klang (von Busoni wie von Russolo, von Varèse wie von Cage ersehnt) gibt der Realität die Freiheit und den Raum, wo sie eine Stimme haben kann. Wenn Cage die Fenster und die Türen des Konzertsaals öffnet, um den Straßenlärm hereinzulassen, vollendet er mit einer akustischen Geste die von Russolo und Varèse eingeführte Befreiung und Öffnung der Musik, die Beendigung der Repräsentationsmusik. Da die klassische Musik zur Realität schweigt, muß er die Musik zum Schweigen bringen, um die Geräusche, die Klänge, die Stimmen, den Lärm der Realität selbst hörbar zu machen. Wenn er 4'33" Minuten schweigend vor einem Piano sitzt, wird die Musik zum Schweigen gebracht, wird das Schweigen der Musik (zur Realität) angeklagt. Das Publikum wird gezwungen, statt Musik den Lärm des Realen zu hören. Was Cage über Varèse geschrieben hat: »He established the present nature of music. This nature ... arises from an acceptance of all audible phenomena as material proper for music. While others were still discriminating »musical« tones from noises, Varèse moved into the field of sound itself. That he fathered forth noise ... makes him even more relative to present musical necessity than even the Viennese masters ...« (1958), gilt für ihn selbst. Wenn Cage in *Experimental Music* (1975) fordert, »die Tore der Musik den Geräuschen der Umgebung zu öffnen«, was zum »total sound-space« führt, so ist dies ein Echo von Saties Stimme (*musique d'ameublement*), die in Cages Schriften fast ebenso definitiv wie die Stimme Varèses weiterlebt. Man denke etwa an Cages *Credo: The Future of Music* (1937/58), das den Band *Silence* (1961) eröffnet: »I believe that the use of noise to make music (... we can substitute a more meaningful term: organization of sound) will continue and increase until we reach a music produced through the aid of electrical instruments which will make available for music purposes any and all sounds that can be heard. Photoelectric, film, and mechanical mediums for the synthetic production of music will be explored. Whereas, in the past, the point of disagreement has been between dissonance and consonance, it will be, in the immediate future, between noise and so called musical sounds.«

Indem die Grenze zwischen musikalischen und nichtmusikalischen Tönen

fiel, also alle Töne, Geräusche, Klänge im totalen Klangraum zu Musik organisiert werden konnten, öffnete sich die Musik den neuen Geräuschen einer neuen mechanischen, industriellen Realität. Musik versuchte nicht länger, Lärm zu dominieren, sondern der Lärm wurde zu einem Teil der Musik. Die technischen Erfindungen der Industriegesellschaft wie Radio, Schallplatte, Taperecorder, eigentlich als Mittel der Distribution und Rezeption gedacht, wurden zu Mitteln der Produktion umgebaut. Nach der Epoche der Experimente mit magnetischen Bandmaschinen (Varèse selbst, Pierre Schaeffer, Cage, Earle Brown etc.) zentriert sich das Interesse heute auf die elektronischen Instrumente, um auf synthetische Weise Klänge zu produzieren, das heißt, genau die Musik zu machen, die nur aufgrund der Existenz dieser Geräte möglich ist. Mit der digitalen Sampling-Maschine ist das Ideal dieser Schule, »alle vorhandenen Töne und alle hörbaren Töne für musikalische Zwecke verfügbar zu machen«, erreicht.

Das Rauschen der Interpretation

Seit Cage und der konkreten Musik, seit der experimentellen elektronischen Musik und der Verwendung von Radiofrequenzen, Rauschsignalen etc. in den 50er und 60er Jahren hat »das Rauschen« einen fast mythischen Status in der avancierten Musik. Rauschen ersetzt als Zeichen der Modernität das frühere Stigma desselben, die Dissonanz. Cage selbst hat zwar von »noise« gesprochen, aber in der Tradition von Russolo und Varèse eigentlich »Geräusch« darunter verstanden und nicht »Rauschen«, wie heute der informationstheoretische Fachausdruck »noise« verstanden wird. Aber um so mehr gilt sein früheres Statement, daß »in the immediate future the point of disagreement will be between noise and so called musical sounds«. In der Tat, zwischen musikalischen Tönen und Klangwelten einerseits und Experimenten mit Rauschen andererseits wird heute die Grenzlinie zwischen Tradition und Avantgarde gezogen. Der Zerfall der Harmonie in der Dissonanz begleitete die barbarischen Ereignisse der Umwälzungen der modernen Gesellschaft, so wie heute das Rauschen unsere postmoderne Gesellschaft als eine noch viel tiefere Transformation der Musik-Ideologien des Westens, als ein Zerfall des Klanggebäudes selbst. Denn was auf Rauschen und nicht mehr auf Klang aufgebaut ist, ergibt kein Musikgebäude mehr. Das postmoderne Rauschen beginnt jenseits des Lärms und der Geräusche, wie diese jenseits der Musik. Das postmoderne Rauschen erlebt in der repetitiven Struktur der Minimal Music, im Scratching, im Sampling und in den endlos wiederholten Signalfrequenzen und Repetitionen minimaler Einzelteile des Techno und des Ambiente Sounds seine ersten erkennbaren Proliferationen.

Die ernsthafte Avantgarde inkludiert daher das Rauschen zentral in die Analyse musikalischer Phänomene.

Die privilegierte Position des Rauschens verdankt sich, wie schon gezeigt, 1. der Musiktheorie und den Kompositionspraktiken von Russolo, Varèse, Cage etc., 2. der Entwicklung der elektromechanischen bzw. digitalen Musikinstrumente, aber vor allem 3. auch dem Aufstieg der Informationstheorie und der Kybernetik in den 50er und 60er Jahren, wo der Effekt des Rauschens im Kommunikationssystem besonders betont wurde. Claude E. Shannons Schrift *Mathematical Theory of Communication* (1948), wo das Rauschen eine zentrale Rolle einnimmt, wurde zu einem Quellenwerk der modernen elektronischen Musik, fast ein Gegenstück zu Cages *Silence*. Der Ursprung des Begriffs des Rauschens ist im Feld der elektronischen Kommunikation zu finden. Als die Komponisten begannen, mit elektronischen Kommunikationsmitteln und -medien »Musik« zu produzieren, »Töne« synthetisch zu erzeugen und zu organisieren, stießen sie unmittelbar auf den zentralen Begriff des Rauschens. So wie Lärm als Gegenstück zu Musik aufgefaßt wurde, wurde Rauschen als Gegenstück zu Information definiert. Rauschen störte, trübte und verunreinigte die Information, wie Lärm die Musik. Lärm und Rauschen wurden daher gleichgesetzt. Da »fehlende Information« 1894 von L. Boltzmann als Entropie definiert worden war, wurde Rauschen auch mit Entropie identifiziert. Lärm, Rauschen, Entropie auf der einen Seite, Musik, Organisation, Information auf der anderen Seite. Nach der Emanzipation der Dissonanz durch Schönberg und der Pause durch Webern gilt das Bestreben zeitgenössischer Avantgarde der Emanzipation von Lärm, Rauschen, Entropie. Sie kann sich dabei auf eine andere Tradition der naturwissenschaftlichen Begründung von Information stützen als die bisher vertraute.

Nach der Erfindung der Telegraphie 1832 durch T. B. Morse, der Übermittlung von Botschaften durch die Ab- oder Abwesenheit eines elektrischen Stromes, tauchten sogleich Fragen nach den Grenzen der Geschwindigkeit und Deutlichkeit der Signalübertragung auf. Externe Ströme sind immer vorhanden, die mit dem gesendeten Signal interferieren und stören, d. h. die Unterscheidung zwischen alternativen Signalen erschweren. Die Störungen durch diese Ströme, die »noise« (Rauschen) genannt wurden, galt es natürlich soweit wie möglich zu reduzieren. Harry Nyquist publizierte erste wichtige mathematische Beiträge zur modernen Kommunikationstheorie: *Certain Factors Affecting Telegraph Speed* (1924) und *Certain Topics in Telegraph Transmission Theory* (1928), in denen er zeigte, wie die Geschwindigkeit der Signalübertragung erhöht werden kann, und in denen er auch die logarithmische Funktion als Vergleichsmaß der Information einführte. R. V. L. Hartley gab in *Transmission of Information* (1928) eine erste formale Definition der Information, die er als Sequenz von Symbolen betrachtete:

$$H = n \log s$$

wobei H die Information der Botschaft, der Logarithmus der Anzahl der möglichen Symbolsequenzen ist, n die Anzahl der gewählten Symbole und s die Zahl der Symbole, die zur Verfügung stehen.

Im Krieg wurden die Fragen des Rauschens dringlicher als zu Friedenszeiten, denn es kam z. B. darauf an, »noisy« Radardaten richtig zu interpretieren. Gesucht wurden Vorrichtungen, welche die Rausch-Signale ausfilterten. A. N. Kolmogoroff und Norbert Wiener lösten diese Probleme. Im selben Jahr (1948), in dem Wiener sein Buch *Cybernetics* veröffentlichte, publizierte Claude E. Shannon seinen berühmten Artikel *The Mathematical Theory of Communication*, die Ergebnisse seiner »Kryptografie- und Decodierungsforschung« für die U.S. Armee, soweit sie nicht der Geheimhaltung unterlagen. Shannon betonte besonders den Effekt des Rauschens im Kommunikationssystem bzw. im Informationskanal, wie man seinem berühmten Schema des Kommunikationssystems entnehmen kann. Denn semantische Aspekte der Kommunikation sind für den Ingenieurs-Aspekt der Kommunikation irrelevant, das fundamentale Problem der Kommunikation besteht für ihn einfach darin, wie man eine Botschaft an einem Punkt möglichst exakt reproduzieren kann, die an einem anderen Punkt ausgewählt wurde.

Es war der schon genannte Nyquist, der den von J. B. Johnson entdeckten elektrischen Schwankungen, welche die Hitze verursachte, den Namen »Johnson noise« oder »thermal noise« gab. Dieses Rauschen ist ein besonders einfaches, universales, unvermeidbares Rauschen, das Signalübertragungssystemen natürliche Grenzen setzt. Rauschen wird also zu jedem Signal addiert. Jede Botschaft wird durch Rauschen gestört, sei es während der Übertragung, sei es beim Empfänger. Nach dem Empfang eines Signals bleibt immer eine unerwünschte »uncertainty« (Ungewißheit, noise), darüber, was die gesendete Botschaft wirklich war. Als zusätzliche Vorrichtung hat Shannon einen Beobachter eingeführt, der die Abweichung zwischen gesendeten und empfangenen Daten, auf die eine oder andere Art von »noise« verursacht, korrigiert.

Shannon hat mehrere Methoden entwickelt, um die Kanalkapazität eines »noisy channel« zu definieren, dessen Grenzen eben die Entropie, die statistische Ungewißheit, setzt. $H = - \sum p_i \log p_i$ ist die Entropie der Menge der Wahrscheinlichkeiten $p_1 \dots p_n$. Der Shannonsche Beobachter, der beides sieht, nämlich was gesendet und was aufgrund der vom Rauschen verursachten Fehler verzerrt empfangen worden ist, notiert die Fehler und übermittelt die Daten über einen »korrigierenden Kanal« oder einen »fehlerkorrigierenden Code« zum Empfänger, der die Fehler ausbessert. Wenn $H_y(x)$ die Menge der zusätzlichen Informationen ist, die pro Sekunde benötigt wird, um die empfangene Botschaft zu korrigieren, dann können wir die Grenze der Kanalkapazität für Kanäle mit Rauschen definieren: Ein diskreter Kanal habe die Kanalkapazität C und eine diskrete Quelle die Entropie H per

Sekunde. Wenn $H \leq C$, dann gibt es einen Code, so daß der Output der Quelle über den Kanal mit einer beliebig kleinen Fehlerfrequenz übertragen werden kann. Es wird also angenommen, es gäbe einen idealen Beobachter, der die Fehler, das Rauschen der Informationsquelle bzw. des Informationskanals korrigiert. Man zahlt offensichtlich einen Preis für Information. Indem die Botschaft unsere Ungewißheit über den Zustand des Systems reduziert, reduziert sie die (thermodynamische) Entropie des Systems. Die Reduktion der Entropie erhöht aber die freie Energie des Systems, die proportional zum Minimum an Energie ist, das notwendig ist, um die Botschaft zu übertragen. Der Preis, den man für Information über das eigene System zahlt und der zur Reduktion der (thermodynamischen, statistischen) Entropie eines Systems führt, ist proportional zur (informationstheoretischen) Entropie der Signalquelle, welche die Information produziert. Er ist immer so hoch, weil sonst ein Perpetuum mobile der zweiten Art entstünde. Zwischen Entropie und Information gibt es also eine ausgleichende Balance, deren Preis entweder vom System oder der Signalquelle gezahlt wird. Es ist also ein Preis für Information zu bezahlen, der Entropie bzw. Rauschen heißt. Entropie ist ein Maß des Zufalls und des Zerfalls. Die Tendenz physikalischer Systeme, immer weniger organisiert zu sein, immer mehr zu zerfallen, ist mit Entropie assoziiert. Der Pfeil der Zeit, die Irreversibilität der Zeit entsteht auf Grund der Entropie. In der informationstheoretischen Kommunikationstheorie wird Information als Anzahl der Wahlmöglichkeiten definiert. Freiheit der Wahl, Entropie und Information, definiert als Logarithmus der Anzahl von Wahlmöglichkeiten, konvergieren als Begriffe. Je größer die Freiheit der Wahl, desto größer die Information, desto größer die Ungewißheit. Rauschen bedeutet aber ebenfalls erhöhte Ungewißheit, so daß man fälschlich meinen könnte: erhöhtes Rauschen bedeute erhöhte Ungewißheit und damit erhöhte Freiheit der Wahl, also Information. Das ist natürlich paradox. Man braucht also ein Verfahren, das erwünschte Ungewißheit (Information) von unerwünschter Ungewißheit (Rauschen) unterscheidet. Die Kanalkapazität soll diese Aufgabe erfüllen, bzw. der ideale Beobachter. Musik ist als Zeitkunst eine entropische Kunst, die heute erstmals erkennt, daß der Preis für die Produktion von Musik, nämlich Rauschen, auch zur Musik gehört, weil die gleichsam thermodynamischen Kosten nicht länger zu unterdrücken sind. Ludwig Boltzmann hat in seiner Arbeit über die statistische Physik von 1894 den Begriff der Information erstmals auf die Entropie bezogen und die Entropie als »fehlende Information« definiert, die man als die Zahl der Alternativen messen könnte, die einem physikalischen System noch bleiben, nachdem all die makroskopisch beobachtbare Information, die es betrifft, aufgezeichnet ist. Dies verweist bereits auf das Modell von Claude Shannons Definition der Information als Logarithmus der Anzahl vorhandener Wahlmöglichkeiten. Eine Situation mit zwei Wahlmöglichkeiten enthält bekannt-

lich ein »bit« (binary digit) an Information. 16 alternative Botschaften charakterisieren 4 bits an Information, denn $16 = 2$ hoch 4. Die Beziehung zwischen Information und Entropie wurde erstmals 1929 explizit formuliert in Leo Szillards berühmtem Papier *Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen*. In dieser Arbeit definierte Szillard die Quantität, die seit Claude Shannon als Information bekannt ist, als die Menge der freien Energie, die verbraucht wird, wenn ein Beobachter durch ein Experiment lernt, welche von zwei gleich erscheinenden Alternativen realisiert wird. Ein bit Information ist äquivalent zu $\ln 2$ Einheiten von Entropie. Die thermodynamischen Kosten von Messung und Informationsgewinnung waren scheinbar klar. Um 1950 galt es für John von Neumann und Brillouin als erwiesen, daß bei jedem Akt der Informationsverarbeitung ein Minimum an Energie $kT \ln 2$ verbraucht wird, wobei T für die Betriebstemperatur des Computers steht. Doch diese Vorstellungen von Energieverbrauch und Information erwiesen sich als naiv und zum Teil auch als unrichtig. 1961 konnte Rolf Landauer zeigen, daß der Prozeß, der wirklich minimal, aber unvermeidlich Energie verbraucht, der Prozeß der Vernichtung von Information ist. Die neue Avantgarde-Musik beschäftigt sich also mit den thermodynamischen Kosten, dem Rauschen, bei der Erzeugung und Rezeption von Musik. Diese sind im Gegensatz zu den irreversiblen thermodynamischen Kosten bei Informationszerstörung reversibel. Auch die Übertragung von Information, z. B. ein bit von einem Platz zum andern, benötigt nicht $kT \ln 2$ Energie, im Gegenteil, Landauer zeigte, daß Informationsübertragung, wenn wir es langsam tun, mit willkürlich kleiner, also vernachlässigbarer Energie-Dissipation erfolgt. Um das zweite Gesetz der Thermodynamik zu retten, bedarf es keiner (minimalen und unvermeidlichen) Energie-Dissipation bei der Informationsgewinnung, beim Transfer der Information vom zu beobachtenden Objekt, sondern bei der Wiederherstellung des Beobachterzustandes nach dem Transfer, d. h. bei der Informationszerstörung. Die Betonung der thermodynamischen Kosten verlagert sich durch Landauer von der Messung auf die Wiederherstellung des Zustandes vor der Messung, also auf die Kosten der Löschung der Information, der Geschichte. Hier, bei der Interpretation, liegen also die Möglichkeiten, das Rauschen musikalisch zu exemplifizieren und zu codieren. Genau da setzt ein weiteres bahnbrechendes Papier von 1973 an, nämlich *Logical Reversibility of Computation* von Charles H. Bennett. Bennett konstruierte eine »enzymatische Turing-Maschine«, bei der jede Computation in ein reversibles Format verwandelt werden konnte. Dafür wurde die Geschichte all der normalerweise weggeworfenen Information akkumuliert, um sich dieser Geschichte dann in einem Prozeß zu entledigen, der zu dem, der sie geschaffen hatte, die genaue Umkehrung bildete. Die Computation wurde in eine Serie von Schritten verwandelt, von denen jeder

logisch reversibel war. Dies wiederum erlaubte physikalische Reversibilität. Computation war also mit willkürlich kleiner Energie-Dissipation möglich. P. Benioff gelang es um 1981-82, ein reversibles quantenmechanische Modell der Berechenbarkeit und der Information zu erstellen, also das Hamiltonsche Modell mit der Turing-Maschine zu verbinden. In seiner Arbeit *Maxwell's Demon, Szillard's Engine and Quantum Measurements* faßt W. H. Zurek die Ergebnisse zusammen. Er übertrug Szillards Gedankenexperiment in die Quantenmechanik. Der Meßapparat ist dann der Dämon, der die Entropie vermehrt. Diese Entropie kann der Dämon an die Umwelt weitergeben. Die Umgebung bezahlt also die entropischen Kosten der Messung. Die Information, welche durch die Beobachtung bzw. Messung gewonnen wird, muß durch die Vermehrung der Entropie des Meßapparates ausgeglichen werden. Der Dämon, der das Rauschen vermehrt, ist entweder der Interpret oder das Instrument. Ist das Instrument die Rauschquelle, muß der Hörer oder der Interpret die Information produzieren. Ist der Interpret die Rauschquelle, muß das Instrument in der Information exakt sein.

Auf den Zusammenhang zwischen den entropischen Kosten der Information und der Umgebung bezieht sich auch die Arbeit *Entropy Cost of Information* von Paul N. Fahn. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist also ein Entropie-Nichtvermehrungs-Theorem, zumindest ein Entropie-Balance-Theorem. Es besagt, daß, wenn in einem System die Entropie zunimmt, sie in einem angekoppelten System abnimmt. Seitdem gibt es eine Theorie der Entropie-Kosten für Information, eine Theorie der Korrelation zwischen Information und Entropie, die Landauer und Bennett in jüngster Zeit um eine Theorie der Berechenbarkeit (Computation) erweitert haben. Benioff, Feynman, Zurek und Rössler haben die Quantenphysik bzw. Chaostheorie ins Spiel gebracht. Es gibt also eine Theorie der Korrelation zwischen Rauschen und Musik.

Die Dekorrelation des Systems von der Information vermehrt Entropie im System-mit-Information. Dadurch steigt die Entropie im Universum, es sei denn, die Information wird benützt, um woanders die Entropie zu vermindern, bevor die Korrelation zerbricht. Die thermodynamischen Kosten der Information steigen in dem Ausmaß, in dem sie nicht verwendet wird, um Arbeit vom beobachteten, gemessenen System zu erhalten. Dekorrelation zwischen Information und System ist daher das eigentlich entropie-produzierende Ereignis. Dekorrelation zwischen Musik und Rauschen ist daher das eigentliche nicht-musikalische Ereignis, das Entropie produziert.

Das Rauschen bedroht also die Information bzw. die Musik auf mehrfache Weise. Die klassische informationstheoretische Kommunikations- bzw. Musiktheorie hat das Problem des Rauschens erstens vereinfacht, indem sie es ausgeklammert hat, zweitens naiv gesehen, indem sie z. B. den Beobachter bzw. den Interpreten nicht als Fehlerquelle, sondern als Fehlerkorrektur,

als Sklaven der Partitur interpretiert hat. Die aus der Thermodynamik abgeleiteten quantenphysikalischen und chaostheoretischen Zugänge zur Information und Entropie scheinen mir für die Musiktheorie die aussichtsreichsten, weil sie das Problem des Beobachters bzw. Interpreten in den Mittelpunkt stellen. Das Rauschen der klassischen Musik- bzw. Kommunikationstheorie ist mehr oder minder das Rauschen des Eigensignals. Das Rauschen in der Quantenphysik ist das Rauschen des Beobachters, der Fehler unvermeidlich und kreativ produziert.

Ungewißheit, Mangel an Vorhersagbarkeit und an Information, Zufall sind allgegenwärtige Prinzipien nicht nur in der reinen Mathematik (Gregory Chaitin), sondern auch in der klassischen Physik und in der Quantenmechanik. Kurz nachdem Kurt Gödel 1931 seinen berühmten Beweis der Unvollständigkeit (von innen) der Arithmetik vorgestellt hatte, begann sein Freund von Neumann der Frage nachzugehen, ob vielleicht die Quantenmechanik eine ähnliche Beschränkung darstellt — diesmal in einem physikalischen Zusammenhang. Die Struktur der Quantenmechanik gewährleistet nämlich, daß »die Informiertheit des Beobachters über den eigenen Zustand« aus dem Formalismus herausfällt. Die Endophysik, eine mögliche Erklärung der Quantenmechanik, von Otto Rössler seit ca. 1980 entwickelt, verschärft das Beobachterproblem durch die Unterscheidung zwischen einem internen Beobachter, dem nur bestimmte Bereiche der Welt zugänglich sind und für den der Rest der Welt in einer für ihn nicht korrigierbaren und erkennbaren Weise verzerrt wird, und einem externen Beobachter, der als Superbeobachter allerdings nur innerhalb von Modellwelten konstruiert werden kann. Die Welt ist immer nur definiert an der Schnittstelle zwischen dem Beobachter und dem Rest der Welt. Das Rauschen ist von der Information nicht zu trennen. Die Interpretation ist ein Regler, der auf einer Frequenz zwischen Paradies (Information) und Hölle (Fehler) bzw. Musik und Rauschen verschoben werden kann. Information ist also unvermeidlich beobachter-relativ. Der Beobachter erzeugt notwendigerweise Rauschen. Er kann diesem Rauschen der Beobachtung nur entkommen, wenn es selbst ein Teil des Informationsmodells ist. Ähnlich dem von John Bell 1964 vorgeschlagenen Theorem über Fernwirkungen über beliebige Distanzen, über die Existenz der Nicht-Lokalität, wo uns durch (statistische) Korrelationen die Information zugänglich wird, ist auch das Rauschen des Beobachters nur durch Korrelationen aufhebbar. Zur Erhöhung der Informationen genügt also nicht Beobachtung durch mehr Beobachter, sondern es bedarf der erhöhten Korrelation und Kovarianz der Beobachter und Beobachtungen. Interpret und Hörer erzeugen notwendigerweise Rauschen. Diesem Rauschen kann man nur entkommen, wenn es Teil der Komposition wird und es kompositorische Korrelationen zwischen musikalischer Information und Rauschen gibt. Wir haben es also mit einer neuen Quelle des Rauschens zu tun, die hinter dem Begriff der

Entropie lauert, nämlich mit dem Beobachter, dem Interpreten. Denn den idealen Beobachter gibt es nicht. Jede Aufführung verzerrt, wenn auch geringfügig, die Partitur. Das Rauschen des Interpreten als Wahlmöglichkeit. Jede Aufführung verbraucht Energien und produziert Entropie. Der Prozeß der Vernichtung von Information kostet am wenigsten Energie. Die thermodynamischen Kosten sind die Kosten der Interpretation. Das Rauschen der Interpretation wird in der Postmoderne zum Zentrum der kompositorischen Produktion. John Cage hat dies bereits geahnt. Es gibt keine reine Musik wie es keine reine Information gibt. Der Empfänger produziert die Information.

Sonische Kunst: Klang als Spezialfall des Rauschens

Die Abbildung der industriellen, mechano-elektrischen Gesellschaft in den Musikinstrumenten selbst, um eine Musik zu erzeugen, die dieser Gesellschaft adäquat ist, wozu auch die Inklusion des industriellen Lärms, die Emanzipation der Geräusche notwendig ist, hat also zu einer Transformation der Musikinstrumente von hölzernem, blechernem Handwerkszeug zu magnetischen Bändern und zu elektronischen Synthesizern geführt. Dabei ist schon bei den Bandmaschinen — und erst recht bei der elektronischen Musik — die Frage der Partitur, des Interpreten und des Komponisten in die Ära der Postmoderne gerutscht, weil die klassische Definition und Funktion derselben fraglich geworden sind. Beim Zusammenkleben von Bändern und beim digitalen Sampling erst recht (mit Tönen und Geräuschen, die der Komponist nicht alle selbst komponiert, sondern in der Umwelt einsammelt oder von anderen Tonproduzenten übernimmt und die nach Fertigstellung der »Komposition« in Maschinen abgespielt werden, womöglich noch unter Einschluß von Live-Sendungen — Frequenzverschiebungen — aus mehreren Radios bzw. Recordern, Schallplatten etc.), ist weder eine traditionelle Partitur, noch ein Interpret notwendig und auch der Komponist, der Autor im klassischen Sinn: Schöpfer seines gesamten Materials, ist verschwunden. Direktes Schaffen mit allen Klängen, ohne Partitur und Interpreten bzw. Orchester, war es ja, was Varèse an der elektronischen Musik als »Komponieren mit lebendigen Klängen« faszinierte. Man kann nun diese durch die technische Transformation der Musikinstrumente gewonnene Liberalität, die durch die technische und konzeptuelle Transformation der Musik im »organisierten Ton« und im Rauschen freigewordenen Möglichkeiten nutzen und vorantreiben, sie im Werk, in der Kompositionstechnik selbst abbilden oder sich ihnen in der musikalischen Praxis und Theorie entgegenstemmen. Die Schule eines Boulez und Stockhausen versucht gleichsam mit den elektronischen Instrumenten selbst, die von der Techno-Gesellschaft hervorge-

brachten Strukturen musikalisch zu thematisieren. Serielles Komponieren, graduelles Verschieben, Monotonie, Repetition, Ökonomie, Minimalisierung (der Unterschiede) — wie sehr gleichen doch diese musikalischen Kompositionstechniken den wirtschaftlichen Produktionstechniken in den Fabriken, den Rhythmen der Arbeitswelt (assembly line, Fließband, Serienproduktion, flexible Spezialisierung). Durch diese Kompositionstechniken, die ein Wiederhall der Techno-Welt und der Techno-Instrumente sind, gewinnt der Musiker wieder Kontrolle über sein Material. Aber gerade diese »ground control« der Flugversuche der befreiten Klänge ist eine veraltete Position, ein Rest klassischen Komponierens. Der Schöpfer aller Klänge verwandelt sich zum Herrn allen sonoren Materials. Diese Position des Komponisten trägt nicht dem Rechnung, was die Techno-Transformation der Musik an Möglichkeiten eröffnet hat und was in einer historischen Perspektive logischerweise als Verlust gesehen werden kann (Verlust der »Autonomie« des Autors). Auf die Techno-Transformation der Musik reagiert allein das Zulassen des Prinzips Rauschen.

Dieses Verschwinden der klassischen musikalischen Parameter kommt auf wunderbare Weise in einem Werk von Earle Brown zum Ausdruck. In *December 1952* realisierte Brown eine Partitur, die nicht spezifizierte, welche Instrumente und welche Noten zu spielen waren, auch nicht die Dauer der Noten — und damit auch nicht die Länge des Stücks. Solche nonspezifische unbestimmte Kompositionen (»unbestimmt«, indeterminacy, als Freiheitsgrade) der Cageschen Viererbande Morton Feldman, Earle Brown, Christian Wolff, David Tudor haben nicht nur die großartigen Ausbrüche der Fluxus-Musik (La Monte Young, Terry Riley bis Yoko Ono, Joe Jones) begründet, welche die Emanzipation des Performers, der Instrumente, des Hörers mit sich brachte, sondern auch die Fusion bildende Kunst und Musik eingeleitet, welche für die neue Klangkunst der Schall-Skulpturen die Basis bildet. Brown hat zum Beispiel ein Stück für ein Percussion-Quartett geschrieben, bei dem ein Mobile von Calder als Instrument und Dirigent dient. Die räumliche Entfaltung organisierten Schalls (»keine Musik«) wird zur festen Organisation räumlichen Schalls, zur Schall-Skulptur (»kein Musikinstrument«). Wenn jede Art von Schall (das Material der) Musik sein kann und daher jedes schallerzeugende Instrument ein Musikinstrument ist, ist es nur konsequent, spezifische schallerzeugende Instrumente zu bauen, Schall-Skulpturen und Ton-Plastiken, welche so wenig traditionellen Musikinstrumenten gleichen wie Lärm der klassischen Musik. Die Befreiung des Klangs, die Suche nach neuen Klängen, Klangräumen und neuen klangerzeugenden Maschinen hat also nicht nur den Klang, sondern auch die Instrumente und Maschinen befreit und den Raum musikalisch zugänglich gemacht (Musik als Raumkunst statt wie in der Komposition als Zeitkunstform). So gibt es nun als vorläufig letztes Glied in der Befreiung der Musik freie Skulpturen

(Raumgebilde), welche »organisierten Ton« erzeugen, Klang-Skulpturen, was freies Rauschen in offenen Räumen bedeutet. Diese Klang-Skulpturen sind aber keine Instrumente, Klang-Maschinen mehr, die aus sich selbst Klänge erzeugen. Dann wären sie ja der Form und dem Aussehen nach Musikinstrumenten viel zu ähnlich. Diese Skulpturen sind von einer Partitur und einem Interpreten und sogar von einem Komponisten unabhängig bzw. befreit. Sie sind autonom, frei. Sie beziehen ihr klangliches Rohmaterial aus der Umwelt (aus dem Wasser, vom Wind, von der Straße, von der Atmosphäre), sind also umweltspezifisch. Die Umwelt-Töne werden maschinell verstärkt oder maschinell verändert wiedergegeben. Sie spielen unabhängig im Raum, unabhängig von Menschen (sei es als Produzent oder Zuhörer). Sie sind keine Tonträger, sondern höchstens Tonvermittler. Sie sind nicht isoliert, sondern leben von der Umwelt. Sie entfalten nicht nur Raum, sondern sie übertragen sogar akustische Räume. In dieser sonischen Kunst konvergieren mehrere Ziele der Entwicklung der westlichen Musik des 20. Jahrhunderts:

- I) Neue Instrumente, eigens gebaute Geräte, bei denen der Unterschied zwischen musikalisch und nicht-musikalisch entfällt wie der zwischen musikalischen und nicht-musikalischen Tönen, d. h. zwischen Musik und Rauschen (statt früher zwischen Klang und Lärm bzw. Harmonie und Dissonanz).
- II) Inkorporierung der Geräusche, der Töne, des Lärms, des Schweigens der Umwelt, des Rauschens, aller Formen des Schalls.
- III) Verschwinden des Interpreten und des Komponisten.
- IV) Erforschung neuer Kompositionstechniken. Verlagerung des Akzents von Kontroll-Parametern auf Ungewißheits-Parameter und nicht-musikalische Phänomene.
- V) Autonomie des Schalls, Freiheit des Rauschens.
- VI) Spatialisierung und Objektualisierung. Von der Tonband-Maschine zur Ton-Skulptur, vom akustischen Objekt zum akustischen Raum erfolgte die Bewegung der Befreiung des Klangs bzw. des Rauschens.
- VII) Emanzipation des Hörers (nach der Emanzipation der Pause durch Webern und der Emanzipation des Schweigens durch Cage). Der Rezipient wird zum Partizipanten, zum Produzenten der Information.

Literatur:

- Attali, Jacques: *Bruits*, Paris 1977
- Benioff, P.: *The Computer as a Physical System: A Microscopic Quantum Mechanical Hamiltonian Model of Computers as Represented by Turing Machines*. In: Journal of Statistical Physics, New York vol. 22, 1980, S. 563-591

- Ders.: *Quantum Mechanized Models of Turing Machines that Dissipate No Energy*. In: Physical Review Letters, vol. 48, New York 1982, S. 151-158
- Bennett, Charles H.: *Logical Reversibility of Computation*, IBM Journal of Research and Development, vol. 17, New York 1973, S. 525-532
- Ders.: *Demons, engines and the second law*. In: Scientific American, 257, 1987, S. 108-116
- Brillouin, Leon: *Maxwell's demon cannot operate: Information and entropy*. In: Journal of Applied Physics, vol. 22, New York 1951, S. 334-337
- Ders.: *Science and Information Theory*, 1956
- Busoni, Ferruccio: *Ästhetik der Tonkunst*, Frankfurt/M. 1974
- Cage, John: *Silence*, Middletown, Conn. 1961
- Chaitin, Gregory J.: *Information, Randomness and Incomputability*. In: World Scientific, Singapur 1990
- Fahn, Paul N.: *Entropy Cost of Information*. In: Proceedings of the Workshop on Physics and Computation. PhysComp '94. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Cal. 1994, S. 217-226
- Feynman, R.: *Quantum Mechanical Computers*. In: Optics News, vol. 11 (2), Washington D. C. 1985, S. 11-20
- Gödel, Kurt: *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme*. In: Monatshefte für Mathematik und Physik, 38, Wien 1931, S. 173-198
- Landauer, Rolf: *Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process*. In: IBM Journal of Research and Development, vol. 5, New York 1961, S. 183-191 Wiederabdruck: H. S. Leff/A. F. Rex (Hrsg.). Maxwell's Demon, Princeton 1990, S. 188-196
- Ders.: *Computation, Measurement, Communication and Energy Dissipation*. In: S. Haykin (Ed.): Selected Topics in Signal Processing, Englewood Cliffs Prentice Hall 1959, S. 188-196
- Ders.: *Information in Physical*. In: Physics Today, vol. 44, Lancaster Mai 1991, S. 23-29
- Metzger, Heinz-Klaus, Rainer Riehn (Hrsg.): *Edgard Varèse*. Musik-Konzepte 6, München November 1978
- Neumann, John von: *Mathematical Foundation of Quantum Mechanics*, Berlin 1932
- Neumann, John von: *Lecture in 1949*. In: Arthur Burks (Ed.): Theory of Self-Reproducing Automata, Urbana 1966
- Quellette, Fernand: *Edgard Varèse*, London 1973
- Rössler, Otto E.: *Endophysics*. In: J. L. Casti, A. Karlquist (Hrsg.): Real Brains, Artificial Minds. North Holland NY 1987, S. 25-46
- Shannon, Claude E.: *The Mathematical Theory of Communication*. In: Bell System Technical Journal, New York Juli, Okt. 1948
- Szillard, Leo: *Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen*

System bei Eingriffen intelligenter Wesen. Zeitschrift für Physik 53, Berlin 1929, S. 840-856

Varèse, Edgard: *Entretiens avec Georges Charbonnier*, Paris 1970

Zurek, W. H.: *Algorithmic randomness and physical entropy.* In: Physical Review A/40 (8), Woodbury NY 1989, S. 4731-4751

Zurek, Wojciech H.: *Maxwell's Demon, Szillard's Engine and Quantum Measurements.* In: Maxwell's Demon Entropy, Information, Computing. H. S. Left/ A. F. Rex (ed.), Princeton 1990, S. 249-259

Rauscher Zwischen Informati

Als C. E. Shannon 1949 seine Theorie der Information veröffentlichte, begründete er die Informationstheorie als Grundlage für Berechnungen und als Modell für semiotische Systeme. Shannon ging von der Kommunikation innerhalb der Technik aus, wie Telegraphie, Telefon und Funk. Obwohl die Informationstechnik in Kinderschuhen steckt, sind Rechenanlagen nicht zu übersehen. Deren Ausgangspunkt sind die Einzelglieder, die eine Nachricht von einer Quelle aus über einen Übertragungskanal zu ihren Empfängern, die »Sensoren«, führen. Auf diesem Wege, der z. B. in der Fernübertragung eintrifft, kann die Nachricht eintrifft. Ihre Art kann zu einer Verzerrung führen, denn sie können durch Störungen. Somit erhalten die Empfänger nur eine abgeschwächte Nachricht. In einer Übertragungskette ist das wesentliche Ziel der Information, daß sie trotz des Rauschens unversehrt ankommt. Und so erscheint die Information als eine wesentliche Voraussetzung für die Kommunikation. Shannon selbst noch in der Anfangszeit seiner Arbeit, in der er den Begriff der Information definierte, oder gar die Kommunikation im Bereich der Nachrichtentechnik beschäftigt. Geringe Störungen sind für die Entwicklungsfähigkeit und Effizienz