

Systemanalyse
Epistemologische Grundlagen
Vorlesungssitzung I/II

Prof. Hans-Paul Schwefel
hps@udo.edu

17. Mai 2004

Inhalt: „Epistemologie I“

Einleitung

Der Systembegriff

Die historische Entwicklung

Der Systembegriff in der östlichen Philosophie

Der Systembegriff im Wandel

Kennzeichnende Aspekte von Systemen

Umweltbeziehungen

Organisation (Logik)

Funktion

Struktur

Gesamtsystemdynamik

Wiederholungsfragen

Was ist eigentlich „Systemanalyse“?

System - analyse



συστημα

griech.: **das**
Zusammengestellte
(-geordnete)

αναλυσις

griech.: **Auflösung**



Mit der Systemanalyse werden **Strukturen** und **Funktionen** von Systemen untersucht.

Und was versteht man unter „Epistemologie“?

Definition

Epistemologie (Erkenntnistheorie) bezeichnet die **Lehre von der Erkenntnis** insofern eine Reflexion auf diese vorgenommen wird.

Im weiteren Sinne:

Alle philosophischen Untersuchungen, die sich mit den Phänomenen des Erkennens befassen, z.B. Logik, Methodenlehre und ein Teil der Wissenschaftstheorie.



Das erste Kapitel befasst sich mit grundlegenden **wissenschaftlichen Begrifflichkeiten**.

Der Systembegriff

Definition „System“

Definition (allgemein)

System bedeutet (griech.) „das Zusammengestellte“, „geordnetes Ganzes“ oder „gegliederte Vereinigung der Teile.“

Zwei grundlegende Typen von Systemen:

Gegenständliche Systeme



Gedankliche Systeme



Teile der **Wirklichkeit**

Aussagen/Erkenntnisse
über die Wirklichkeit

Beispiele für Systeme

Beispiele

- ▶ die Ordnung der gesamten Welt (Kosmos)
- ▶ ein Ökosystem
- ▶ das musikalische Tonsystem
- ▶ ein Staat, Unternehmen oder auch die Hochschule
- ▶ ein Computersystem
- ▶ ein moralisches System (z.B. *deontologische Pflichtenethik (Kant)*, *Utilitarismus (Bentham, Mill)*)
- ▶ ...

Untertypen von „gegenständlichen Systemen“

Des weiteren können *gegenständliche Systeme* in zwei Untertypen unterteilt werden:

natürliche Systeme

Beispiele

- ▶ die Planeten
- ▶ die Materie
- ▶ das Ökosystem (*In jedem Fall natürlich?*)
- ▶ ...

von Menschen geschaffene Systeme (*zweckbehaftet*)

Beispiele

- ▶ das Bildungssystem
- ▶ das Verkehrssystem
- ▶ das Computersystem
- ▶ ...

Überblick über verschiedene Systemtypen

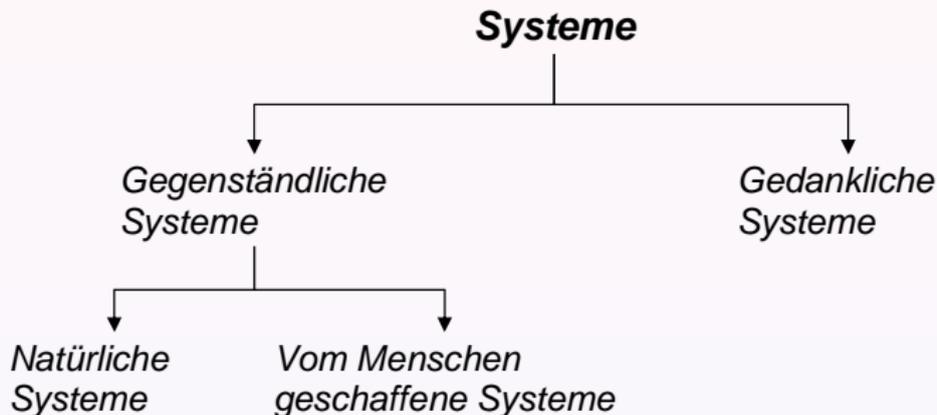


Abbildung: Übersicht der Systemtypen

Umfassende Systeme

Meist kann ein System als Bestandteil eines umfassenderen verstanden werden.

für **gegenständliche Systeme**



Ganzheits-Systeme

Beispiele

- ▶ Schraube → Motor
- ▶ Stuhl → Zimmer
- ▶ Tiger → Dschungel

für **gedankliche Systeme**



Oberbegriffs-Systeme

Beispiele

- ▶ Schraube → Metallgegenstand
- ▶ Stuhl → Möbel
- ▶ Tiger → Säugetier

Die historische Entwicklung

Der Systembegriff im zeitlichen Wandel

ältere Auffassung (Technik)

Vielfalt von Komponenten, die untereinander in Beziehung stehen bzw. treten (wechselwirkend)

⇒ räumliches **Strukturdenken**

modernere Auffassung

Das Beziehungsgefüge unter Prozessen wird weit stärker betont.

⇒ **Prozessdenken**



In beiden Fällen gilt:

Es gibt mindestens zwei Wirkungs- und Beschreibungsebenen, die irreduzibel sind.

Kooperative Verstärkung von Einzelprozessen

In einem System manifestiert sich eine makroskopische Ordnung, die sich *nicht* direkt aus den im System ablaufenden mikroskopischen Wechselwirkungen und Prozessen herleiten lässt.

Man spricht in so einem Fall von **Synergie**.
(populär: „Das Ganze ist mehr als die Summe der Teile.“)



Der Systembegriff entspricht **nicht-reduktionistischen Denkformen**.

Daher: Zunächst Akzeptanzschwierigkeiten innerhalb der westlichen Wissenschaft

Der Systembegriff in der östlichen Philosophie (1)

Der Systembegriff wird in den Mittelpunkt des **nicht-dualistischen** Denkens gestellt.

hermetische Philosophie

Schriftliche Aufzeichnungen aus dem *1. Jh. v. Chr.* gehen auf *Hermes Trismegistos* zurück, der lange vor Moses in Ägypten lebte.

⇒ Sein zentraler Entsprechungssatz: „**Wie oben, so unten; wie unten, so oben.**“

Der Systembegriff in der östlichen Philosophie (2)

Buddhismus (Taoismus)

Das durch *Konfuzius* (551 v. Chr. - 479 v. Chr.) überlieferte 7000 Jahre alte *chinesische Buch des Wandels*, das **I-Ging**, enthält Hexagramme, die auf dem Prinzip der Evolution von Systemstrukturen im Himmel, im Menschen und der Natur beruhen.

⇒ **makroskopische Unbestimmtheit** (deterministisches Chaos)



Die Welt entfaltet sich *aus sich selbst*.

Der Systembegriff im Wandel: Antike und Mittelalter

Die westliche Wissenschaft betont ihre Wurzeln in der *griechischen Antike*. Damit einher geht die Erforschung **räumlicher Strukturen** und Rückführung derer auf letzte Komponenten, wie z.B. im **Atomismus**.



Reduktionistische Sicht

- ▶ Leben ist ein Spezialfall der Chemie.
- ▶ Erscheinungen wie *Geist* und *Gefühle* werden aus der Betrachtung ausgeschlossen.
- ▶ Oder sie werden auf eine Ebene physikalisch messbarer Korrelate reduziert.

Der Systembegriff im Wandel: Neuzeit bis zum 19. Jahrhundert

Mit *Leibniz (1646 - 1716)* und *Kant (1724 - 1804)* findet der Systembegriff einen offiziellen Eingang in die westliche Philosophie.

- ▶ Rein **abstrakte Denksysteme**
- ▶ Basierend auf einer **statischen Systemsicht**

Erst im 20. Jahrhundert wird die Welt aus den verschiedenen Systemperspektiven beschrieben.

Beispiele

- ▶ **Soziologie: Niklas Luhmann (1927 - 1998)**
- ▶ **Ökonomie: Wassily Leontief (1906 - 1999)**
- ▶ **Psychologie: Jean Piaget (1896 - 1980)**

Der Systembegriff im Wandel: 20. Jahrhundert bis 1945

Dynamische (evolvierende) Systemsicht

Zu dieser Zeit verbreitete sich die dynamisch, evolvierende Systemsicht.

Bedeutende Vertreter waren:

- ▶ *Ludwig von Bertalanffy (1901 - 1972):*
offene **biologische Systeme**
- ▶ *Alfred James Lotka (1880 - 1949) und Vito Volterra (1860 - 1940):*
Ökosysteme (selbststeuernd, selbstregelnd)
- ▶ *Alan Turing (1912 - 1954):*
universeller Automat

Der Systembegriff im Wandel: Nach 1945 (1)

Nach dem 2. Weltkrieg zeichneten sich verschiedene parallele Entwicklungen ab.

Allgemeine Systemtheorie

- ▶ Suche nach Gemeinsamkeiten von *physikalischen, biologischen* und *gesellschaftlichen* Systemen.

Bedeutende Vertreter waren:

- ▶ *Ludwig von Bertalanffy (1901 - 1972)*: Biologe
- ▶ *Kenneth Ewert Boulding (1910 - 1993)*: Ökonom
- ▶ *Anatol Rapoport (geb. 1911)*: Soziologe



deskriptive Modelle

Der Systembegriff im Wandel: Nach 1945 (2)

Kybernetik

- ▶ Einbeziehung **technischer Systeme** (1946 - 1953 eine Reihe interdisziplinäre Symposien)
- ▶ **Regelungs- und Steuerungsvorgänge** in Maschinen und lebenden Systemen
- ▶ Betonung der **negativen (ausgleichenden) Rückkopplung**
⇒ **Regelungstechnik** (vorwiegend lineare Systeme)



explikative Modelle

Der Systembegriff im Wandel: Nach 1945 (3)

Bedeutende Vertreter der Kybernetik waren:

- ▶ Norbert Wiener (1894 - 1964)
- ▶ John von Neumann (1903 - 1975)
- ▶ William Ross Ashby (1903 - 1972) („*Design for a Brain*“)

Operations Research

- ▶ (lineare) Planungsrechnung, Optimalplanung
⇒ **mathematische Optimierungstheorie**
- ▶ Verbindung mit *Leontief's Input-Output-Methode* (kybernet. *black box*)



normative Modelle

Der Systembegriff im Wandel: Aktuelle Entwicklung (1)

Vervollständigte Systemtheorie (1)

Eine vervollständigte Systemtheorie entsteht in unseren Tagen.

- ▶ *Ilya Prigogine (1917 - 2003)*: **Thermodynamik irreversibler Prozesse**
⇒ Selbstorganisation unter Aufrechterhaltung eines Austausches von Energie und Materie mit der Umgebung
- ▶ *Manfred Eigen (geb. 1927)*: **Hyperzyklen**
⇒ qualitativ und quantitativ befriedigende Darstellung der Entstehung von Leben auf der Erde

Der Systembegriff im Wandel: Aktuelle Entwicklung (2)

Vervollständigte Systemtheorie (2)

- ▶ Wiederentdeckung der nichtlinearen Dynamik in der Mathematik
 - ▶ *René Thom (1923 - 2002)* und *Erik Christopher Zeeman (geb. 1925)*: Katastrophentheorie
 - ▶ *Mitchell Jay Feigenbaum (geb. 1944)*: Chaos, Bifunktionsszenarien
 - ▶ *Benoit Mandelbrot (geb. 1924)*: Seltsame Attraktoren, Fraktale
 - ▶ *Edward N. Lorenz*: einfaches Modell der Atmosphäre in Form von drei nichtlinear gekoppelten Differenzialgleichungen



Erste Ansätze, die **Evolution des Universums** vom Urknall bis zum menschlichen Geist als einheitliches **Gesamtphänomen** zu erkennen.

Kennzeichnende Aspekte von Systemen

Kennzeichnende Aspekte von Systemen

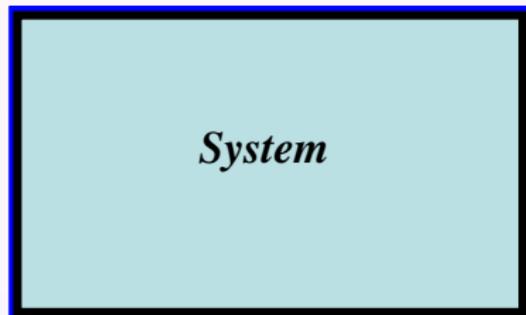
Durch den nicht-reduktionistischen Charakter des Systembegriffs lassen sich Systeme nicht durch die Summe ihrer Einzeleigenschaften beschreiben.

Anhand folgender Aspekte lassen sich aber Unterscheidungen treffen:

1. Umweltbeziehungen
2. Organisation (Logik)
3. Funktion
4. Struktur
5. Gesamtsystemdynamik

Umweltbeziehungen: Abgeschlossenes System

Umwelt



System

Abbildung: Abgeschlossenes System (isolated)

Keinerlei Austauschvorgänge mit der Umwelt
⇒ Endzustand: **Wärmetod** (2. HS. der Thermodynamik)

Umweltbeziehungen: Geschlossenes System

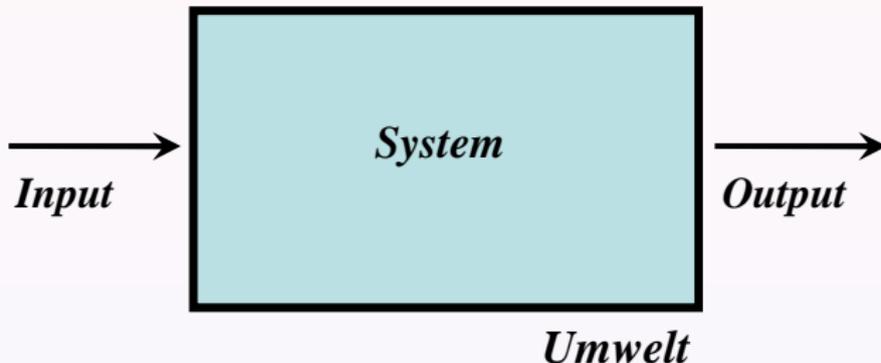


Abbildung: Geschlossenes System (closed)

Kein Materie- aber Energieaustausch
mit der Umwelt

Umweltbeziehungen: Offenes System

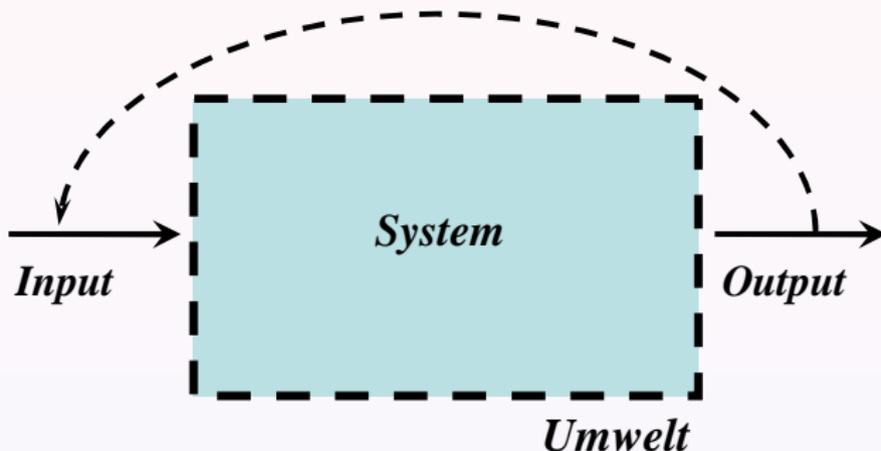


Abbildung: Offenes System (open)

Materie-, Energie- und Informationsaustausch
mit der Umwelt

Organisation (Logik)

Als (logische) Organisation bezeichnet man Verknüpfungsmuster der im System ablaufenden Prozesse. (Darstellung durch ein Fließschema)

- ▶ **reversibel**: Prozess ist umkehrbar.
- ▶ **irreversibel**: Prozess ist nicht umkehrbar.

Von besonderem Interesse sind:

- ▶ Kreisprozesse (zyklische Prozesse)
- ▶ Zerfallsprozesse
- ▶ Umwandlungsprozesse oder katalytische Prozesse

Organisation (Logik): Hierarchische Anordnung (1)

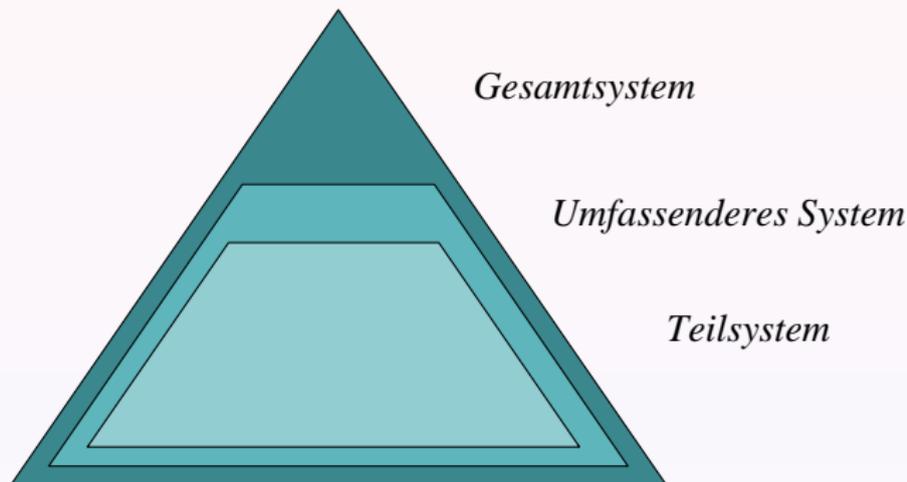


Abbildung: Hierarchie von Systemen

Mikroskop: Zerlegung, Reduktionismus

Makroskop: Betrachtung umfassender Zusammenhänge

Organisation (Logik): Hierarchische Anordnung (2)

Hierarchische Beziehungen zwischen Systemen können zwei Prinzipien folgen:

Kontrollhierarchie

Zwischen Funktionsebenen der Systemhierarchie fließen ...

... **Befehle** (Zwecke) von oben nach unten. ↓

... **Informationen** (Ursachen) von unten nach oben. ↑

Beispiele: technische Systeme, Diktaturen



Können **außer Kontrolle** geraten.

Organisation (Logik): Hierarchische Anordnung (3)

autonome Schichtensysteme

Jede Ebene kann **Initiative** entfalten oder **Ziele** setzen. Diese werden von der jeweils höheren Ebene koordiniert.

Beispiele

In lebenden Systemen:

- ▶ Teilautonomie auf unteren Ebenen (z.B. Grundaktivität von Neuronenpopulationen)
- ▶ Diese Grundaktivitäten werden von höheren Ebenen unterdrückt, modifiziert oder verstärkt.

Organisation (Logik): Kohlenstoffzyklus (1)

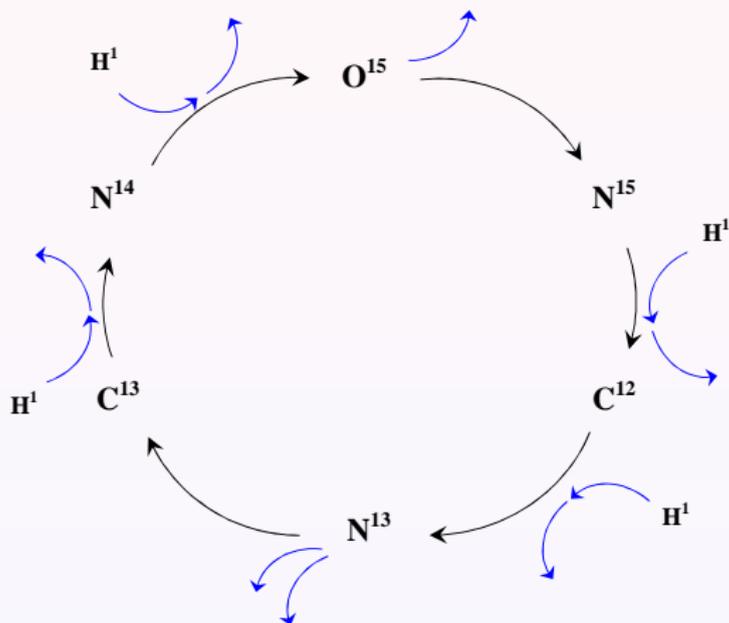


Abbildung: Bethe-Weizsäcker-Zyklus

Organisation (Logik): Kohlenstoffzyklus (2)

Der **Bethe-Weizsäcker-Zyklus** ist ein irreversibler, sehr stabiler Kreisprozess, der die Fusion im Innern der Sonne beschreibt.

makroskopische Betrachtung



Energie wird als **Abfallprodukt** abgestrahlt (dissipiert). Auf dieser Energie basiert (fast) **alles Leben** auf der Erde.

Organisation (Logik): Hyperzyklus

Ein Hyperzyklus ist ein **autokatalytischer** Kreisprozess, der den Übergang von **Unbelebten** zum **Belebten** beschreibt.

- ▶ Er ist **selbstvermehrend** bezüglich eines Teilnehmers / Stoffes.
- ▶ Er ist die grundlegende Organisationsform für dissipative **Selbstorganisation**.

Ein mikroskopischer Zyklus ist, makroskopisch gesehen, ein **Katalysator eines Einwegprozesses**. Um in Gang zu bleiben verbraucht er Energie oder auch Materie ($E = mc^2$).



Natürliche **Ökosysteme** sind ebenfalls durch Kreisprozesse gekennzeichnet.
(Mehr oder weniger stabil.)

Funktion (1)

Als Funktion eines Systems bezeichnet man die **Gesamtcharakteristik** aller ablaufenden Prozesse.

- ▶ Dazu gehören die **Umweltbeziehungen** und die **Organisation**.
- ▶ Darüber hinaus auch die **kinetischen Charakteristika** der einzelnen Prozesse.



Entscheidend ist der **zeitliche Ablauf**.

Funktion (2)

Autopoietisch

Auf Selbsterneuerung ausgerichtetes System. Es ist auf sich selbst bezogen bzw. *selbstreferenziell*. (\Rightarrow psychologische Systeme)

Beispiele

- ▶ biologische Zellen (anabolische/katabolische Prozesse)
- ▶ (viele) gesellschaftliche Systeme

Allopoietisch

Allopoietische Systeme **beziehen** sich auf eine Fremdfunktion. Sie sind das Gegenteil von autopoietischen Systemen.

Beispiel

- ▶ Maschine mit Steuerprogramm (*Isaac Asimov (1920-1992)*)

Struktur (1)

Definition

- ▶ ursprünglich: **räumliche Anordnung**
- ▶ in dynamischen Systemen: **raum-zeitliche Anordnung**

Erst in neuerer Zeit wird akzeptiert: Die Welt ist in permanentem Wandel begriffen (**evolutionäre Weltsicht**).

Παντα ρει

griech.: Alles fließt.



Gemeint war: **Fließgleichgewicht** (stationäres System)

Struktur: Fließgleichgewicht

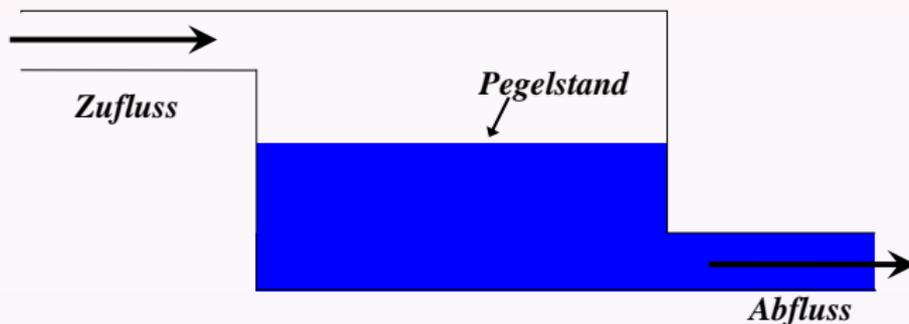


Abbildung: Fließgleichgewicht: $\int_t (Z(t) - A(t)) dt = 0$

Beispiele: Einnahme = Ausgabe oder Angebot = Nachfrage

Struktur (2)

„Struktur“ in raum-zeitlicher Sicht schließt die „Funktion“ (d.h. Umweltbeziehung, Organisation und Kinetik) mit ein.

Gleichgewichtsstruktur \Leftrightarrow dissipative Struktur

Eine **dissipative Struktur** erneuert sich ständig bzw. evolviert.



Daher: Neuer Begriff statt Stabilität: **Resilienz**

stabil

d.h. kehrt nach einer Störung in den gleichen Zustand zurück

resilient

d.h. ist in der Lage, unter veränderten Bedingungen eine (ggf. neue) Struktur wieder aufzubauen

Struktur: Hierarchische Systemcharakterisierung

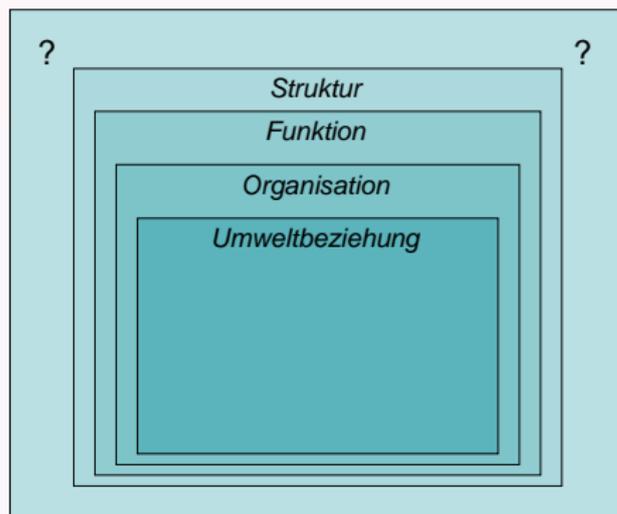


Abbildung: Hierarchische Systemcharakterisierung

Die „Struktur“ umfassend ist die **Gesamtsystemdynamik**.

Gesamtsystemdynamik (1)

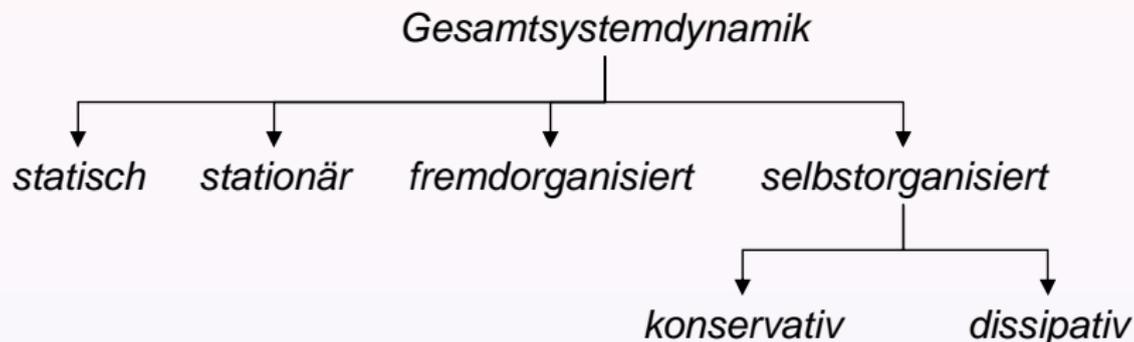


Abbildung: Typen der Gesamtsystemdynamik

Gesamtsystemdynamik: Selbstorganisierte Systeme

konservative S.O.

⇔

dissipative S.O.

Sie beruht auf **statischen Austauschkräften** (starke nukleare und elektromagnetische Kräfte, Schwerkraft).

Beispiele

- ▶ Atome
- ▶ Moleküle
- ▶ Planetensystem
- ▶ ...

Bedeutet ständige **Umwandlung freier Energie in Entropie**. In Teilsystemen kann eine höhere Ordnung (niedrigere Entropie) erreicht werden. ⇒ *Ordnung aus dem Chaos*.

Beispiele

- ▶ Erde (Wärmeabstrahlung ins Weltall)

Wiederholungsfragen (1)

1. Welche Typen von Systemen gibt es?

*Stichpunkt: gedankliche Systeme \Leftrightarrow gegenständliche Systeme
(natürliche Systeme \Leftrightarrow von Menschen geschaffene Systeme)*

2. Nennen Sie eigene Beispiele für *gegenständliche Systeme* und deren *Ganzheits-Systeme*.

*Stichpunkt: Beispiel: Auge \rightarrow Körper; Prozessor \rightarrow Computer;
Rad \rightarrow Pkw; ...*

3. Worin besteht der Unterschied zwischen *älterer* und *neuerer* Systemauffassung?

Stichpunkt: Strukturdenken \Leftrightarrow Prozessdenken

4. Was versteht man unter *Synergie*?

Stichpunkt: „Das Ganze ist mehr als die Summe der Teile.“

Wiederholungsfragen (2)

1. Nennen Sie *kennzeichnende Aspekte* eines Systems.
Stichpunkt: Umweltbeziehungen, Organisation, Funktion, Struktur, Gesamtsystemdynamik
2. Welche Arten von Umweltbeziehungen können auf ein System zutreffen?
Stichpunkt: abgeschlossen, geschlossen, offen
3. Beschreiben Sie zwei Arten von Organisationshierarchien.
Stichpunkt: Kontrollhierarchie \Leftrightarrow autonomes Schichtensystem
4. Was versteht man unter einem *autopoietischen System*?
Stichpunkt: Ein selbstreferenzielles auf Selbsterneuerung ausgerichtetes System.
5. Erläutern Sie zwei Arten der *Selbstorganisation*.
Stichpunkt: klassische \Leftrightarrow dissipative Selbstorganisation

*Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!*