

# System

*griechisch systema, lateinisch: systema*

aus Einzelteilen zusammengefügtes und gegliedertes Ganzes, Vereinigung, Gruppe, die in einem Staat zusammen Lebenden, Staatsgebäude, Staatsverfassung, zusammengesetztes Lehrgebäude;

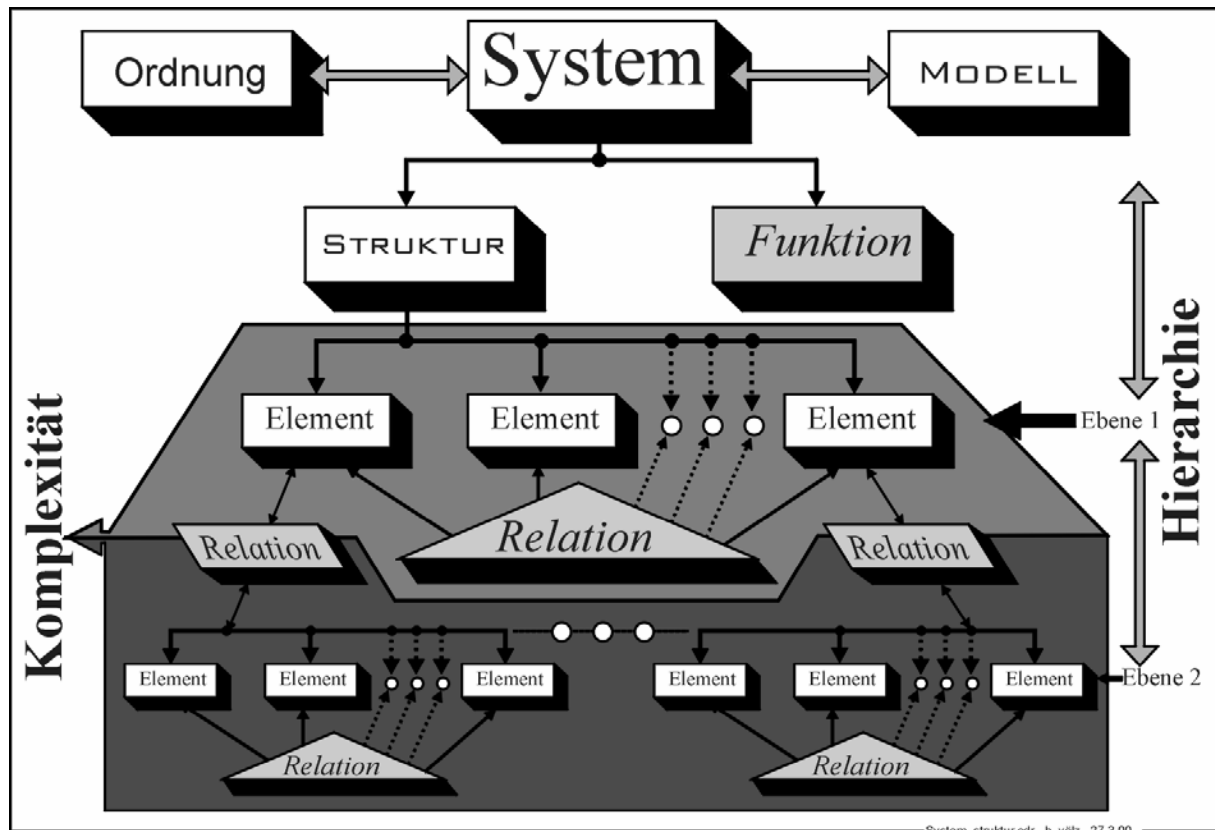
*synistemi* zusammensetzen, -stellen

-500	Konfuzius eigentlich Kong Qiu, (551 - 479 v. Chr.) überliefert u.a. I-Gong (-7000)
<i>römische Antike</i>	praktisch nur musik-sprachliche Bedeutung
14. Jh.	astronomisch, kosmologisch
16. Jh.	methodisch dargelegte Lehre
16. Jh.	erstmalig <b>deutsch</b> , z. B. Sonnensystem, mit der Zeit immer allgemeinerer Gebrauch.
17. Jh.	Inbegriffe von Wahrheiten oder Zusammenstellung von Doktrinen (Plan, Konzept, Methode)
18. Jh.	Kreislauf- Gefäß- und Nervensystem; Regierungs-, Verwaltungssystem
1735	Carl v. Linné (1707 - 1778) „Systema naturae“
1750	Johann Heinrich Lambert (1728 - 1777) unterscheidet Systemarten
1781	Immanuel Kant (1724 - 1804): Kritik der reinen Vernunft das philosophische System ist „die Einheit der mannigfaltigen Erkenntnisse unter eine Idee“
1790	Charles Maurice de Talleyrand (1754 - 1838) schlägt metrisches System vor (1791 gesetzlich)
1869	Dmitrij Mendelejew (1834 - 1907), Julius Lothar Meyer Periodensystem der chemischen Elemente
19. Jh.	Begriff Systematisieren wird bedeutsam
20. Jh.	System auch für ein philosophisches Lehrgebäude
1914	Semi-Thue-System, formale Sprachen (Mathematik)
1925	Küpfmüller beginnt Arbeiten zur Systemtheorie der Nachrichtentechnik
1926	Smuts „Holism and Evolution“ Systemtheorie der Evolution
1929	Wolfgang Köhler (1887-1967) Gestaltpsychologie
1929	Powell Hubble (1898 - 1953) Rotverschiebung, Evolution des All als Folge (1965)
1947	Ludwig v. Bertalanffy (1901 - 1972) Allgemeine Systemtheorie
1948	N. Wiener (1894 - 1964): Kybernetik mit System-Klassen
1949	Talcott Parsons, (1902 - 1979) Beiträge zur soziologischen Theorie
ca. 1950	bei Technik: Beginn digitaler Systeme
1958	Claude Gustave Levi-Strauss (*1908) Strukturelle Anthropologie
1967	Ilya Prigogine: dissipative Systeme, Selbstorganisation
1970	Wassily W. Leontieff (1906 - 1999) Wirtschaft als System
1977	Niklas Luhmann (1927 - 1998) Buch: Soziale Systeme

## Erklärungen von System

typische Systembegriffe sind fett ausgezeichnet

- viele Systeme werden als **Modelle** zur Beschreibung der Natur oder anderer Systeme benutzt
- System ist ein **Ganzes**, das Teile enthält, die auch Elemente genannt werden
- es gibt u.a. natürliche, soziale, mathematische und technische Systeme
- dies Ganze ist oft mehr als die Summen seiner Teile, ermöglicht neue Qualität, z. B. Emergenz, Synergie
- Sie wird vielfach in der **Funktion** | dem Verhalten des Systems erfaßt
- die **Elementen** können aufeinander einwirken bzw. Relationen eingehen
- die möglichen | zugelassenen Einwirkungen | **Relationen** sind entscheidend für die **Struktur**
- eine Struktur hat immer eine **Ordnung** (selbst bei zufälliger Struktur)
- die Elemente können wiederum aus (Unter-) Elementen (als Teilsysteme) bestehen
- so entstehen (**Hierarchie**-) Schichten, Ebenen
- innerhalb der Ebenen ist die Wechselwirkung meist ausgeprägter als zwischen den Ebenen
- Zusammenfassung von Relationen, Ebenen und Funktionen ergibt sich die **Komplexität** des Systems
- Vielfach bestimmen die oberen Ebenen, die Wirkmöglichkeiten der unteren Ebenen (Befehlshierarchie)
- eine oft brauchbare Beschreibung für Systeme ermöglicht die Mengenlehre
- Beschreibung, Erklärung, wissenschaftliche Behandlung erfolgt in der **Systemtheorie**
- sie wird je nach Anwendung uneinheitlich benutzt, aber vielfach der allgemeinen **Kybernetik** zugeordnet



## Arten von Systemen

Der Begriff System hat extrem breite Anwendung, seine Klassifikation nach sehr vielen Eigenschaften, folgender Überblick erklärt kurz die wichtigen.

**abgeschlossen:** es gibt keine äußeren Wirkungen, nur theoretisch möglich, Nachrichtentechnik = abgeschirmt

**adaptiv:** es erfolgt eine (günstige) Anpassung an Einwirkungen

**aktiv:** wirkt von sich aus nach Außen

**autonom:** zeigt weitgehend unabhängig von äußeren Einflüsse ein Verhalten

**deterministisch:** (auch *kausal*) es besteht die Ursache-Wirkungs-Relation

**diskret:** das Verhalten läßt nur endlich viele, einzelne Werte zu

**dynamisch:** System folgt zeitlichen Einwirkungen

**evolvierend:** System zeigt eine zeitliche Entwicklung, meist zu höherer Komplexität

**flach:** es gibt keine Unterelemente (Hierarchieebenen), höchstens eine

**hysteretisch:** System hat ein Gedächtnis und ist nichtlinear

**kontinuierlich:** Verhalten ist optimal durch kontinuierliche Größe zu beschreiben

**linear:** die Auswirkungen auf das System hängen linear (monoton) von den Einwirkungen ab, Teilursachen addieren sich direkt in ihrer Wirkung,

**multistabil:** für Struktur | Funktion existieren mehrere diskrete Varianten, zwischen denen es wechseln kann

**passiv:** es gibt keine eigenen Aktivitäten, sondern nur Reaktion auf äußere Wirkungen

**rückgekoppelt:** Ausgang wirkt auf Eingang zurück, dadurch zueilen instabil, selbst schwingend, Oszillatoren

**selbstreferenziell:** es besteht die Möglichkeit einer (Umwelt-) „Erkennung“ (Autopoese)

**stabil:** Struktur und Funktion bleiben unveränderlich bei allen Einflüssen, System kommt nach endlicher Zeit zur Ruhe, vgl. deterministisch

**statisch:** meist nur auf unveränderliche Struktur bezogen., auch bei Einwirkungen auf das System

**stochastisch:** Eigenschaften | Verhalten | Struktur | Funktion werden von Zufall beeinflusst

**strukturbewahrend:** Struktur unveränderlich bei allen Einflüssen

**zeitinvariant:** alle Erscheinungen des System, seine Struktur und Funktion ändern sich nicht mit der Zeit, speziell gibt es kein Altern.

nach *Alternativen / Gegensätze* geordnet gilt etwa

gegenständiglich	↔	gedanklich
natürlich	↔	vom Menschen geschaffen
unbelebt	↔	lebend
anschaulich, verbal	↔	mathematisch
theoretisch	↔	angewendet
flach	↔	hierarchisch
abgeschlossen	↔	offen
kontinuierlich	↔	diskret
passiv	↔	aktiv
linear	↔	nichtlinear (hysteretisch)
zeitinvariant	↔	zeitabhängig (hysteretisch)
statisch	↔	dynamisch, multistabil
steuerbar	↔	autonom, selbstorganisierend
strukturbewahrend	↔	evolierend
stabil	↔	adaptiv, selbstreferenziell
rückwirkungsfrei	↔	rückgekoppelt
deterministisch	↔	stochastisch

## Darstellung von Systemen

nur wichtige Beispiele:

### ➤ Physikalisch-technisch

- Aufbau aus Struktur | Relationen | Verhalten des Gebildes
- (Ersatz-) Schaltbild aus aktiven | passiven Bauelementen | Schaltgruppen
- elektrische Analogie-Modelle u. a. für nichtelektrische Anordnungen

### ➤ Mathematisch

- Formelausdruck, z. B. als komplexe Funktion aus Parametern des Systems ( $\mathcal{R}(\omega)$ )
- Transformation in z. B. ein Polynom gemäß den Nullstellen und Polen  $\mathcal{F}(p_{0i}, p_{\infty j})$
- Differentialgleichung und deren Lösung z. B. mittels Laplace-Transformation
- Zustandsgleichung in einem wählbaren Zustandsraum
- kombinatorische Funktionen
- Automatentafel
- Wertetabellen

### ➤ Graphisch

- Frequenzgangdarstellung bezüglich Betrag  $|\mathcal{R}(\omega)|$  und Phase  $\varphi(\omega)$
- Bodediagramm mit Knickkennlinien zur Vereinfachung des Frequenzganges
- Einschwingverhalten  $f(t)$  nach einem Delta- oder Rampenimpuls
- Ortskurve Darstellung als Funktion der Frequenz in der komplexen Gauß-Ebene
- Smith-Diagramm
- PN-Plan Pole und Nullstellen in der  $\delta$ - $j$ - $\omega$ -Ebene
- Zustandsdiagramme
- Ablaufplan
- Petrinetze

## mathematische Systeme | Modelle

<b>deterministisch</b>  die Ausgangsgrößen sind nur von Ursachen bewirkt z. B.: $s = v \cdot t$	<b>stochastisch</b>  wenigstens eine Größe ist zufällig, z. B. Teilchen in Brownscher Molekularbewegung, andererseits gelten Gesetze über viele Teilchen, z. B. $p \cdot V = \text{const.}$	
	<b>probabilistisch</b> Verteilungen der Zufallsgrößen sind <i>bekannt</i> z. B. radioaktiver Zerfall, Würfel werfen oder Molekül-Geschwindigkeit	<b>statistisch</b> Verteilungen der Zufallsgrößen sind (noch) <i>nicht bekannt</i> z. B. Reibung oder Wirbelbildung

## kybernetische Systeme

besitzen Input und Output, entsprechen Information  
 System selbst oft als Black-box, also ohne interne Struktur  
 bei vereinfachter interner Struktur wird von Gray-box gesprochen  
 es interessiert bevorzugt das Verhalten des Systems, ist Teil des Outputs

## kontinuierliche, nachrichtentechnische Systeme

sind bevorzugt **stabil, linear** und **zeitinvariant**  
 Eingangsgrößen  $x_e(t)$  und Ausgangsgrößen  $x_a(t)$  sind kontinuierlich  
 bzgl. der Struktur existieren zwei Fälle:

Kenngröße	Zweipol		Vierpol
	Widerstand	Leitwert	Übertragungsmaß
Eingang	Spannung	Strom	Strom oder Spannung
Ausgang	Strom	Spannung	Strom oder Spannung

Die Beschreibung erfolgt mittels der Differentialgleichung

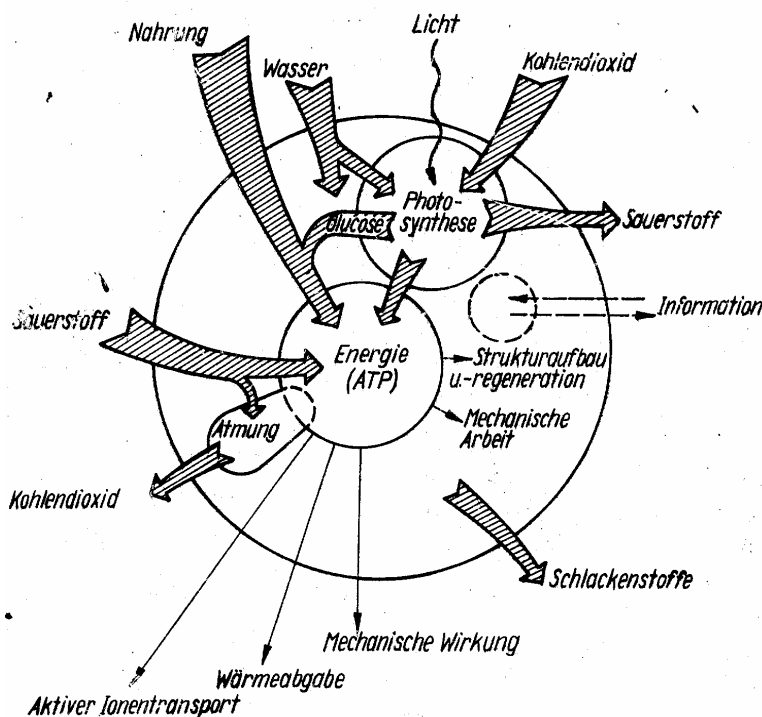
$$a_0 x_e(t) + a_1 \frac{dx_e(t)}{dt} + a_2 \frac{d^2 x_e(t)}{dt^2} + \dots + a_n \frac{d^n x_e(t)}{dt^n} = A \left[ b_0 x_a(t) + b_1 \frac{dx_a(t)}{dt} + b_2 \frac{d^2 x_a(t)}{dt^2} + \dots + b_m \frac{d^m x_a(t)}{dt^m} \right]$$

Bei **linearen** und **stabilen** Systemen muß immer gelten  $m \leq n$   
 Für **zeitinvariante** Systeme sind alle *Koeffizienten* reell und konstant

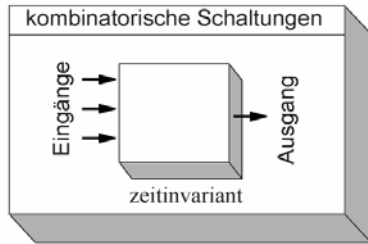
## diskrete Systeme

unterscheiden von kombinatorischer Schaltung, Speicher und Automat  
 werden meist per Automatentheorie beschrieben

## Beispiel für biologisches System

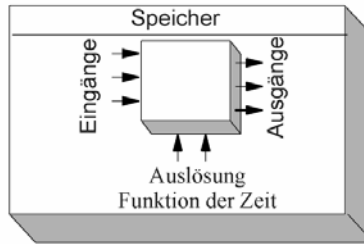


# Die drei fundamentalen diskreten Systeme



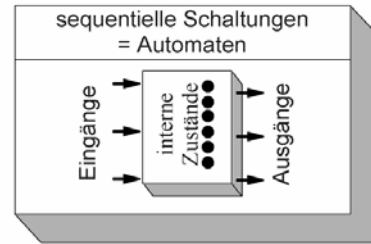
$$x_a = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

ohne Zeiteinfluß



$$x_a = x_e$$

speichert Eingänge  
durch Auslösung  
zu anderen Zeiten



$$x_a = f(Z_i, x_e)$$

$$Z_i = g(Z_i, x_e)$$

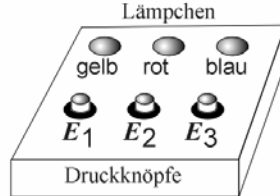
komplexe und zeitabhängige  
Auswirkung der Eingänge

diskrete Systeme.cdr h. völz 24.3.00

## Mealy-Automat

		Eingaben			
		$E_1$	$E_2$	$E_y$	$E_m$
Zustände	$Z_1$				
	$Z_2$				
	$Z_x$			$Z_{neu}$ $Ausgabe$	
	$Z_n$				

## Beispiel-Automat

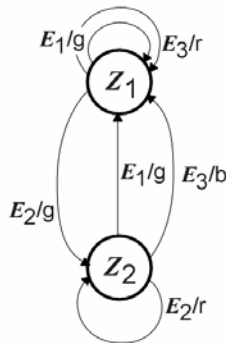


## Moore-Automat

		Eingaben			
		$E_1$	$E_2$	$E_y$	$E_m$
Zustände/Ausgaben	$Z_1/A_1$				
	$Z_2/A_2$				
	$Z_x/A_x$			$Z_{neu}$	
	$Z_n/A_n$				

## Beispiel

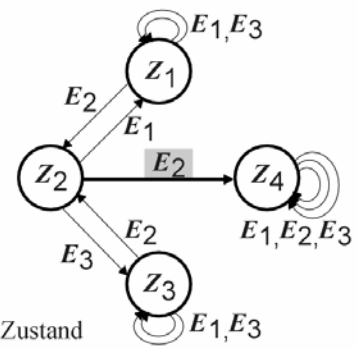
	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$Z_1$	1/g	0/g	1/r
$Z_2$	1/g	0/g	1/b



Ausgabe beim Übergang

## Beispiel

	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$Z_1/g$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_1$
$Z_2/r$	$Z_1$	$Z_4$	$Z_3$
$Z_3/b$	$Z_3$	$Z_2$	$Z_3$
$Z_4/g$	$Z_4$	$Z_4$	$Z_4$



Ausgabe entspricht aktuellem Zustand

Automat.cdr H. Völz 3.10.99

## Struktur von Systemen

*lateinisch structura* Bau (-art) Mauer (-werk) ordentliche Zusammenfügung, Ordnung, Bauart

*struere* (auf-) schichten, (er-) bauen

*structum* schichtweise über- oder nebeneinander legen, aufschichten, aneinanderfügen, errichten, ordnen

*übertragen* gemeint auch: Aufbau der Rede, Worte, Gedanken

*Scholastik*: Beschreibung von sprachlichen Gebilden

*deutsch* 13. Jh. mittelhochdeutsch: *structure*: Bauen, Bauart, Bau, Bauwerk, Zusammenfügung, Ordnung

17. Jh. in Anatomie übernommen, Morphologie

19. Jh. breitere Anwendung, Organismen und Soziologie, besitzend, gegliedert

## Arten von Struktur

Struktur bedeutet eine bestimmte Ordnung in einem Bezugsrahmen (meist System), dafür werden u.a. folgende Strukturen unterschieden:

- *gedankliche*, z. B. von Theorien, Aussagen, Begriffe usw.
- *abstrakte*: wie Strahlung, Atommodell, Quarks, Kreislauf usw.
- *physikalische*: in Raum und Zeit gegeben: also hauptsächlich räumlich-zeitlich, prozeßhaft
- *chemische*: z. B. bei Moleküle

- *biologische*: z. B. von Lebewesen
- *gesellschaftlich-kulturelle* u.a. von Gruppen, Vereinen, Kulturen, Religionsgemeinschaften
- *Gleichgewichtsstrukturen*: z. B. Kristalle, Wärmetod
- *dissipative* (metastabil): „auf dem Sprung“ in die Evolution (Grenzzyklen, Selbstorganisation)

### Bemerkungen zu Strukturen

- Strukturen werden oft nicht **gefunden** sondern **erfunden**,
- z. B. süß, bitter und Farben gibt es nur in uns. Ähnliches gilt bei *Mythen*, Träume usw.
- *Wahrnehmungsstrukturen* sind dennoch relativ stabil.
- Konrad **Lorenz** stellte fest: wir besitzen die Fähigkeit der Struktur- und Gestaltwahrnehmung.

## Hierarchie

*griechisch hierós*: heilig und *archein*: der Erste sein

- Bei bürokratischer Verwaltung, Justiz, Militär und größeren Wirtschaftsunternehmen: Ordnung mit festgelegten Rechten, Kompetenzen und Pflichten
- die katholische Kirche besitzt eine immanente, zweigliedrige Ordnung:
  - **Weihe**-Hierarchie: drei Stufen göttlichen Rechts: Bischof, Priester und Diakon
  - **Ämter**-Hierarchie: durch die Kirche selbst eingerichtete Ämter
- In der Kybernetik und Systemtheorie wird Hierarchie verallgemeinert als mehrere Ebenen umfassende Struktur

## Ordnung

*lateinisch ordinare* in Reihen anpflanzen, in Reih und Glied aufstellen, regeln, in ein Amt einsetzen

9. Jh. *ordenen*: in Ordnung bringen, anordnen

ca. 1000 *ordenunge*: Reihenfolge, Anordnung, Regel, Vorschrift, Einrichtung, Lebensweise  
heute sehr unterschiedlich benutzt

**Pythagoreer**: mathematische Ordnung (Zahlen) der göttlichen Welt, der Harmonie des Universums

**Mythologie**: Ordnung erwächst aus dem Chaos

**Chaostheorie** heute: Ordnung (Struktur) entsteht am Rande des Chaos

**Mathematik**: Ordinalzahl (erstens, zweitens usw.), Anzahl dagegen Kardinalzahl

**Biologie**: Ordnung als Kategorie zwischen Klasse und Familie in der Systematik

**Chemie**: Ordnung der Elemente mittels Ordnungszahl

**Gestalt**: beruht auf Ordnung in Raum und Zeit, muß aber als Gesamtheit mehr als die Summe ihrer Teile sein

**Zivilisation | Kultur**: Ordnung ist tiefes menschliches Bedürfnis, da sie Vereinfachung und Sicherheit bringt

**Gesetz**: Anordnung, Verordnung, Zuordnung, Regel, Vorschrift, Standard, Richtlinie

**Erziehung**: Zucht und Ordnung !?!

**Spruch**: Wer Ordnung hält ist bloß zu faul zum Suchen

### Ordnen und Mischen

- Zum Mischen und Ordnen gehören mehrere Objekte
- Ordnung gibt es nur im menschlichen Geist, der sie auch wieder herstellen kann (z. B. aus gemischten Kartenstapel)
- Zufall als Mischen ist die natürliche Zeitrichtung (Thermodynamik)
- vollständig Gemischtes kann nicht weiter gemischt werden
- Mischen wird durch Zufall erzeugt, Ordnen entspricht dem Gegenteil (Problem der Zeitumkehr)
- Mischen und Ordnen streben Endzuständen zu
- Ordnen hängt offensichtlich mit Komprimieren (Reduzieren der Komplexität) zusammen

### **Beispiel: Heine: Buch der Lieder: Im Monat Mai**

*zufällig*

alle, meinem, als, wunderschönen, aufgegangen, da, Mai, die, gestanden, hab, Monat, Herzen, Verlangen, ich, ihr, im, Knospen, Liebe mein, Monat, sangen, in, Sehnen, alle, sprangen, da, und, Vögel, im, wunderschönen, als, ist, Mai,

*alphabetisch*

alle, alle. als, als, aufgegangen, da, da, die, gestanden, hab, Herzen, ich, ihr, im, im, in, ist, Knospen, Liebe, Mai,

Mai, mein, meinem, Monat, Monat, sangen, Sehnen, sprangen, und, Verlangen, Vögel, wunderschönen, wunderschönen

### **grammatikalisch**

Herzen, Knospen, Liebe, Mai, Monat, Sehnen, Verlangen, Vögel  
aufgehen, stehen, haben, singen, springen

wunderschön

alle, ich, ihr, mein

als, da, die im, in, ist, und

### **künstlerisch**

Im wunderschönen Monat Mai,

Als alle Knospen sprangen,

Da ist in meinem Herzen

Die Liebe aufgegangen.

Im wunderschönen Monat Mai,

Als alle Vögel sangen,

Da hab ich ihr gestanden

Mein Sehnen und Verlangen.

## **Relation**

*lateinisch relativus* sich beziehen auf, bezüglich

*relatio* Zurückgetragenes, Vorbringen, Erzählung, Beziehung, Rücksicht, Verhältnis

16. Jh. mhd. Bericht, Berichterstattung, Augenzeugenbericht, Vortrag, Nachricht

20. Jh. *relativ*: in einem Verhältnis zu etwas stehen, dadurch bestimmt, unter gewissen Umständen, bedingt, verhältnismäßig

- Relation wird heute in fast allen Bereichen und daher z. T. in recht unterschiedlicher Bedeutung benutzt
- Synonym sind dann etwa: Abhängigkeit, Beziehung, Bezug, Konnex, Verbindung, Verhältnis, Verknüpfung, Wechselverhältnis, Wechselbeziehung, Zusammenhang (Affäre!?)
- Das gilt auch für die Relationen zwischen den Elementen und Ebenen von Systemen

## **Komplexität**

**Komplexität** und **Kompliziertheit** sind miteinander verwandt und betreffen vorrangig Schwierigkeiten im **Umgang mit** Begriffen, Inhalten, Objekten.

Komplexität mehr bei **technischen** Gebilden, kompliziert bei **geistigen** Prozessen

**Ähnliche Begriffe** für beide sind: beziehungsreich, diffizil, heikel, mehrteilig, problematisch, schwer faßbar, umständlich, undurchschaubar, unübersichtlich, unverständlich, verflochten, verschlungen, vertrackt, verwickelt, verworren, verzweigt, verzwickt, vielfältig, vielschichtig, zusammengesetzt

### **Kompliziert**

*lateinisch complicare*: zusammenfalten, legen, wickeln,

wird heute **vorwiegend umgangssprachlich** gebraucht und zwar dann wenn

- etwas für uns schwierig zu verstehen ist
- uns der Aufwand zum Erfassen des Inhalts zu hoch erscheint
- dieser Fakt sich kaum im Laufe der Zeit ändert und auch keine Absicht dafür besteht
- es setzt meist voraus, daß es jemand anderes die Schwierigkeit nicht haben muß
- es ist also eine nahezu *statische* und *subjektive Aussage*
- ähnlich etwa: schwer verständlich, nur ganzheitlich, Gegenteil von einfach, leicht einsichtig
- beachte auch *Komplize*: Mithelfer, Mittäter. komplizieren: verwickeln, erschweren

### **Komplex**

*lateinisch complecti*: umschlingen, umfassen, *plectere*: flechten, ineinanderfügen

*heute*: mehr in Richtung Meßbarkeit als bei kompliziert, *gewünscht*, aber meist nicht erreichbar sind Werte als Maß- und Zahlenangaben

wird u. a. *angewendet* auf Systeme, Strukturen, Modelle und Verhalten

*Theoretischen Informatik* besitzt für Algorithmen das Maß als Rechenaufwand ( $n \rightarrow \infty$ ), Unterschied von Zeit- und Raumkomplexität (Rechenzeit, Speicheraufwand) sowie Klassen: P, NP, NP-vollständig

**Mikroelektronik:** Komplexität von Schaltkreisen (IC) als Anzahl der Gatter, Transistoren usw. mit Klassen SSI, MSI, LSI, VLSI usw.  
*allgemein* vielfach aus Anzahl der Elemente und zugehörigen Verknüpfungen irgendwie abgeleitet

### Arten von Komplexität

- *algorithmische:* betrifft Rechenaufwand unterscheidet zeitliche (Rechnedauer) und räumliche (Speicheraufwand) eine Algorithmus, s. o.
- *effektive:* Grad an Regelmäßigkeit (statt Zufälligkeit) eines Systems
- *effektorische* betrifft Vielfalt der Ausgabe-, Handlungsmöglichkeiten
- *funktionale* nach Hilberg für logische Bauelemente
- *grammatische:* Grad der Universalität, den eine das System beschreibende Sprache zumindest haben muß
- *häufig benutzte:* Anzahl der Elemente und deren Verknüpfung
- *hierarchische:* Vielfalt der Ebenen eines hierarchisch strukturiertes Systems
- *instrumentelle:* bei Moles (s. d.) als Anwendungsvielfalt
- *Kolmogoroff-Komplexität:* kürzester bekannter Algorithmus (Zeichenkette) für ein Problem
- *konstruktionelle:* bei Moles (s. d.) Anzahl der Bauteile, Elemente eines Systems
- *sensorische:* Beeinflussungsvielfalt z. B. Nervensystem
- *speichernde:* ähnlich Speicherkapazität
- *thermodynamische:* Menge thermodynamischer Ressourcen zum vollständigen Aufbau des Systems
- *verarbeitende* betrifft die Struktur- und Funktionsvielfalt
- *Zahlenkomplexität:* betrifft gedankliches Behandeln unterschiedlich großer Zahlen, u. a. bei Rucker und Völz

### Ergänzungen zur Komplexität

**Ashby:** benutzt vor allem die Vielfalt-Konzeption und Multistabilität.

**Dörner:** beschreibt die Schwierigkeit für Menschen beim Umgang mit Komplexität, wobei er vor allem exponentielles Wachstum betrachtet

**Kolmogoroff** benutzt für ein Problem den kürzesten z. Z. bekannten Algorithmus (Zeichenkette):

- sie verlangt definierten Automaten zur Normierung
- als Vergleichsmaß genügt eventuell „>“, „<“
- sie kann/soll sich im Laufe der Zeit (durch neue Algorithmen) abnehmen
- der absolute Wert ist abhängig von der „Grob-/Feinheit“ der Betrachtung und den Bezugsautomaten

**Lloyd** Seth hat eine Liste von 31 verschiedenen Definitionen zur Komplexität zusammengestellt: Spektrum der Wissenschaft. September 1995; 61

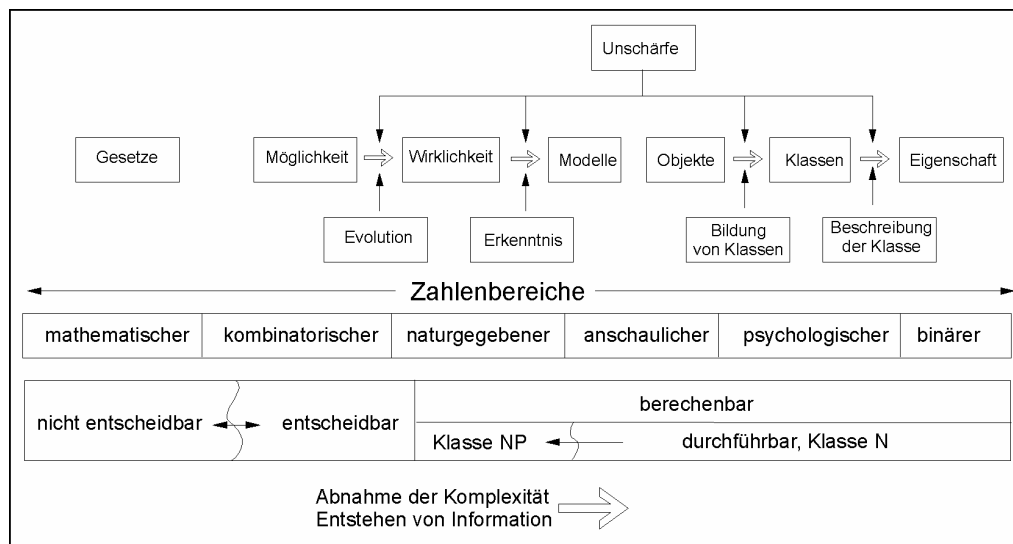
**Moles:** Ein Bleistift z. B. besteht *konstruktiv* aus der Mine und dem Holz. Anwendbar (instrumentell) ist er zum Schreiben und Zeichnen, aber auch als Lineal, und was seine Mine betrifft sogar als elektrischer Widerstand. Auf dieser Basis unterscheidet er u. a. Spiele und Computer; Moles, A.: Über konstruktive und instrumentale Komplexität. Grundlagenstudium und Geisteswissenschaft 1(1960)1, 1

**Oppenheim, P.:** Die natürliche Ordnung der Wissenschaften, Gustav Fischer, Jena 1929

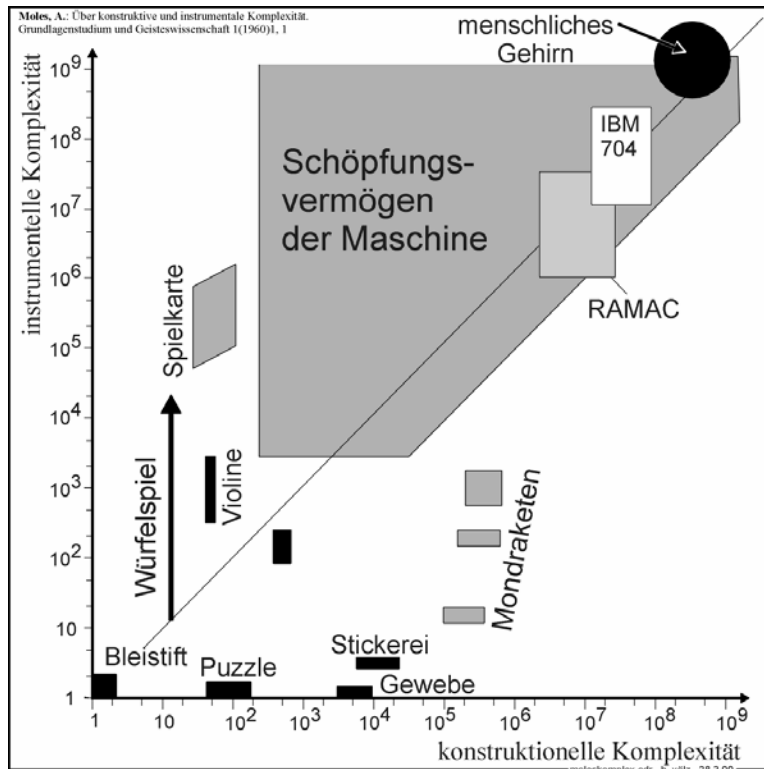
**Rucker:** vier Zahlenbereiche: *klein* : 1 bis 1000; *mittel*: 1000 bis Billion; *groß*: Googol ( $10^{100}$ ; Namen für Zahlen kaum möglich), *unvorstellbare*: noch nicht unendlich

**Völz:** sieben Zahlenbereiche: binär; psychologisch, anschaulich, kombinatorisch, mathematisch, philosophisch

**Wiener:** führt ein komplexes Ursache-Wirkungs-Gefüge in der Kybernetik ein







### Reduzierung von Komplexität

- ist durch vielfältige Methoden möglich, wichtig sind u. a. Gesetze, Algorithmen, Modelle, Axiomatik
- ist für Lebewesen unbedingt notwendig
- entspricht technischen Kompressionsverfahren
- erfolgt durch Entfernen von Relevanz (nicht rücknehmbar), selten durch Redundanzsenkung (rücknehmbar)
- bewirkt immer Ungenauigkeiten und Unschärfen, u. a. Heisenberg und Küpfmüller
- bedeutet vielfach Entstehen von nutzbarer Information

### Entstehen von Komplexität

- Evolution als Höherentwicklung
- Chaos (entstehen von Struktur) und Fraktal (u. a. Attraktoren)
- Emergenz (als neue Qualität)

### Verwandtes zur Komplexität

**Entropie**, thermodynamisch: Komplexität des Systems ist gleich dem thermodynamischen Maß für die darin herrschende Unordnung

**Information**: Komplexität ist proportional zur Fähigkeit eines Systems, seinen Beobachter zu überraschen, das heißt ihm Information zu liefern.

**Fraktale Dimension**: die Unschärfe (fuzziness) eines Systems wird als der Grad an feinen Details gemessen, den es in beliebig kleinem Maßstab zeigt

### Rückkopplung

englisch: feed back, Zurückführung von Ausgangsgrößen auf den Eingang eines Systems

1913 Edwin Howard Armstrong (1890 - 1954) entdeckt bei einer Triode (Radioröhre) das Phänomen der Rückkopplung und entwickelte daraus die Rückkopplungsschaltung, führte zum Audion und Oszillator als Empfänger- bzw. Senderschaltung

1919 William Henry Eccles (1903 - 1997) und F. W. Jordan erfinden die bistabile Kippschaltung, den Flipflop (digitale Rückkopplung), der heute Fundament der meisten elektronischen Speicher ist

1940 Norbert Wiener (1894 - 1964) bemerkte im 2. Weltkrieg bei seinen Forschungsarbeiten über Flugabwehrmethoden, daß Rückkopplung ein fundamentales Problem der Automatisierung ist. Dies führte ihn zur Begründung der Kybernetik

heute ist die Rückkopplung ein fundamentales technisches Prinzip, daß nicht nur für die Erzeugung von

Schwingungen, zur Linearisierung von Schaltungen (Verzerrungsfreiheit) und für elektronische Speicher unverzichtbar ist

## Modell

lateinisch *modellus*, *modulus* Maß in der Architektur, Maßstab, Grundmaß

*modus* Maß, Ziel, Vorschrift, Art und Weise

um 1000: *model* Maß, Form, Vorbild; *modeln* formen, nach einem Muster gestalten

18. Jh.: *modellieren* ein Modell herstellen, etwas formen

heute: Vorbild, Muster, Entwurf

ähnlich: Abguß, Archetyp, Attrappe, Ausführung, Entwurf, Ideal, Imitation, Nachbildung, Urbild

auch Fotomodell, model, Modeschöpfung

### Arten wichtiger wissenschaftlicher Modellen

#### ➤ Erkenntnismodell

- entsteht durch **Abstraktion**
- läßt für das Ziel unbedeutende Eigenschaften weg
- häufig in der Philosophie und z. T. in der Pädagogik angewendet

#### ➤ Erklärungsmodell

- **reduziert** auf relativ einfache Zusammenhänge
- ist wichtig für pädagogische Zwecke
- besitzt den Charakter einer Definition
- besitzt meist eine philosophische Tendenz.

#### ➤ Entscheidungsmodell

- ist für **strategisch** relevante Situationen wichtig
- betrifft technische, ökonomische, militärische, politische, medizinische Entscheidungen
- soll sie erleichtern bzw. mathematisch ermöglichen
- führt häufig zu mehreren Varianten.

### Modell in Wissenschaft und Philosophie

- etwas, was für ein anderes steht und dem weitgehend ähnlich, äquivalent ist
- entspricht also einer Abbildung
- ist meist durch Komplexitätsreduktion entstanden, weglassen von Unwesentlichen
- soll anschaulich bzw. berechenbar sein
- kann dennoch zusätzliche Erkenntnisse liefern
- Erzeugung des Modells ist kompliziert, erfordert menschliche Intelligenz, heißt Modellbildung
- ein Modell hat vor allem drei Bezüge
  - für jemanden (Subjekt)
  - für einen Zweck (Praxis, Anwendung)
  - für etwas (Objekt, Geschehen)
- **Beispiele** für Atom-Modelle
  - 1913 Niels Hendrick David Bohr (1885 - 1962) Planeten-Bahnen der Elektronen
  - 1915 erweitertes Modell von Arnold Sommerfeld (1868 - 1951)
  - 1925 Quantenmechanik: Werner Karl Heisenberg (1901 - 1976) nur Matrizen beschreiben Zusammenhänge
  - 1926 Wellengleichung: Erwin Schrödinger (1887 - 1961) nur statistischer Ort für Elektronen
  - 1927 Nils Bohr: Komplementaritäts-Prinzip: Welle **und** Teilchen sind nur zwei Erscheinungen desselben

### Präzision von Modellen

- **Freier Fall**  $x = g \cdot t^2 / 2$  berücksichtigt kein Material, Masse, Form oder Größe
  - gilt entsprechend für Wurfparabel
  - Ballistik berücksichtigt zusätzlich Wind, Geschosßform usw. dennoch gilt sie nur näherungsweise
  - Planetenbewegung, Sonnen-, Mondfinsternis sind über Jahrtausende extrem genau bestimmbar
- Bedeutsam sind beim *Coulombsches Gesetz* und der *Gravitationsformel*, daß eine Abweichung des Exponenten von der 2 selbst um kleinste Beträge große Konsequenzen hat

$$F = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad \text{und} \quad F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

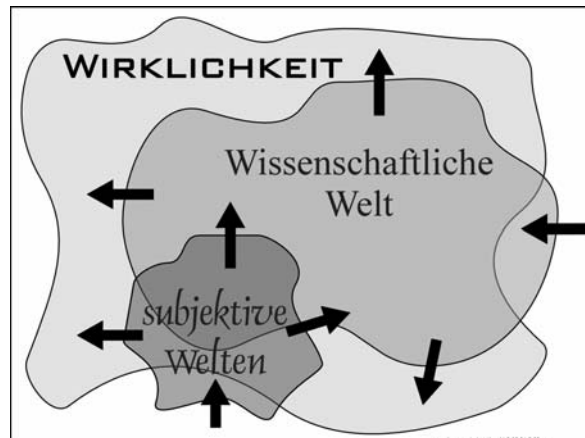
- Das *Ohmsches Gesetz*  $U = I \cdot R$  ist dagegen nur eine Näherung, gilt z. B. kaum bei Halbleitern
- Die *Risiko-Formel* für ein Ereignis  $r = p \cdot f$  ist schließlich nur noch zum groben Abschätzen geeignet,  $p$  Wahrscheinlichkeit für das Eintreten und  $f$  die Schwere der Folgen

- Mit einem Modell wird auch eine Art Lebensform gewählt, deren Dauer nicht voraussehen ist
- Die heutige nukleare und klimatische Bedrohung sind Ergebnis solcher irreversiblen Entscheidungen
- Für Modelle (insbesondere der Informatik) ist daher auch zu beachten
  - mangel- oder fehlerbehaftete Modelle sagen wenig über die Wirklichkeit aus
  - jedes Modell stellt nur einen unvollständiger Teilaspekt der Welt dar
  - Inhalte und Gesetze müssen stets strengen Analysen unterzogen werden

## Welt-Modelle

### Grundsätzliche Erklärungen

1. Es gibt eine reale, wirkliche Welt außerhalb von uns, die **Wirklichkeit**
  - meist nehmen wir an, daß es hiervon nur *eine einzige* gibt und
  - viele (alle) ihrer Eigenschaften hängen *höchstens wenig* von Raum | Zeit ab
2. über unsere Sinne (plus instrumentale Erweiterungen) stehen wir mit ihr in Kontakt
  - dabei konstruieren wir für unser Leben und Überleben eine **subjektive Welt S**
  - sie ähnelt irgendwie der Wirklichkeit
  - für jede Person wird sie etwas anders sein, folglich gibt mehrere Welten  $S_i$
  - Die Kommunikation zeigt uns, daß sie alle recht ähnlich sind
  - Für ein Kind ist diese Welt anders als für einen Erwachsenen
  - dies gilt eigentlich für jeden bezüglich jedes Erlebnisses, also ständig
  - daher sind alle subjektiven Welten zeitabhängig  $S_i(t)$
  - Allgemein dürften für jedes *Lebewesen* (völlig andere) „subjektive“ Welten existieren
3. Die Menschheit hat eine **Wissenschaftliche Welt** mit typischen, universellen Eigenschaften konstruiert
  - wenig Grundannahmen (Axiome) und formale Gesetze (Regeln, Algorithmen) lassen vieles logisch (*widerspruchsfrei*) konstruieren
  - Es wird dabei weitgehend Kausalität, Determinismus vorausgesetzt
  - Diese Gesetze sollen ewig und überall, in der gesamten Wirklichkeit gültig sein
  - Paradigma Thomas Samuel Kuhn (1922 - 1996): sie sind nur für bestimmte Zeit anerkannt



### kritische Bemerkungen

- **zur Wirklichkeit**
  - es gibt Ansätze zu weiteren Welten, werden kaum ernst genommen, ließen sich wahrscheinlich irgendwie zusammenfassen
  - wieso muß die Wirklichkeit homogen und konsistent sein? (antropomorph)
  - wieso sollen Eigenschaften unabhängig von Raum und Zeit sein?, bereits Evolution spricht dagegen
  - wo könnten Ursachen für die (ewigen) Gesetze liegen? (Gott geschaffen, warum?)
  - Ständigkeit wird heute als (Irr-) Glaube betrachtet, ist aber (noch) wesentliche Voraussetzung
- **zur Wissenschaftlichen Welt W**
  - es gibt mehrere Wissenschaftlichen Welten, die des Mediziners ist z. B. anders die des Physikers
  - es gibt widersprüchliche Lehrmeinungen
  - insgesamt und selbst in jedem Fachgebiet erfolgen Veränderungen  
es bestand Hoffnung auf ständig bessere Näherungen  
 $W(t_1) \Rightarrow W(t_2) \Rightarrow \dots \Rightarrow W(t_n) \Rightarrow \dots \Rightarrow \text{Wirklichkeit}$   
wurde als Fortschritt der Wissenschaft bezeichnet, scheint aber heute nicht mehr erfüllbar

### Modelle für Wissensvarianten

- **Erfahrungswissen**
  - Dreifus nennt es auch **graues Wissen**
  - Belege dafür: Verhalten von Tieren, unser intuitives Verhalten Verstehen, Mythen, Geschichten, usw.
  - Entstehen ist nicht mal andeutungsweise geklärt, ähnelt kreativen Prozessen
  - Vielleicht ist es eine spezielle Art von Modellwissen
  - betrifft wohl nur Fakten, die unmittelbar sinnlich zugänglich sind.
- **Modellwissen**
  - je nach Ziel erfolgt **Auswahl** „wesentlicher“ Aspekte der Welt

- dadurch entstehen relativ einfache Strukturen und Beziehungen
- Ist nur eine spezielle „Näherung“ an die Welt
- Prinzip ähnelt der verlustbehafteten Kompression der Nachrichtentechnik
- Annahme: komplexere Modelle liefern immer bessere (ideale) Näherungen
- dafür gibt es aber keine Sicherheit
- eine Grenze ist die maximal erfahrbare, rezipierbare Komplexität
- Zur totalen Erkennbarkeit kann der Weg nicht führen

➤ **Teile-Wissen**

- Annahme: über **kleinste Ausschnitte** der Welt ist „gesichertes und exaktes“ Wissen zu gewinnen
- Üblich sind dafür u.a. Elementarteilchen (Quark, Elektron, Atom)
- solche Teilchen, Fakten sollen identisch, ununterscheidbar sein (z. B. alle Elektronen sind exakt gleich).
- mit der Zahl der Teile, Ausschnitte kommen wird dem Ganzen näher, aber: das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.
- die zusammenhängende Betrachtung vieler Teile wird wieder zu komplex
- ad-infinito-Betrachtungen der Physik sind bisher nur beim H-Atom möglich, versagten bereits beim He

➤ **Konstruktions-Wissen**

- Es werden **Axiome** und zugehörige **Regeln** bestimmt
- Damit konstruieren, berechnen wir komplexes Wissen, welches als Beschreibung dient
- technisches Äquivalent ist die verlustfreien Kompression.
- Ziel war eine Weltformel zur vollständigen, exakten Beschreibung der Welt
- es gibt aber vieles, was so nicht beschreibbar ist, u.a. Quantengesetze und Gödel-Unentscheidbarkeit

