

Systemanalyse
Epistemologische Grundlagen
Vorlesungssitzung II/II

Prof. Hans-Paul Schwefel
hps@udo.edu

17. Mai 2004

Inhalt: „Epistemologie II“

Einleitung

Zwei Grundklassen von Systemen

Strukturbewahrende Systeme

Evolvierende Systeme

Systemanalyse

Pioniere der Systemanalyse

Zwei Varianten der Systemanalyse

Prozess der Systemanalyse

Einbettung der Systemanalyse

Systemanalyse in der Angewandten Informatik bzw. Mathematik

Wiederholungsfragen

Zwei Grundklassen von Systemen

Zwei Grundklassen von Systemen

Prinzipiell ist zwischen *zwei Klassen* von Systemen zu unterscheiden:

Strukturbewahrende Systeme



Evolvierende Systeme



Basieren auf der konventionellen, auf **Gleichgewichtsprinzipien** ausgerichteten Systemtheorie der 50er Jahre.

Sind dissipativ, selbstorganisierend und durchlaufen eine Abfolge von **autopoietischen Strukturen**.

Strukturbewahrende Systeme (1)

Strukturbewahrende Systeme können wie folgt sein:

1. Statisch: **mechanistische Systeme**
2. Konservativ selbstorganisierend: bestimmte **adaptive Systeme**

Mechanistische Systeme

Die Umweltbeziehungen sind gekennzeichnet durch *Ashby's „Law of requisite variety“*.



Das System muss über ebenso viele **Handlungsmöglichkeiten** verfügen, wie die Kontrolle der sich ändernden Umwelt es erfordert.
(*Evolvierende Systeme* bewältigen auch unerwartete Situationen.)

Strukturbewahrende Systeme (2)

Adaptive Systeme

Die *Umweltbeziehungen* sind durch einen **Suchprozess nach dem Gleichgewicht** geprägt.

- ▶ *Ashby's Variante von Evolution* (Homöostat)
- ▶ *Ultrastabilität / GAIA-Hypothese*



Beide Arten von *strukturbewahrenden Systemen* sind mit **heutigen Maschinen realisierbar** bzw. realisiert.
(*Robots, Knowbots*)

Strukturbewahrende Systeme: Systemcharakteristika

Kennzeichnender Systemaspekt	Strukturbewahrende Systeme	
Gesamtsystemdynamik	Statisch (keine Dynamik)	Konservative Selbstorganisation
Struktur	Gleichgewicht	Nahe Gleichgewicht
Funktion	Keine Funktion oder Allopoiese	Bezug auf Gleichgewichtszustand
Organisation	Statistische Schwankungen in reversiblen Prozessen	Irreversible Prozesse auf den Gleichgewichtszustand hin gerichtet
Umweltbeziehung	Abgeschlossen oder offen	

Evolvierende Systeme

Durch *systeminterne Verstärkung* von *exogenen Fluktuationen* werden **Instabilitätsschwellen** überschritten und **neue auto-poietische Strukturen** etabliert.

Mutation (*Innovationen*)

- ▶ **Abweichungen** vom Durchschnittswert
- ▶ **Minderheiten** bzw. Einzelindividuen sind entscheidend. (Das *Gesetz der großen Zahlen* gilt nicht mehr.)

Selektion (*Kontrolle durch Umwelt*)

- ▶ Prüfung auf Umweltverträglichkeit und relative Effizienz
- ▶ **Ausmerzung des Unverträglichen** und relative Bevorzugung des Effizienten

Evolvierende Systeme: Systemcharakteristika

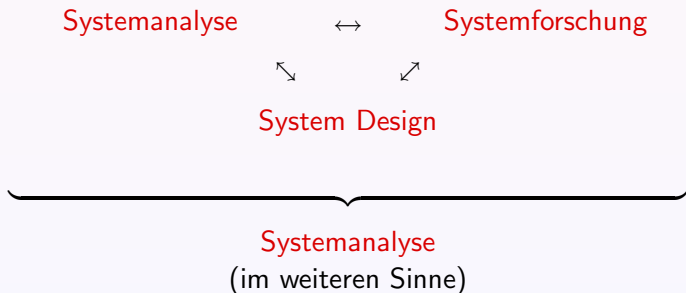
Kennzeichnender Systemaspekt	Evolvierende Systeme
Gesamtsystemdynamik	Dissipative Selbstorganisation
Struktur	Dissipativ (fern vom Gleichgewicht)
Funktion	Autopoiese (Selbstbezug)
Organisation	Zyklisch (Hyperzyklus), irreversible Drehrichtung
Umweltbeziehung	Offen (ständiger, ausgewogener Austausch)

Systemanalyse

Was ist Systemanalyse?

Bereiche der Systemanalyse

Man unterscheidet in der *Systemanalyse* (im weiteren Sinne) zwischen *drei Bereichen* (zurückgehend auf *Johann Heinrich Lambert* (1728 - 1777)):



Zwei Arten der Anwendung

Die *Systemanalyse* untersucht die **Struktur** und **Funktion** von Systemen. Dabei gibt es zwei Arten von Anwendungen:

analytische Anwendung (Systemanalyse, Systemforschung)

Suche nach Prinzipien zur **Sichtbarmachung** von Struktur und Funktion

synthetische Anwendung (System Design)

Suche nach Prinzipien zum Entwerfen, **Gestalten** und Lenken von Systemen



Sind für Systeme wie **Atome**, *Moleküle*, *Bakterien*, *Einzeller*, *Vielzeller* oder **Menschen** bzw. Menschengruppen die **gleichen Methoden bzw. Betrachtungsweisen** anwendbar?

Lamberts Klassifikation von Systemen

Auch *Lamberts* Klassifikation von Systemen findet noch heute Anwendung:

Theoretische Systeme

Erhalten ihre Verbindung durch die Kräfte des **Verstandes**

Beispiele: System der Wahrheiten; wissenschaftliche Theorien; Erzählungen usw.

Soziale Systeme

Erhalten ihre Verbindung durch die Kräfte des **Willens**

Beispiele: Gesellschaften; Staaten usw.

Technische Systeme

Erhalten ihre Verbindung durch **mechanische Kräfte**

Beispiele: Sonnensystem; Maschinen; Systeme von Ursache und Wirkung usw.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Technische Systeme dürfen nicht entwickelt werden, ohne den *Menschen in den Mittelpunkt* zu stellen.



interdisziplinäre Zusammenarbeit

Solche Zusammenarbeit gestaltet sich durch die in den letzten Jahrhunderten etablierte *monodisziplinär ausgerichtete* Struktur der Wissenschaft schwierig.

Beispiele

- ▶ *I/ASA* (Int'l Institute of Applied Systems Analysis)
- ▶ Versuche zu *Weltmodellen* (World Modelling)
(Erkennung/Vermeidung von Umweltkatastrophen als Ziel)

Pioniere der Systemanalyse: Lambert



Abbildung: Johann Heinrich Lambert

Name

Johann Heinrich Lambert
(1728 - 1777)

Tätigkeit

Astronom, Physiker, Mathematiker und
Philosoph

- ▶ Überlegungen zur Systemtheorie
- ▶ Nachweis der Irrationalität von π
- ▶ Grundlegung der rationalistischen Erkenntnistheorie (Vorgänger *Kants*)

Pioniere der Systemanalyse: Bertalanffy



Abbildung: Karl Ludwig von Bertalanffy

Name

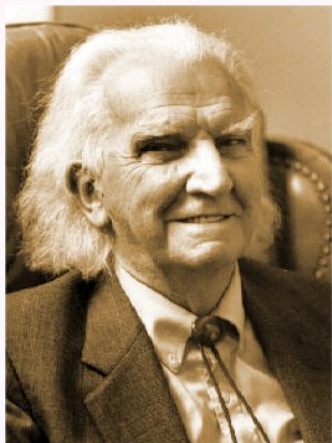
Karl Ludwig von Bertalanffy
(1901 - 1972)

Tätigkeit

Biologe

- ▶ **Allgemeine Systemlehre (1949)**
Überwindung mechanistischer
Forschungstradition; biologische
und soziale Organismen als
Ganzheit (zielsuchend,
zweckhaftig)

Pioniere der Systemanalyse: Boulding



Name

Kenneth Ewart Boulding
(1910 - 1993)

Tätigkeit

Wirtschaftswissenschaftler

- ▶ **Economics (1978)**

Wirtschaft als System von
Systemen (analytische Basis für die
empirische Forschungsarbeit)

Abbildung: Kenneth Ewart Boulding

Pioniere der Systemanalyse: Deutsch



Name

Karl W. Deutsch
(1912 - 1992)

Tätigkeit

Politologe

- ▶ Verband die Analyse sozialwissenschaftlicher und lerntheoretischer Konzepte mit der kybernetischen Systemtheorie

Abbildung: Karl W. Deutsch

Pioniere der Systemanalyse: Forrester



Name

Jay Wright Forrester
(geb. 1918)

Tätigkeit

Technologe, Systemanalytiker

- ▶ **Industrial/Urban/World Dynamics**
(Σ System Dynamics)
Differenzgleichungen zum
Studium des Verhaltens beliebiger
Modelle (in der Tradition der
Kausalmodelle)

Abbildung: Jay Wright Forrester

Zwei Varianten der Systemanalyse

Unterschieden wird zwischen *zwei Varianten* der *Systemanalyse*:

Instrumentelle Syst.



Maieutische Syst.

Vorabanalyse der
Problemstellung →
Ist-Zustand wird in den
Soll-Zustand überführt

keine vorgefasste
Problemvorstellung →
starke Einbeziehung der
Partner



Merke: Jede Systemanalyse bzw. jedes Systemdesign ist prinzipiell *instrumentell* (als Mittel dienend, auf ein Ziel gerichtet).

„*Instrumentell*“ ist hier im Sinne *Horkheimers (1895 - 1973)* zu sehen.

Zwei Varianten der Systemanalyse: Instrumentell (1)

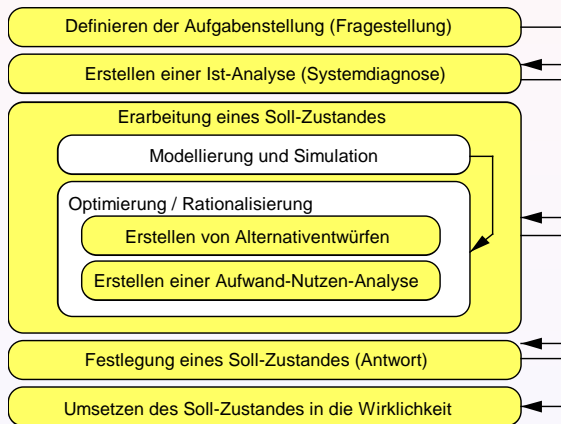


Abbildung: Vorgehen in der *instrumentellen Systemanalyse*

Zwei Varianten der Systemanalyse: Instrumentell (2)

Probleme der instrumentellen Systemanalyse

- ▶ Systemanalytiker als außenstehender Beobachter
⇒ Bezug auf eine oft **unscharfe Zielsetzung** des Auftraggebers
- ▶ Aufgabenstellung basiert auf dem eingegrenzten Interessenbild des Auftraggebers
⇒ **zu enge Systemgrenzen**
- ▶ kreatives Potenzial der Beteiligten/Betroffenen wird nicht mit einbezogen



Viele Misserfolge!

Kann nicht zur Entwicklung neuer Systeme verwendet werden, sondern nur zur Untersuchung, Verbesserung und Veränderung von bereits bestehenden.

Zwei Varianten der Systemanalyse: Maieutisch (1)

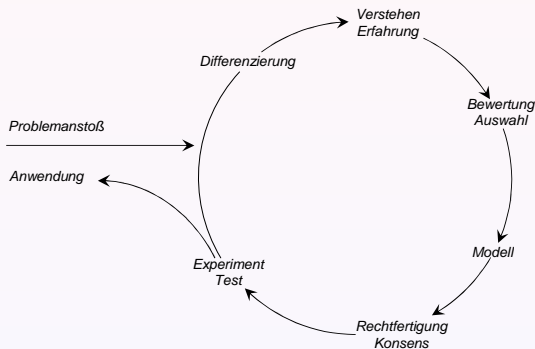


Abbildung: Maieutischer Zyklus

Zwei Varianten der Systemanalyse: Maieutisch (2)

Ursprünge der Maieutik

- ▶ *Maieutik* geht auf den griechischen Philosophen **Sokrates** (ca. 469 v. Chr. - 399 v. Chr.) zurück.
- ▶ Es werden durch **geschickte Fragestellungen** Antworten und Einsichten zutage gefördert.
- ▶ Sokrates zieht den Vergleich zur *Geburtshilfe*

In der Systemanalyse

- ▶ Systemanalytiker arbeitet mit allen Beteiligten zusammen.
⇒ Helfer bei der Aufdeckung von: verborgener **Kritik**, **Interessen** und **Antizipationen**
- ▶ Starke **Beteiligung** aller Betroffenen ist notwendig.

Prozess der Systemanalyse: Phasen

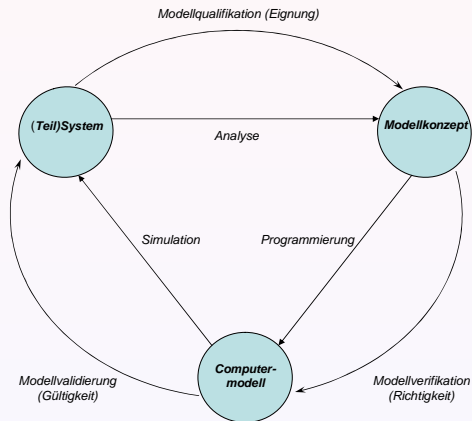


Abbildung: Phasen der Systemanalyse

Prozess der Systemanalyse: Modelle

Grundlegend in der Systemanalyse ist die Arbeit an *Modellen*.

Definition

Ein *Modell* ist ein (oft idealisiertes und vereinfachtes) **Bild der Realität**, indem die als wesentlich angesehenen Eigenschaften eines realen Systems erfasst werden.



Es kann **mehrere Modelle** zu ein und demselben System geben.
(Verschiedene Sichtweisen)

Prozess der Systemanalyse: Arten von Modellen

Drei Arten von Modellen

deskriptive Modelle
beschreibend

explikative Modelle
erklärend

normative Modelle
zielgerichtet

Wichtig:

Ein Modell ist ein Bild der Realität und **nicht Abbildung** der Realität.

Prozess der Systemanalyse: Mittel zur Modellierung

Bei der **formalen Darstellung** von Systemmodellen wurde bisher auf folgende Mittel zurückgegriffen:

- ▶ algebraische Gleichungen / Gleichungssysteme für statische/stationäre Systeme
- ▶ Differenzialgleichungen / Differenzengleichungen für dynamische Systeme
- ▶ (Extremal-) Prinzipien
- ▶ (Extremum-) Suchalgorithmen



Modellierung ist als ein **kontinuierlicher Lernprozess** zu verstehen, wie er in der allgemeinen Systemforschung praktiziert wird.

Prozess der Systemanalyse: Allgemeine Systemforschung

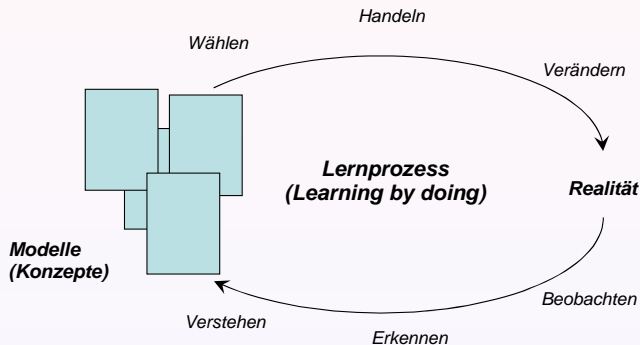
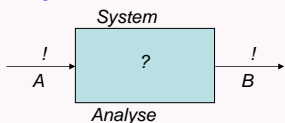


Abbildung: Allgemeine Systemforschung (General Systems Science)

Prozess der Systemanalyse: Drei Arten zu fragen

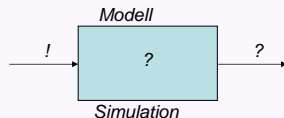
Analyse



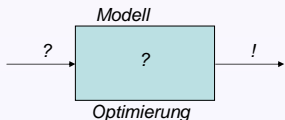
Wie hängt *B* mit *A* zusammen?

Simulation

Was passiert, wenn ...

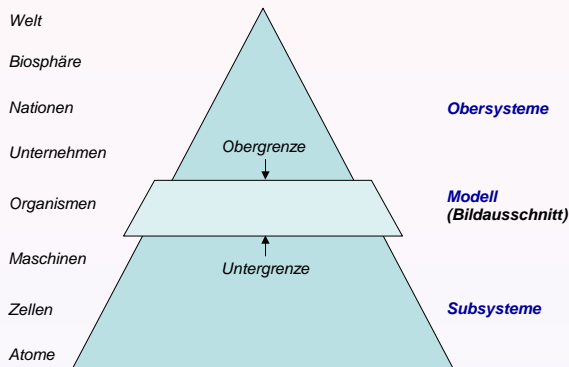


Optimierung



Was sollte gemacht werden, um zu erreichen, dass ...

Prozess der Systemanalyse: Systemgrenze (1)



Die **wichtigste Entscheidung** der Systemanalyse ist die bzgl. der **Systemgrenze!**

Prozess der Systemanalyse: Systemgrenze (2)

Bei der Wahl der Systemgrenze ist zu beachten:

- ▶ **Abschneiden nach *oben*:**
Ziele müssen exogen vorgeben werden. (Wechsel erzeugt „Systemkatastrophe“)
- ▶ **Abschneiden nach *unten*:**
(Stochastische) Störungen sind zu erwarten.

Beispiel

Umweltprobleme von heute sind auf falsch gewählte Systemgrenzen zurückzuführen:

Bei der Betrachtung und Erarbeitung von Lösungen und Entwürfen wurde die Umwelt oft außen vor gelassen.

Einbettung der Systemanalyse

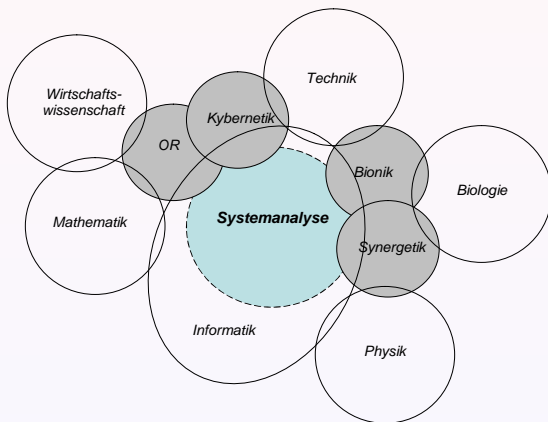


Abbildung: Einbettung in benachbarte Disziplinen

Systemanalyse in der Angewandten Informatik bzw. Mathematik

„Angewandte“ und „abgewandte“ Wissenschaft? (1)

Angewandte Wissenschaft (Unreine) \Leftrightarrow Reine Wissenschaft (Reine)

Die *Angewandte Mathematik* befasst sich mit der Anwendung der Mathematik auf **außermathematische Gebiete**.



These

Die *Angewandte Mathematik* ist keine Mathematik im eigentlichen Sinne.

Dennoch: Die Anwendung der Mathematik in den Naturwissenschaften ist **erfolgreich**.

„Warum passt die Mathematik auf die Natur?“

„Angewandte“ und „abgewandte“ Wissenschaft? (2)

Warum ist die *Angewandte Mathematik* keine Mathematik? Dies ergibt sich aus einem **logischen Beweis**.

Beweis

1. Die Mathematik basiert auf logisch sauberen Schlüssen. Sie ist exakt.
2. Die *Angewandte Mathematik* befasst sich mit Phänomenen der Natur. Sie ist notwendig unexakt.



Die *Angewandte Mathematik* ist **keine Mathematik**.

Informatik in außerinformatischen Bereichen

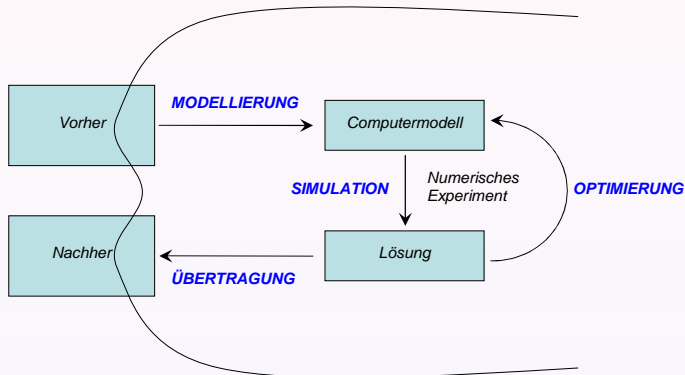


Abbildung: Anwendung der Informatik auf außerinformatische Bereiche

Beispiel: Planetoid CERES (1)

Entdeckung des 1. Planetoiden CERES (1801)

Die Beobachtung (Datensammlung) war nur kurz möglich.

Bekannt war das **Keplersche Modell** (Bahn $\hat{=}$ Kegelschnitt):

$$F(x_1, x_2, a, b) = 0$$

Methode der **kleinsten Fehlerquadrate** (Gauß):

- ▶ Bekannte Daten einsetzen
- ▶ Unbekannte Parameter schätzen

$$\sum_{i=1}^N \left[F(x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \hat{a}, \hat{b}) \right]^2 = \sum_{i=1}^N r_i^2 \rightarrow \text{Min}$$

Beispiel: Planetoid CERES (2)

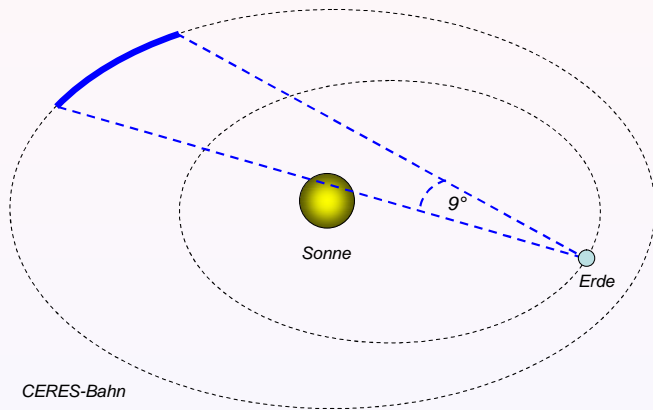


Abbildung: Beobachtetes Bahnsegment des Planetoiden CERES

Beispiel: Planetoid CERES (3)

Das *CERES-Beispiel* zeigt **wichtige Stufen der Systemanalyse**:

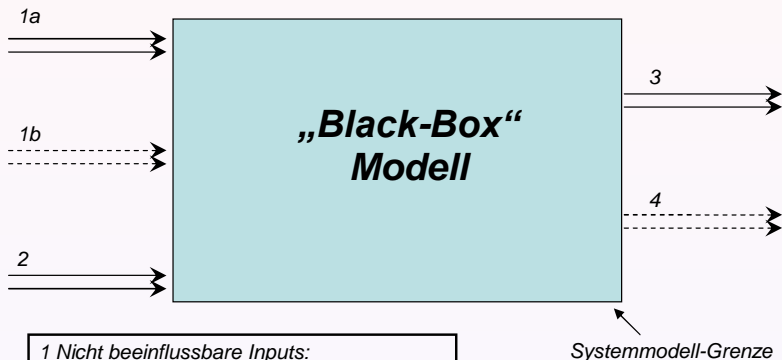
1. Sammeln von Daten (ungenau, unvollständig)
2. Verwenden eines Modells (Kepler (*deskriptiv*) oder Newton (*explikativ*))
3. Schätzen freier Parameter des Modells (wiederholte Simulation; numerische Optimierung)
4. Prognose mittels „Fortschreibung“ auf Modellbasis

Mittlerweile ist in der Natur **vieles berechenbar** und vorhersagbar.

Beispiele

- ▶ Ein-Teilchen- und Zwei-Teilchen-Systeme: gut verstanden
- ▶ Drei-Teilchen-Systeme: schwieriger, da *chaotisches Verhalten* möglich ist

Vollständiges „Black-Box“ Systemmodell (1)



1 Nicht beeinflussbare Inputs:

1a gerichtet

1b ungerichtet

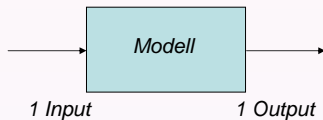
2 Beeinflussbare Inputs

3 Erwünschte Outputs (evtl. Koppelprodukte)

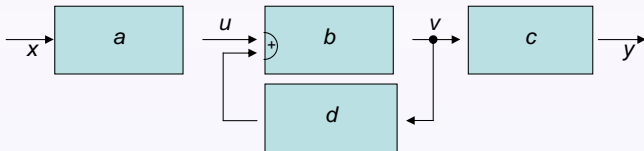
4 Unerwünschte Outputs

Vollständiges „Black-Box“ Systemmodell (2)

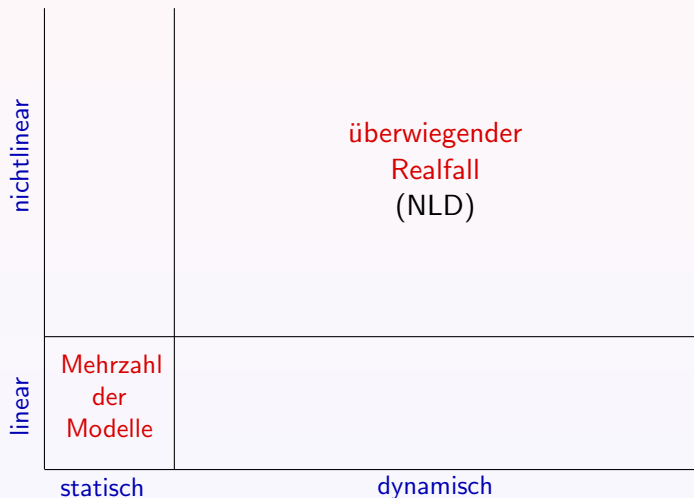
Einfachster Fall



Zusammengesetzter Fall



Einteilung System-Modelle



Wiederholungsfragen (1)

1. Nennen und beschreiben Sie zwei Grundklassen von Systemen.
Stichpunkt: strukturbewahrende und evolvierende Systeme
2. Was versteht man unter der *GAIA-Hypothese*?
Stichpunkt: Ultrastabilität des planetaren Ökosystems
3. Gibt es *nicht-statische* strukturbewahrende Systeme?
Stichpunkt: Systeme mit konservativer Selbstorganisation
4. Auf welche Weise streben *evolvierende Systeme* stets zum Gleichgewicht?
Stichpunkt: Gar nicht. Sie sind dissipativ.
5. Nennen Sie die *drei Bereiche* der Systemanalyse.
Stichpunkt: nach Lambert: Systemanalyse (i.e.S.), Systemforschung, System Design

Wiederholungsfragen (2)

1. Nennen und charakterisieren Sie die zwei Varianten der Systemanalyse.

Stichpunkt: Instrumentelle Systemanalyse + Maieutische Systemanalyse

2. Was ist ein Modell? Welche Arten gibt es?

Stichpunkt: Ein Bild der Wirklichkeit. (Kein Abbild!) → deskriptive, explikative und normative Modelle

3. Beschreiben Sie drei Arten von Fragestellungen und ihre Unterschiede.

Stichpunkt: Fragestellung in Analyse, Simulation und Optimierung

4. Worin besteht die wichtigste Entscheidung im Prozess der Systemanalyse und warum?

Stichpunkt: Die Entscheidung bzgl. der Systemgrenze

*Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!*