

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 68 (1990)

**Heft:** 12

**Artikel:** Nichtlineare Dynamik : erste Einsätze in der Industrieforschung = Dynamique non linéaire : premières applications dans la recherche industrielle

**Autor:** Mohrdieck, Christian

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-876227>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 29.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Nichtlineare Dynamik – erste Einsätze in der Industrieforschung<sup>1</sup>

## Dynamique non linéaire – premières applications dans la recherche industrielle<sup>1</sup>

Christian MOHRDIECK, Ulm

Zusammenfassung. Hatte man in der Vergangenheit nichtlineare Probleme in Wissenschaft und Technik, so waren sie vielfach mit dem Etikett «singulär» versehen, und man beschränkte sich bei deren Lösung oft auf lineare Annäherungen. Ereignisse wie die Anwendung nichtlinearer Rechenverfahren oder Flüssigkeitskonvektionen werden heute mit Hilfe einer verhältnismäßig jungen Disziplin, der nichtlinearen Dynamik, erforscht und beschrieben. Der Autor erläutert diese Wissenschaft anhand von Beispielen wie der Erzeugung einfacher komplexer Strukturen oder der Verwendung von Fraktalen zur Datenkompression. Die nichtlineare Dynamik gestattet auch, fehlertolerante Schaltungen zu schaffen, die durch Redundanz und «Selbstorganisation» in der Lage sind, bis zu einem gewissen Grad Betriebsunterbrüche selber zu verhindern.

Résumé. Si, autrefois, on était confronté dans les domaines de la science et de la technique à des problèmes non linéaires, ces derniers étaient souvent pourvus de l'étiquette «particuliers» et l'on se limitait souvent pour les résoudre à des approximations non linéaires. Des phénomènes tels que des processus de calcul non linéaires ou des convections de fluides sont aujourd'hui étudiés et décrits à l'aide d'une discipline relativement jeune, la dynamique non linéaire. L'auteur explique cette science en se fondant sur des exemples tels que la production de structures complexes simples ou l'application de fractals pour la compression de données. La dynamique non linéaire permet aussi de créer des circuits acceptant un certain nombre de défauts, qui, en raison de leur redondance et de leur capacité d'«auto-organisation» sont en mesure d'empêcher eux-mêmes certaines interruptions de l'exploitation.

### Dinamica di tipo non lineare – prime applicazioni nella ricerca industriale

Riassunto. Nel passato i problemi di non linearità nella scienza e nella tecnica venivano molto spesso etichettati come «singolari»; per risolverli ci si limitava a cercare delle approssimazioni lineari. Eventi come l'impiego di processi di calcolo non lineari o convezioni di fluidi sono attualmente studiati e descritti per mezzo di una disciplina relativamente giovane: la dinamica non lineare. L'autore descrive questo ramo della scienza in base ad esempi come la creazione di strutture complesse semplici o l'impiego di frattali per la compressione di dati. Inoltre la dinamica non lineare permette di realizzare circuiti in grado di tollerare errori e di evitare fino a un certo grado le interruzioni, grazie alla ridondanza e alla «autorganizzazione».

### 1 Einleitung

Auf dem Gebiet der nichtlinearen Dynamik haben fundamentale Mechanismen – Selbstähnlichkeit fraktaler Strukturen, deterministisches Chaos und Selbstorganisation – interdisziplinäre Bedeutung. Auch die Industrieforschung hat sich des Themas angenommen.

Immer dann, wenn das Ganze mehr als die Summe seiner Teile ist, wenn es um komplexe Systeme geht, liegen Nichtlinearitäten vor. In der nichtlinearen Welt gilt das aus der Wellenlehre bekannte Superpositionsprinzip nicht mehr. Hatte man in der Vergangenheit nichtlineare Probleme in Wissenschaft und Technik meist stiefmütterlich behandelt, sie mit dem Etikett «singulär» versehen und sich oft auf lineare Annäherungen beschränkt, so widmet man sich in den letzten Jahren in der stark expandierenden «Nichtlinearen Dynamik» ganz bewusst den bisher vernachlässigten seltsamen und faszinierenden nichtlinearen Erscheinungen. Die drei folgenden Beispiele zeigen das ungewöhnliche Verhalten solcher Systeme auf.

### 2 Fundamentale Mechanismen

Die wiederholte Ausführung einer so einfachen Vorschrift wie *Quadrieren einer komplexen Zahl* und Addieren einer Konstanten ( $z^2 + c$ ) führt auf das bekannte Apfelmännchen, die *Mandelbrot-Menge* (Fig. 1). Eine solche zerklüftete Figur nennt man Fraktal, das heisst gebrochene Einheit von nicht-ganzzahliger Dimension. Sie weist Selbstähnlichkeit auf, ihre Gesamtgestalt findet

### 1 Introduction

Dans le domaine de la dynamique non linéaire, les mécanismes fondamentaux – semblables aux structures fractales, au chaos déterministe et à l'auto-organisation – ont une signification interdisciplinaire. La recherche industrielle s'est également préoccupée de ce thème.

Chaque fois que l'ensemble est supérieur à la somme des parts constitutives, lorsqu'il s'agit de systèmes complexes, on a affaire à des non-linéarités. Dans le monde non linéaire, le principe de la superposition connu de la théorie des ondes, n'est plus valable. Si, par le passé, on a souvent traité négligemment les problèmes non linéaires dans les sciences et la technique ou si on les a affublés de l'étiquette «singuliers» et qu'en pareil cas on s'est généralement limité à des approximations linéaires, on se consacre depuis quelques années aux phénomènes non linéaires, quelque peu négligés jusqu'ici, mais rares et fascinants, grâce à la forte expansion de la «dynamique non linéaire». Les trois exemples suivants illustrent le comportement inhabituel de tels systèmes.

### 2 Mécanismes fondamentaux

La répétition d'une opération aussi simple que l'*élévation au carré d'un nombre complexe* et l'addition d'une constante ( $z^2 + c$ ) conduit à la forme connue de l'«Apfelmännchen», soit à l'ensemble de *Mandelbrot* (fig. 1). Une figure à tel point tourmentée est dénommée fractale, c'est-à-dire unité brisée de dimension non com-

<sup>1</sup> Vortrag am Technischen Pressecolloquium TPC 90 der AEG in Heilbronn gehalten.

<sup>1</sup> Exposé tenu au colloque technique TPC 90 organisé par AEG à Heilbronn

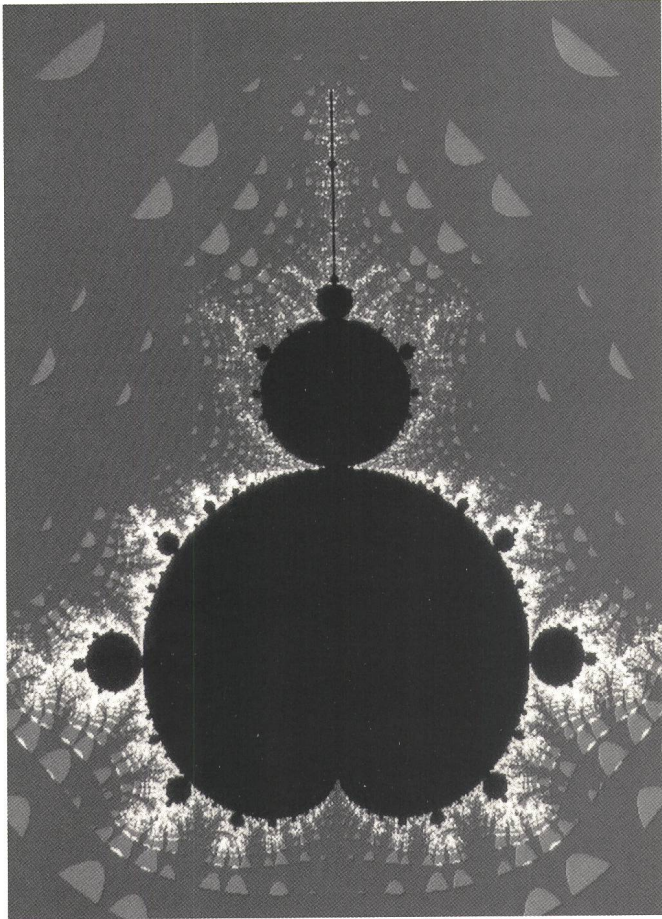


Fig. 1  
Die als Apfelmännchen bekannte Mandelbrot-Menge – Ensemble de Mandelbrot connu sous le nom d'«Apfelmännchen»

sich auch in den unterschiedlichsten Detailvergrößerungen wieder.

Wendet man gewisse einfache *nichtlineare Rechenvorschriften* nacheinander auf zwei kaum voneinander ver-

plète. Elle comporte une certaine répétition symétrique et son allure globale se retrouve également dans les agrandissements de détail les plus divers.

Si l'on applique certains *processus de calcul non linéaire* simples les uns après les autres à deux nombres ne différant pratiquement pas, la suite des nombres qui en découle n'a plus aucune ressemblance, après quelques opérations déjà (fig. 2). On parle de chaos déterministe, vu qu'il découle du comportement étonnant d'un processus déterministe. A l'encontre de notre perception naturelle, des conditions de départ presque identiques ont des conséquences totalement différentes. Il n'est en l'occurrence pas déplacé de penser aux prévisions météorologiques ou boursières.

Dans les phénomènes de *convection des fluides* entre deux plaques maintenues à des températures différentes (fig. 3), on peut constater la brusque formation de textures en forme de tubes à des températures déterminées (tubes de Bénard). Vu que ce phénomène n'est pas dû à une influence extérieure, on le nomme auto-organisation. Il est typique pour les systèmes en réseau.

### 3 Nouvelle compréhension des systèmes dans l'examen de phénomènes complexes

Ce n'est qu'au premier abord que les exemples ci-dessus ressemblent à une liste de phénomènes intéressants mais sans relation. La découverte sensationnelle de la dynamique non linéaire réside dans le fait que derrière le comportement inhabituel de systèmes non linéaires les plus divers, on retrouve toujours les mêmes mécanismes fondamentaux simples: qu'il s'agisse de la forme d'une feuille de fougère, des propriétés des matériaux non magnétiques ou même de la structure d'une entreprise, ou encore d'une organisation sociale, la similitude avec les fractals domine la structure. Qu'il s'agisse

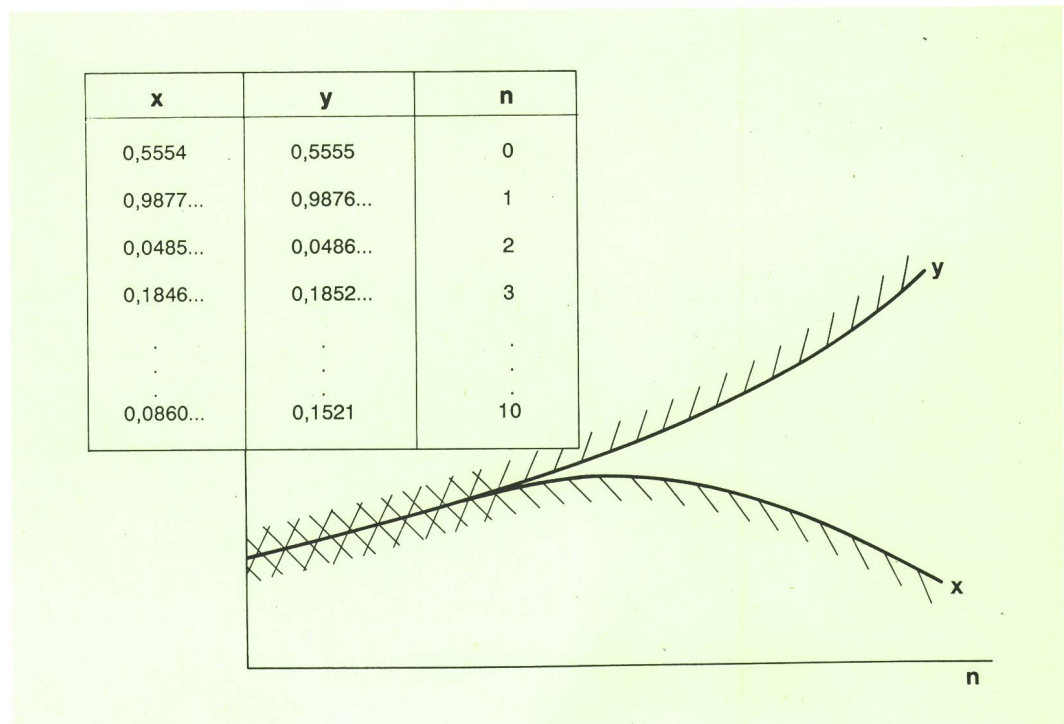


Fig. 2  
Chaotische Zeitreihen: Unvorhersagbarkeit – Séries chaotiques: Imprévisibilité

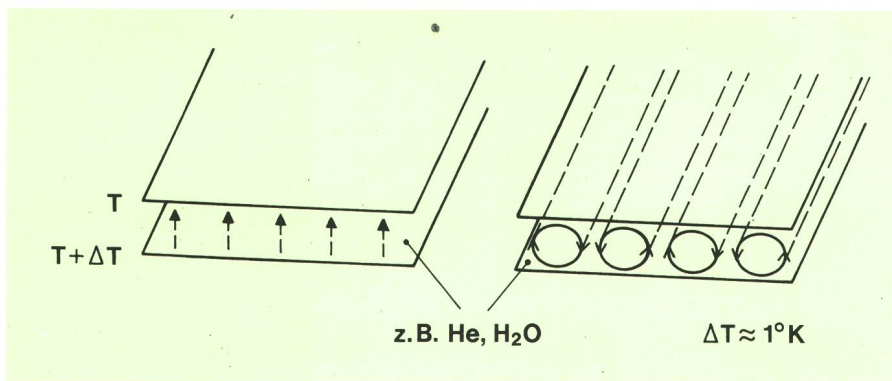


Fig. 3  
Ausbildung von Rollenmustern im Bénard-Experiment – Formation de cylindres dans l'expérience de Bénard

schiedene Zahlen an, so besitzen die beiden jeweils entstehenden Zahlenfolgen schon nach einigen Schritten überhaupt keine Ähnlichkeit mehr (Fig. 2). Man spricht von deterministischem Chaos, weil das erstaunliche Verhalten einer deterministischen Vorschrift entspringt. Fast gleiche Anfangsbedingungen haben also entgegen unserem natürlichen Empfinden vollkommen verschiedene Konsequenzen. Es ist nicht abwegig, hier an Wetter- oder Börsenkursvorhersage zu denken.

Bei Flüssigkeitskonvektionen zwischen zwei auf verschiedener Temperatur gehaltenen Platten (Fig. 3) kann es bei bestimmten Temperaturen plötzlich zur Ausbildung von Rollenmustern (Bénard-Rollen) kommen. Da kein äußerer Einfluss steuernd eingreift, nennt man das Phänomen Selbstorganisation. Sie ist typisch für vernetzte Systeme.

### 3 Neues Systemverständnis bei der Erforschung des Komplexen

Nur auf den ersten Blick wirken die obigen Beispiele wie eine interessante, aber zusammenhangslose Aufzählung. Die sensationelle Erkenntnis der nichtlinearen Dynamik besteht darin, dass hinter dem ungewöhnlichen Verhalten verschiedenster nichtlinearer Systeme stets dieselben einfachen fundamentalen Mechanismen stehen: Ob es die Form eines Farnblatts, die Eigenschaften magnetischer Materialien oder sogar der Aufbau eines Unternehmens, einer sozialen Gesellschaft ist, die Selbstähnlichkeit der Fraktale beherrscht die Struktur. Ob es um Strominstabilitäten in Halbleitern oder wilde Oszillationen in den Populationen von Jäger-/Beutetier-systemen geht, die Route ins deterministische Chaos weist den Weg. Sei es die Anregung eines Lasers zur Ausstrahlung kohärenten Lichts oder die Evolution der Lebewesen, überall hält die Selbstorganisation das Steuer in der Hand.

Immer erweisen sich die Nichtlinearitäten als Ursache komplexen Verhaltens. Die Universalität der Konzepte Selbstähnlichkeit, deterministisches Chaos und Selbstorganisation ist der Schlüssel zu einem ganz neuen Systemverständnis, das den inneren Zusammenhang so verschiedener Disziplinen wie fraktaler Geometrie, Thermodynamik irreversibler Prozesse, Synergetik, Katastrophentheorie, statistische Physik der Phasenübergänge und Evolutionstheorie aufdeckt. Viele Forscher sprechen sogar von einer dritten Revolution in der Physik dieses Jahrhunderts nach Relativitätstheorie und Quantenmechanik. Wer komplexe Systeme verstehen will, muss das

d'instabilité de courant dans des semi-conducteurs ou d'oscillations aléatoires dans les populations de systèmes chasseurs/gibier, tout est régi par le chaos déterministe. Tant dans ce cas de l'excitation d'un laser pour l'émission de lumière cohérente que dans celui de l'évolution des organismes vivants, l'auto-organisation commande les phénomènes.

Les phénomènes non linéaires sont toujours à l'origine des comportements complexes. L'universalité des concepts des fractals, du chaos déterministe et de l'auto-organisation constitue la clé d'une compréhension toute nouvelle de systèmes qui portent sur des disciplines aussi diverses que la géométrie fractale, la thermodynamique de procédés irréversibles, la synergetique, les théories des catastrophes, la physique des points de transition de phases et la théorie de l'évolution. De nombreux chercheurs parlent même d'une troisième révolution dans la physique de ce siècle après la théorie de la relativité et la mécanique des quanta. Celui qui veut comprendre des systèmes complexes doit s'attaquer à ce concept universel, à ce rudiment de l'unité ou de la synergetique.

Malgré l'importance attribuée à la dynamique non linéaire, on peut se demander: peut-elle être aujourd'hui déjà un thème de la recherche industrielle? Pratiquement tous les systèmes physico-techniques ne sont pas linéaires. Même avec le pendule simple, des phénomènes inattendus tels que le chaos apparaissent sous certaines conditions. La théorie des systèmes complexes non linéaires est aujourd'hui relativement avancée et conduira, d'une part, par le biais de la dualité caractéristique d'instabilité et de chaos à la création d'échantillons et de fractals et, d'autre part, à un grand nombre d'applications techniques entièrement nouvelles qui ne pourraient pas être réalisées avec les procédés conventionnels. Dans la mécanique et l'aérodynamique, ainsi que dans les semi-conducteurs, on observe des comportements singuliers en partie encore non expliqués qui doivent être maîtrisés pour assurer l'exploitation sûre de véhicules ou de systèmes de la navigation aérienne et spatiale ou de l'électronique. On peut citer comme exemple les vibrations d'engrenages, les turbulences et les claquages de courant.

### 4 Modèle du cœur humain

Un modèle pour les nouveaux concepts de commande de la recherche en matière de chaos pourrait être le cœur humain qui, à l'état sain, possède une fréquence

dargestellte, universelle Konzept, diesen ganzheitlichen oder synergetischen Ansatz aufgreifen.

Trotz der Bedeutung, die der nichtlinearen Dynamik zugemessen wird, wird die Frage gestellt: Kann das bereits heute ein Thema der Industrieforschung sein? Nahezu alle physikalisch-technischen Systeme sind nichtlinear. Schon beim einfachen Pendel treten unter gewissen Voraussetzungen interessante und unerwartete Erscheinungen wie Chaos auf. Die Theorie komplexer nichtlinearer Systeme ist heute verhältnismässig weit fortgeschritten und wird über den charakteristischen Dualismus von Instabilitäten und Chaos auf der einen sowie von Musterbildung und Fraktalen auf der anderen Seite zu einer Vielzahl völlig neuartiger technischer Anwendungen führen, die mit konventionellen Verfahren unerreichbar wären. In der Mechanik und Aerodynamik sowie bei Halbleitern beobachtet man singuläres, zum Teil sogar ungeklärtes Verhalten, das für den sicheren Betrieb von Fahrzeugen oder Systemen der Luft- und Raumfahrt oder Elektronik beherrschbar gemacht werden muss. Dazu gehören Getriebschwingungen, Turbulenz und Stromdurchbrüche.

#### 4 Vorbild menschliches Herz

Ein Vorbild für die neuen Steuerungskonzepte der Chaosforschung könnte das menschliche Herz sein, das in gesundem Zustand eine chaotisch variierende Schlagfrequenz besitzt. Längere Folgen regelmässiger Schläge sind oft Vorboten oder Anzeichen lebensgefährlicher Fehlfunktionen. Chaos versieht das Herz offenbar mit der nötigen Komplexität, um sich an unvorhersehbare Belastungen anpassen zu können. Chaos ist die Basis für kreative Selbstorganisation – ein vor der nichtlinearen Dynamik unvorstellbarer Gedanke.

Computer- oder Kommunikationsnetze werden als komplexe nichtlineare Systeme über die Selbstorganisation in die Lage versetzt werden, sich den Anforderungen entsprechend «intelligent» zu strukturieren. Die künstliche Intelligenz wird neuartige, nicht regelbasierte Konzepte entwickeln. Schon ist die Rede von sich selbst schreibender Software. Im Bereich Kommunikations- und Informationstechnik einschliesslich TV und Video bieten Fraktale und Musterbildung neue Ansätze zur Datenkompression, zur Musterspeicherung, -erkennung und -übertragung. Der Evolution wird man Konzepte für sich selbstorganisierende intelligente Sensoren wie Auge und Ohr entnehmen.

Der neue Systemansatz der nichtlinearen Dynamik berührt also nahezu jedes Geschäftsfeld. Doch er geht noch viel weiter. Ein Unternehmen selbst ist ein komplexes nichtlineares System mit selbstähnlicher Struktur (Abteilung, Hauptabteilung usw.). Unter Berücksichtigung der fundamentalen Mechanismen solcher Systeme und Abkehr von linearen Wenn-dann-Beziehungen besteht Management in der geeigneten Komplexitätsanpassung. «Systemischevolutionäres», «ganzheitliches» oder «synergetisches» Management setzt die Selbstorganisation so ein, dass das Unternehmen sich im Blick auf das eigene Ergebnis optimal an innere und äussere Änderungen anpasst.

In den beschriebenen Anwendungen liegt eine grosse Zukunft. Als zukunftsorientiertes Unternehmen will sich

de battement variant de manière chaotique. Des séries prolongées de battements réguliers sont souvent les signes avant-coureurs d'un dysfonctionnement pouvant être mortel. Le chaos confère au cœur la complexité nécessaire lui permettant de s'adapter aux efforts qui lui sont demandés. Le chaos est la base de l'auto-organisation créative – une idée que l'on ne pouvait pas se représenter avant l'apparition de la dynamique non linéaire.

Les réseaux d'ordinateurs ou de communication peuvent en tant que systèmes complexes non linéaires, par le biais de l'auto-organisation, se structurer de manière «intelligente», conformément aux exigences auxquelles ils sont soumis. L'intelligence artificielle développera de nouveaux concepts fondés sur certaines règles. Il est déjà question de logiciels qui s'écrivent eux-mêmes. Dans les domaines de la technique de la communication et de l'information, y compris ceux de la télévision et de la vidéo, les fractals et l'échantillonnage offrent de nouvelles bases pour la compression des données, la mémorisation, la reconnaissance et la transmission des signaux. Cette évolution permettra de mettre au point la conception de capteurs intelligents auto-organisés susceptibles de remplacer l'œil et l'oreille.

Le nouveau système de base de la dynamique non linéaire touche donc pratiquement chaque domaine économique. Et il va encore beaucoup plus loin. Une entreprise est elle-même un système complexe non linéaire avec une structure fractale (division, division principale, etc.). En tenant compte des mécanismes fondamentaux de tels systèmes et en se détournant des relations «si ... alors», le management consiste à l'adaptation judicieuse de la complexité. Un management «évoluant avec le système», «unitaire» ou «synergetique» utilise l'auto-organisation de telle manière que l'entreprise s'adapte de manière optimale aux modifications internes et extérieures en fonction des résultats qu'elle désire obtenir.

Un grand avenir est promis aux applications décrites. En tant qu'entreprise orientée vers l'avenir, AEG veut aujourd'hui déjà se préoccuper de ces théories de base conduisant à la compréhension des phénomènes complexes, afin de s'assurer à temps le savoir et la compétence nécessaires dans ce domaine. L'idée fondamentale est de reconnaître et de créer des structures complexes avec des méthodes simples. Deux exemples de telles applications sont présentés ci-après.

#### 5 Reconnaissance simple de structures complexes – fractals pour la compression des données

Des taux élevés de compression de données sont déterminants pour la réalisation de nombreux progrès dans le domaine des télécommunications – à l'image du visio-phonie. L'«Apfelmännchen» montre que des structures fractales compliquées peuvent être créées très simplement. L'image cache cependant une structure encore plus complexe. En effet, dans chaque point de l'«Apfelmännchen» se cache une autre texture fractale, appelée l'ensemble de *Julia*, qui peut être reconstituée aussi facilement que l'ensemble de Mandelbrot. L'«Apfelmännchen» est ainsi une mémoire de données pour un nombre infini d'images différentes. Une possibilité

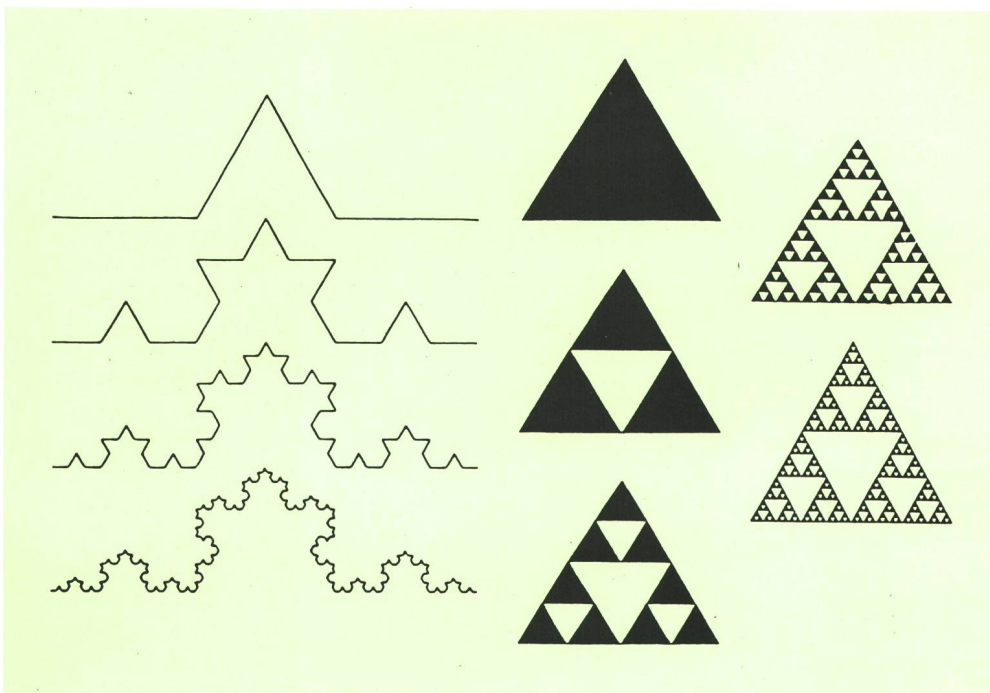


Fig. 4  
Kochsche Schneeflockenkurve und Sierpinski-Dreieck als einfache Beispiele für Fraktale – Courbe de flocons de neige de Koch et triangle de Sierpinski en tant qu'exemples simples de fractals

beispielsweise AEG heute mit diesem neuen Ansatz zum Verständnis des Komplexen auseinandersetzen, um rechtzeitig Kompetenz aufzubauen und Know-how zu sichern. Leitlinie ist dabei die Erkennung und Erzeugung komplexer Strukturen mit einfachen Methoden. Zwei Beispiele sollen im folgenden vorgestellt werden.

## 5 Einfache Erzeugung komplexer Strukturen – Fraktale zur Datenkompression

Hohe Datenkompressionsraten sind entscheidend für die Verwirklichung vieler Vorhaben der Telekommunikation – zum Beispiel das Bildtelefon. Das Bild des Apfelmännchens zeigt, dass komplizierte fraktale Strukturen sehr einfach erzeugt werden können. Hinter dem Bild verbirgt sich aber eine noch komplexere Struktur. In jedem Punkt des Apfelmännchens ist wiederum ein anderes fraktales Muster gespeichert, das *Julia*-Menge genannt wird und ebenso einfach erzeugt werden kann wie die Mandelbrot-Menge selbst. Das Apfelmännchen ist damit ein Datenspeicher für unendlich viele verschiedene Bilder. Ein Weg zur Codierung eines Bildes führt über die Selbstähnlichkeit und das einfache Konstruktionsprinzip vieler Fraktale. Die Beispiele *Kochs*che Kurve und *Sierpinski*-Dreieck mit Dimensionen zwischen 1 und 2 bzw. 2 und 3 können dies einfach veranschaulichen (Fig. 4).

Von *Barnsley* und *Sloan* stammt ein Verfahren, das hohe Kompressionsraten verspricht und auf dem einfachen algorithmischen Bildungsgesetz fraktaler Strukturen basiert. Man verwendet Kombinationen von Drehstauungen und Verschiebungen (Fig. 5), die in geeigneter Weise die Symmetrien der zu codierenden Figur widerspiegeln. Die iterierte Anwendung eines Satzes solcher affiner Transformationen gibt dann das codierte Bild nach und nach zurück. Auf 24 zweistellige Zahlen kann man so den Code für ein Farnblatt (*Titelbild*) komprimieren. In diesem Fall ist das Verfahren konventionellen Techniken weit überlegen.

de codage d'une image passe par l'«autoressemblance» et le principe de construction de nombreux fractals. Les exemples de la courbe de *Koch* et du triangle de *Sierpinski* avec des dimensions entre 1 et 2 respectivement 2 et 3 peuvent l'illustrer de manière simple (fig. 4).

*Barnsley* et *Sloan* proposent un procédé promettant un taux de compression élevé fondé sur la loi de formation algorithmique simple de structures fractales. On utilise les combinaisons de compression-rotation et déplacement (fig. 5) qui reflètent de manière appropriée les symétries de la figure à coder. L'utilisation itérative d'une série de telles transformations affines reproduit ensuite petit à petit l'image codée. On peut ainsi compresser le code pour une feuille de fougère (*page de couverture*) sur 24 nombres à deux chiffres. Dans ce cas, le procédé est largement plus performant que les techniques conventionnelles.

Il est ainsi possible de reconstituer des paysages entiers à l'aide d'algorithmes simples. La difficulté est due, aujourd'hui encore, au fait que le codage est trop lent pour une application en temps réel. Un certain progrès pourrait être obtenu par la transposition de l'image à coder dans l'auto-organisation d'un système dynamique dont les lois dynamiques simples représenteraient le code.

## 6 Auto-organisation et redondance par maillage – circuits tolérant les défauts

L'auto-organisation conduit inmanquablement à la redondance. Dans des systèmes complexes en réseau l'information, et, par là, la capacité de remplir certaines fonctions, est répartie dans le système. La destruction d'éléments du système est compensée dans une certaine mesure par un procédé d'autoréparation des éléments restants commandée par l'auto-organisation. Le meilleur exemple de tolérance de défauts dans un système est donné par le cerveau humain qui se structure

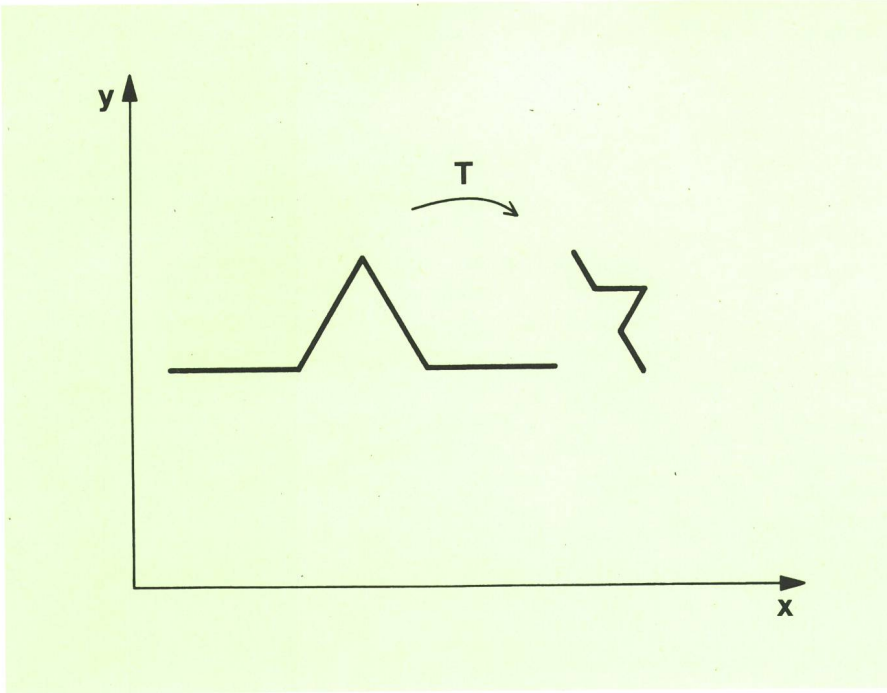


Fig. 5  
Wirkung einer kontrahierenden affinen Transformation (Drehstauchung und Verschiebung) – Effet d’une transformation contractante affine (compression-rotation et déplacement)

Mit einfachen Algorithmen können so ganze Landschaften codiert und rekonstruiert werden. Die Schwierigkeit besteht heute noch in der für Echtzeitanwendungen zu langsamen Codierung. Gegenstand aktueller Forschung ist das intensive Studium der erzeugenden Algorithmen. Ein Fortschritt könnte in der Umsetzung des zu codierenden Bildes in die Selbstorganisation eines dynamischen Systems liegen, dessen einfache dynamische Gesetze dann den Code darstellen.

## 6 Selbstorganisation und Redundanz durch Vernetzung – Fehlertolerante Schaltungen

Selbstorganisation führt unweigerlich zu Redundanz. In vernetzten komplexen Systemen ist die Information und damit die Fähigkeit, bestimmte Funktionen zu erfüllen, über das System verteilt. Die Zerstörung von Teilen wird über einen von der Selbstorganisation gesteuerten Selbstheilungsprozess der verbleibenden Elemente bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen. Ein unübertroffenes Beispiel für diese Fehlertoleranz ist das menschliche Gehirn, das sich in selbstorganisierten Lernprozessen strukturiert und redundant auslegt.

est acquiert de la redondance par des procédés d’apprentissage auto-organisés.

Les réseaux neuroniques sont des modèles de systèmes non linéaires complexes qui possèdent des propriétés telles qu’apprendre, se souvenir et associer et avec lesquelles on peut étudier les lois fondamentales d’un système complexe, telles que la redondance. Leur parenté avec des modèles physiques pour certains phénomènes magnétiques confirme l’universalité des nouvelles découvertes sur les systèmes maillés.

Dans un circuit ordinaire de redondance quatre (fig. 6), le signal se déplace chaque fois de gauche à droite. Le degré de fonctionnement sans défaut de l’ensemble du système dépend de la capacité de fonctionnement de bout en bout d’au moins un sous-système. En revanche, dans les systèmes neuroniques maillés, le signal peut encore trouver un chemin de gauche à droite même en cas de défaut dans les quatre sous-systèmes. Le système s’organise de telle manière qu’il utilise les parties intactes des sous-systèmes pour remplir la fonction globale.

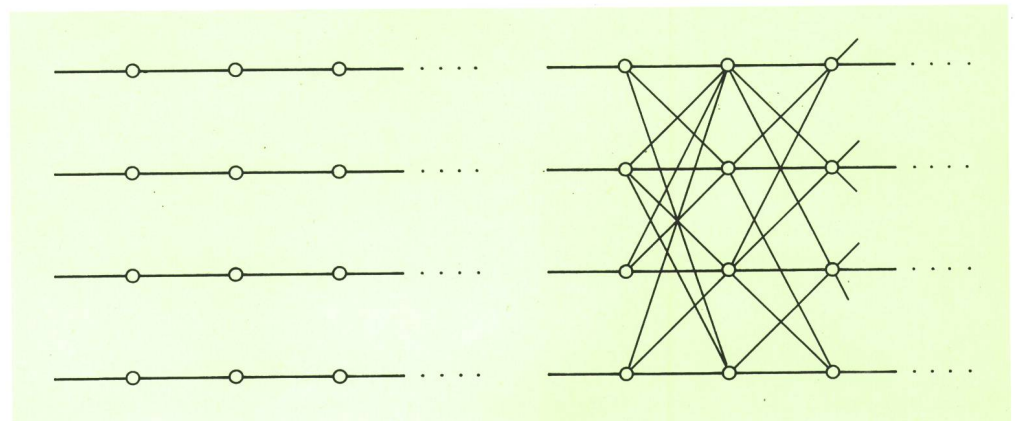


Fig. 6  
Zwei Spielarten von Redundanz: herkömmliche Mehrfachauslegung und neuronale Fehlertoleranz – Deux sortes de redondance: Circuit multiple et tolérance neuronale des défauts

Neuronale Netze sind Modelle für komplexe nichtlineare Systeme, die Eigenschaften wie Lernen, Erinnern und Assoziieren besitzen und an denen man die fundamentalen Gesetze des Komplexen wie Redundanz studieren kann. Ihre Verwandtschaft mit physikalischen Modellen für bestimmte magnetische Erscheinungen bestätigt die Universalität der neuen Erkenntnisse über vernetzte Systeme.

In einer herkömmlich vierfach redundant ausgelegten Schaltung (Fig. 6) läuft das Signal jeweils von links nach rechts. Die Fehlerfreiheit des Gesamtsystems hängt von der durchgängigen Funktionsfähigkeit mindestens eines Untersystems ab. Dagegen kann das Signal im neuronal vernetzten System selbst bei Fehlern in allen vier Teilsystemen noch einen Weg von links nach rechts finden. Das System organisiert sich selbst so, dass es die intakten Teile der Untersysteme ausnutzt, um die Gesamtsystemfunktion zu erfüllen.

Bei Diskussionen über redundante Ansteuerschaltungen für Aktiv-Matrix-Anzeigen wurde die grosse Bedeutung fehlertoleranter Schieberegister für künftige Anwendungen erkannt. In einem Schieberegister wird ein Eingangssignal nach einem vorgegebenen Takt an die verschiedenen Ausgänge weitergegeben. Ein neuronales Netz kann diesen Funktionsablauf lernen. Das so konstruierte Schieberegister funktioniert auf Grund der systemimmanenten Fehlertoleranz durch Redundanz im neuronalen Netz auch bei Ausfall von Teilen des Systems durch Herstellungsfehler oder Zerstörung. Das Ergebnis kann einfach in eine Schaltung (Fig. 7) übersetzt werden, die simuliert und aus diskreten Bauelementen aufgebaut und getestet wurde. Einige Eigenschaften vernetzter Systeme können an ihr untersucht werden. Anwendungen dieses neuen Redundanzkonzeptes in Technologien mit Ausbeuteschranken und in sicherheitsrelevanten Bereichen liegen auf der Hand.

## 7 In Zukunft unverzichtbar

Die nichtlineare Dynamik hat zu einem völlig neuen Systemverständnis bei der Erforschung des Komplexen

Lors de discussions concernant des circuits de commande redondants pour des affichages à matrice active, on a reconnu la grande importance de pouvoir disposer dans des installations futures de registres à décalage tolérant les défauts. Un signal d'entrée est introduit selon un rythme prescrit dans un registre à décalage et transmis aux différentes sorties. Un réseau neuroniques peut apprendre le déroulement de cette fonction. Le registre à décalage ainsi construit fonctionne sur la base de la tolérance aux défauts propres au système par redondance dans le réseau neuroniques également en cas de défaillance de parties du système par suite d'erreurs de fabrication ou de destructions. Le résultat peut être traduit simplement dans un circuit (fig. 7) qui simule le dispositif et a été construit en élément discret puis testé. Il permet d'examiner quelques propriétés des systèmes maillés. L'application de ce nouveau concept de redondance dans des techniques faisant appel à des barrières électroniques de comptage de production ou utilisé dans le domaine de la sécurité ne pose pas de problèmes.

## 7 L'avenir est impensable sans la dynamique non linéaire

La dynamique non linéaire a conduit à une compréhension totalement nouvelle des systèmes complexes. Derrière des structures compliquées on a reconnu des concepts simples et universels tels que l'«autoressemblance», le chaos déterministe et l'auto-organisation. On a de ce fait compris qu'il était possible de reconnaître et de créer des structures complexes telles que les fractals à l'aide de mécanismes de base fort simples. L'avenir appartient à de telles idées fondamentales. Pour maîtriser les systèmes maillés complexes et utiliser de manière créative leurs qualités totalement nouvelles, on ne peut se passer de la dynamique non linéaire. Ce domaine de recherche interdisciplinaire laisse déjà entrevoir de nombreuses possibilités d'application. Elles

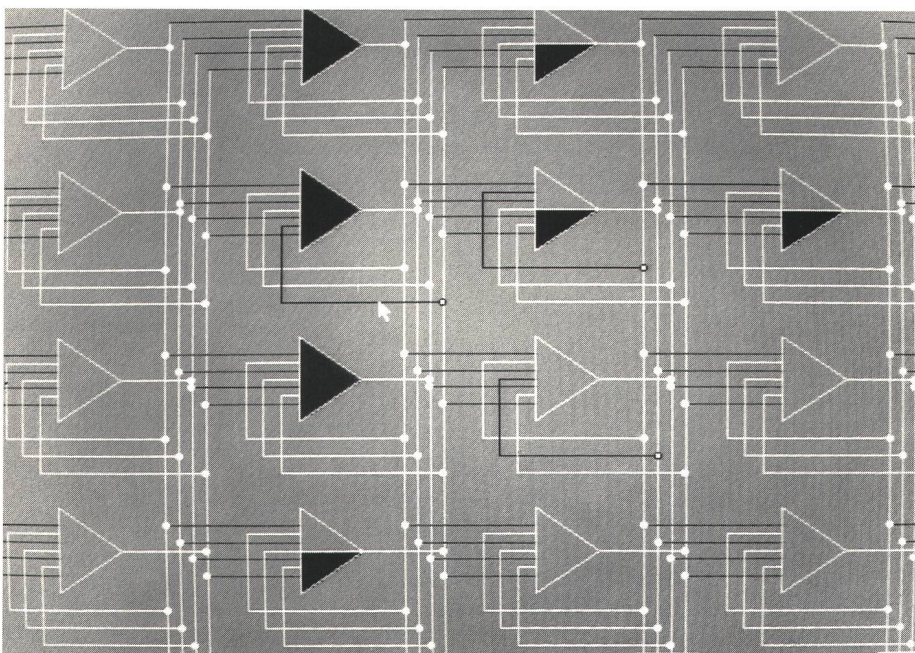


Fig. 7  
Eine fehlertolerante Schaltung kann beschädigte Bauteile und Verbindungen bis zu einem gewissen Grad selbst umgehen – Un circuit tolérant les défauts peut éviter dans une certaine mesure les éléments et les liaisons défectueux

geführt. Hinter komplizierten Strukturen erkannte man einfache universelle Konzepte wie Selbstähnlichkeit, deterministisches Chaos und Selbstorganisation. Damit hat man die Einsicht gewonnen, dass man mit einfachsten fundamentalen Mechanismen komplexe Strukturen wie Fraktale erkennen und erzeugen kann. Diesem Ansatz gehört die Zukunft. Um komplexe vernetzte Systeme zu beherrschen und mit ihren vollkommen neuartigen Qualitäten schöpferisch umgehen zu können, ist die nichtlineare Dynamik unabdingbar. Das interdisziplinäre Forschungsgebiet zeigt viele Anwendungsmöglichkeiten auf. Sie berühren alle Aktivitätsfelder eines modernen Technologiekonzerns und betreffen sogar das System «Unternehmen» und seine Managementstrukturen. In Anbetracht dieser Situation besteht gar kein Zweifel: Nichtlineare Dynamik muss schon heute ein Thema für die Industrieforschung sein.

touchent tous les champs d'activité d'un Konzern moderne s'occupant de technologie et peuvent même être appliquées au système «Entreprise» et à ses structures de management. Dans cette optique, aucun doute ne subsiste: la dynamique non linéaire doit être aujourd'hui déjà un thème de la recherche industrielle.

---

**Die nächste Nummer bringt unter anderem:**

**Vous pourrez lire dans le prochain numéro:**

**1/91**

- |  |   |
|--|---|
| Liver B.                               | Wissensbasierte Systeme im Netzmanagement<br>Systèmes intelligents pour la gestion des réseaux                  |
| Ansorge H.                             | Schrärgespeiste Doppelreflektorantenne für 20/30-GHz-Erdfunkstellen   |
|  | English Part  |
| Vergères D.,<br>Jordi P.,<br>Loëmbé A. | Simultaneous Error Performance of Antenna Pattern diversity and vertical Space diversity on a 64 QAM-Radio Link |