

Kap. 1: Systeme und Systemtheorie - Grundlagen

- **Grundbegriffe**
- **Systeme und Systemtheorie**
- **Klassifizierung von Systemen, Beispiele von Systemen**
- **Informationssysteme**
- **Systemanalyse (allg.)**
 - in Biologie und Ökologie
- **Systeme und Subsysteme**
- **Dynamische und adaptive Systeme**
- **Literatur**

Systeme

"System" (griech.: σύστημα) = "Zusammengesetztes"

System (1, n.DIN*): abgegrenzte **Anordnung** von aufeinander einwirkenden **Gebilden**.

Solche Gebilde können sowohl Gegenstände als auch Denkmethode und deren Ergebnisse (z. B. Organisationsformen, mathematische Methoden, Programmiersprachen) sein. Diese Anordnung wird durch eine Hüllfläche von ihrer **Umgebung** abgegrenzt oder abgegrenzt gedacht.

System (2): Ausschnitt aus der realen oder gedanklichen Welt, bestehend aus Gegenständen - den **Systemelementen** - (z. B. Menschen, Materialien, Maschinen oder anderen Produkten) und darauf vorhandenen **Strukturen** (z. B. deren Aufbau aus Teileinheiten und deren Beziehungen untereinander). (n. [HKL 84])

* DIN 44300: Informationsverarbeitung -Begriffe. Beuth-Verlag, Berlin 1982

[HKL 84] W. Hesse, H. Keutgen, A. L. Luft, D. Rombach: Begriffe der Softwaretechnik - Vorschlag zur Terminologie, Informatik-Spektrum 7, pp. 200-213 (1984)

System: Weitere Definitionen

System (3): a set of *objects*, together with *relationships* between the objects and between their *attributes*

(Hall and Fagen 1956)*.

Ein **System (4)** ist durch seinen *Systemzweck* (Funktion), seine *Systemelemente* und *Wirkungsverknüpfungen* (Wirkungsstruktur) sowie seine *Systemintegrität* gekennzeichnet

(Bossel [Bos 94])

System (5): komplexer Gegenstand, bestehend aus einer Menge von *Komponenten* (seiner Komposition), einer Menge von damit verbundenen *Elementen* (seiner Umgebung) und eine Menge von *Beziehungen* zwischen diesen (seiner Struktur).

(Bunge [Bun 79] S.4)

* A. D. Hall and R. E. Fagen: Definition of System. General Systems 1 (1956), 18

Systemtheorie



= interdisziplinärer Wissenschaftszweig, der sich mit *allgemeinen Struktur- und Funktionsprinzipien* von Systemen befasst und dabei von den spezifischen Eigenschaften ihrer Elemente und Beziehungen abstrahiert.

⇒ *Mario Bunge*: Eine Welt von Systemen [Bun 79]

⇒ *Ludwig von Bertalanffy (1901-1972)*: Zu einer allgemeinen Systemlehre, Biologia Generalis. 195, MIT Press/Wiley & Sons, New York/Cambridge 1948, S. 114–129.

- Systeme (und ihre Abgrenzungen) sind nicht natur- oder anderweitig vorgegeben, sondern werden als solche durch die *Intention* und *Konzeption* von Menschen (den "System-Beobachtern") festgelegt.
- Dazu gehört die Feststellung von sog. *"emergenten"* (oder *"systemischen"*) Eigenschaften, die für das System als Ganzes, nicht aber schon für seine einzelnen Komponenten charakteristisch sind.

Erweiterter (biologischer) Systembegriff

(n. *Ludwig von Bertalanffy*, um 1950):

System = Zusammenhang von Interaktionen, die sich von ihrer Umwelt abgrenzen, die wiederum aus anderen Interaktions-Zusammenhängen besteht.

Damit lassen sich Systeme als sich *selbst organisierende* Funktionseinheiten verstehen, die ihr Weiterfunktionieren selbst organisieren bzw. produzieren ($\Rightarrow$ *Autopoiesis*) und sich in spezifischer Weise von ihrer Umwelt abheben, etwa durch Ausprägung besonderer Eigenschaften.

Beispiel: Abgelegene Inseln oder Inselgruppen, z.B. *Galapagos*. Die Tier- und Pflanzenwelt war dort einzigartig, *endemische* (allein dort vorhandene) Arten besonders häufig. Seefahrer und (heute) Touristen stören das System, z.B. durch Einfuhr systemfremder Arten.

Allgemeine Systemtheorie

General Systems Theory: Ludwig von Bertalanffy spricht von (vorwiegend biologischen) **offenen Systemen** und beschreibt deren dynamischen Austausch mit der Umwelt durch den Begriff der **organisierten Komplexität**.

Kybernetik (Norbert Wiener, William Ross Ashby, um 1950): Systemtheorie mit Schwerpunkt auf **Regelung** und **Steuerung**. Beruht weitgehend auf mathematisch-physikalischen Grundlagen und betrachtet z.B. **Signale**, ihre Übertragung, Wirkung und Fähigkeit zur Steuerung von Prozessen .



Weitere wichtige Theorien:

Selbstorganisation: (Stuart Kauffman, „At home in the Universe“, 1995) betrachtet Prozesse, bei denen höhere strukturelle Ordnungen ohne erkennbare äußere steuernde Elemente erreicht werden.

Autopoiesis: (Humberto Maturana, Francisco Varela, 1974 und ff.) bezieht sich auf biologische Systeme und deren Fähigkeit zur Selbsterschaffung, -erhaltung, -organisation sowie Regeneration

Soziologische Systemtheorie: (Niklas Luhmann, 1984 und ff.) überträgt systemtheoretischen Ansatz auf soziale Systeme. Zentraler Mechanismus: **Kommunikation**

Klassen von Systemen

Klassifizierung kann unter sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen, z.B.:

- statisch/dynamisch, aktiv/passiv, offen/geschlossen
- Systemgröße
- lebend (natürlich) vs. artifiziell
- unterliegender Bereich

Eine grobe Klassifizierung:

- Systeme in der **Mathematik** und in den **Naturwissenschaften** (Astronomie, Physik, Chemie, Biologie, ..)
- **Technische** Systeme
 - . u.a. Informatik-Systeme (z.B. Datenbank- oder Betriebssysteme)
- **Soziale** Systeme (in Politik, in Kommunen, Nachbarschaften etc.)
- **Organisatorische** Systeme (Unternehmen + Personal + Infrastruktur + Abläufe ...)
- **Volks-** und **betriebswirtschaftliche** Systeme

Klassifizierung von Systemen

statisch/dynamisch

- **Dynamisches System:** System, bei dem das zeitliche Verhalten des Systembereichs (d.h. dessen Zustände und Zustandsveränderungen) Teil der Systembetrachtung ist.

Gegenteil: *Statisches System*

offen/geschlossen

- **Offenes System:** System, dessen Zustand mit dem seiner Systemumgebung (aktiv oder passiv) verknüpft ist.

Gegenteil: *Geschlossenes System*

aktiv/passiv

- **Aktives System:** System, das (mindestens) einen zustandsverändernden Prozess als Teil seiner Beschreibung enthält.

Gegenteil: *Passives System*

Beispiele von Systemen

- **Sonnensystem:** *naturwissenschaftlich (Astronomie); dynamisch*, vorwiegend als *geschlossen* und *aktiv* oder *passiv* betrachtet
- **Ökosystem:** *naturwissenschaftlich (Biologie); dynamisch*, vorwiegend als *offen* und *aktiv* betrachtet
- **Wirtschaftssystem:** *sozial (Wirtschaftswissenschaften); dynamisch*, vorwiegend als *offen* und *aktiv* betrachtet
- **Lebewesen:** *naturwissenschaftlich (Biologie, Medizin); dynamisch*, vorwiegend als *geschlossen* und *aktiv* betrachtet
- **Compiler:** *technisch (Informatik); dynamisch*, vorwiegend als *geschlossen* und *aktiv* betrachtet
- **Sudoku:** *technisch (Mathematik); statisch, geschlossen, passiv*

Beispiel eines komplexen Systems

- *System*: Der menschliche Körper
- *Systemgrenze*: Haut
- *Komponenten*: Glieder, Organe, Blutgefäße, Nerven, ...
- *Beziehungen*: z.B. zw. Knochen und Gelenk, Herz und Blutadern, ...
- *Systemische Eigenschaften*: Stoffwechsel, Fortpflanzung, Bewusstsein, ..



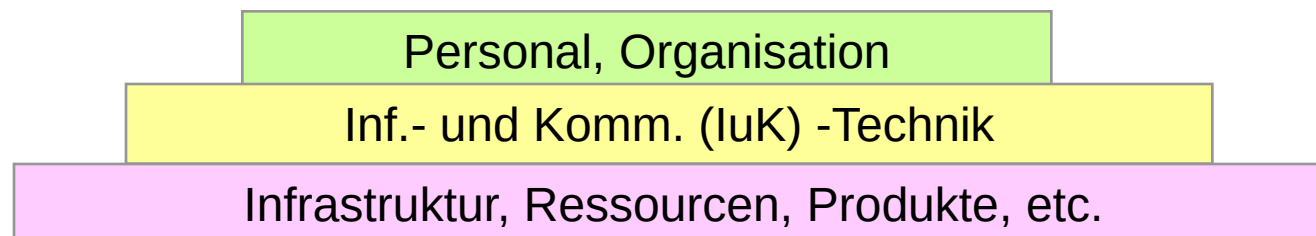
Weitere Beispiele von Systemen

Computer:

- **Komponenten:** Hardware- und Software-Bausteine;
 - **Systemische Eigenschaften:** Funktionen zur Datenspeicherung und -verarbeitung, die nur der Computer als Ganzes erfüllen kann.
- Technisches System

Unternehmen:

- **Elemente:** interagierende Akteure und Ressourcen: Menschen, Material, Rohstoffe, Verfahren, ..
 - **Systemische Eigenschaften:** Fähigkeit, als Ganzes zu agieren, zu produzieren, zu prosperieren, Gewinn/Verlust zu machen.
- Gemischtes System mit sozialen, wirtschaftlichen und technischen Komponenten

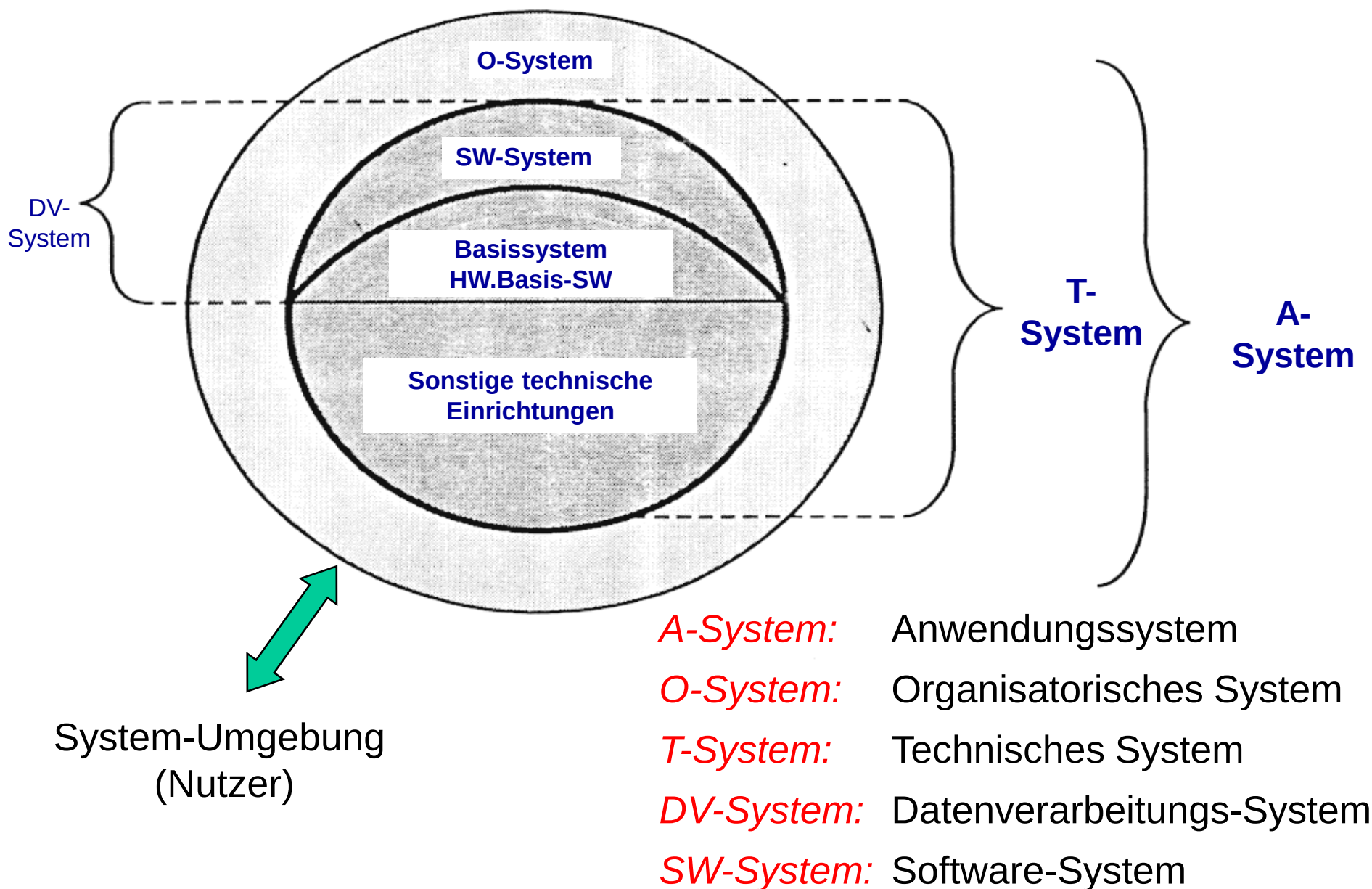


Informationssysteme

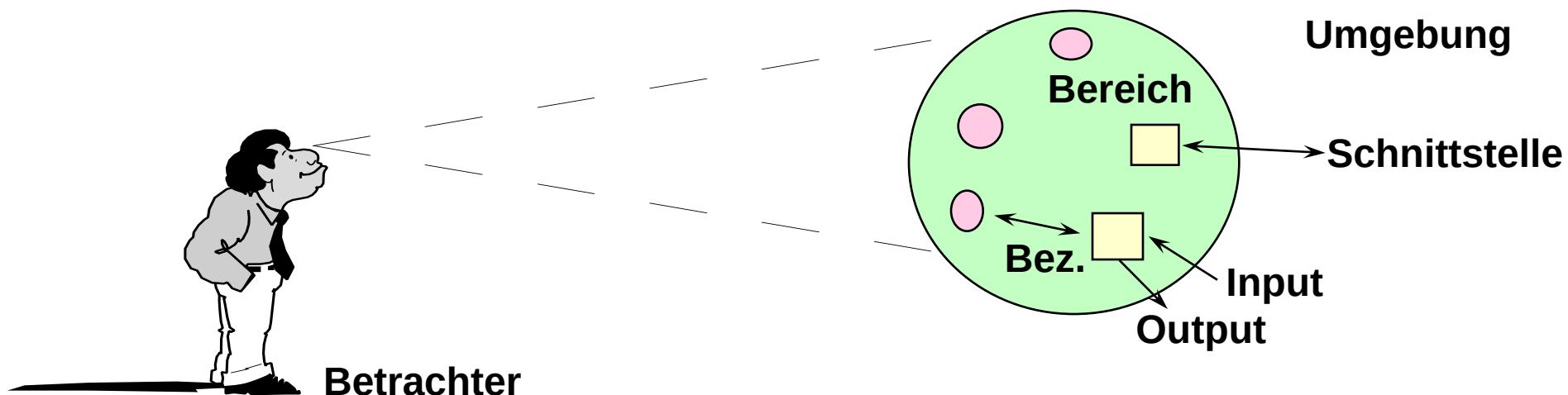
Informationssystem: System, das die Deckung von Informationsbedarf zur Aufgabe hat. Dazu gehört die *Beschaffung, Erzeugung, Verarbeitung, Speicherung, Verteilung* und *Weitergabe* von *Daten* bzw. *Informationen*.

- Informationssysteme gehören zu den so genannten *sozio-technischen* (genauer: *Mensch / Aufgabe / Technik-*) Systemen.
- Oft werden sie auch als *Informations-* und *Kommunikations-Systeme* (*IuK-Systeme*) bezeichnet.
- IuK-Systeme nehmen in vielen Unternehmen eine zentrale Stellung ein und sind wesentlicher Gegenstand der *Wirtschaftsinformatik*.

Systeme im IT-Umfeld



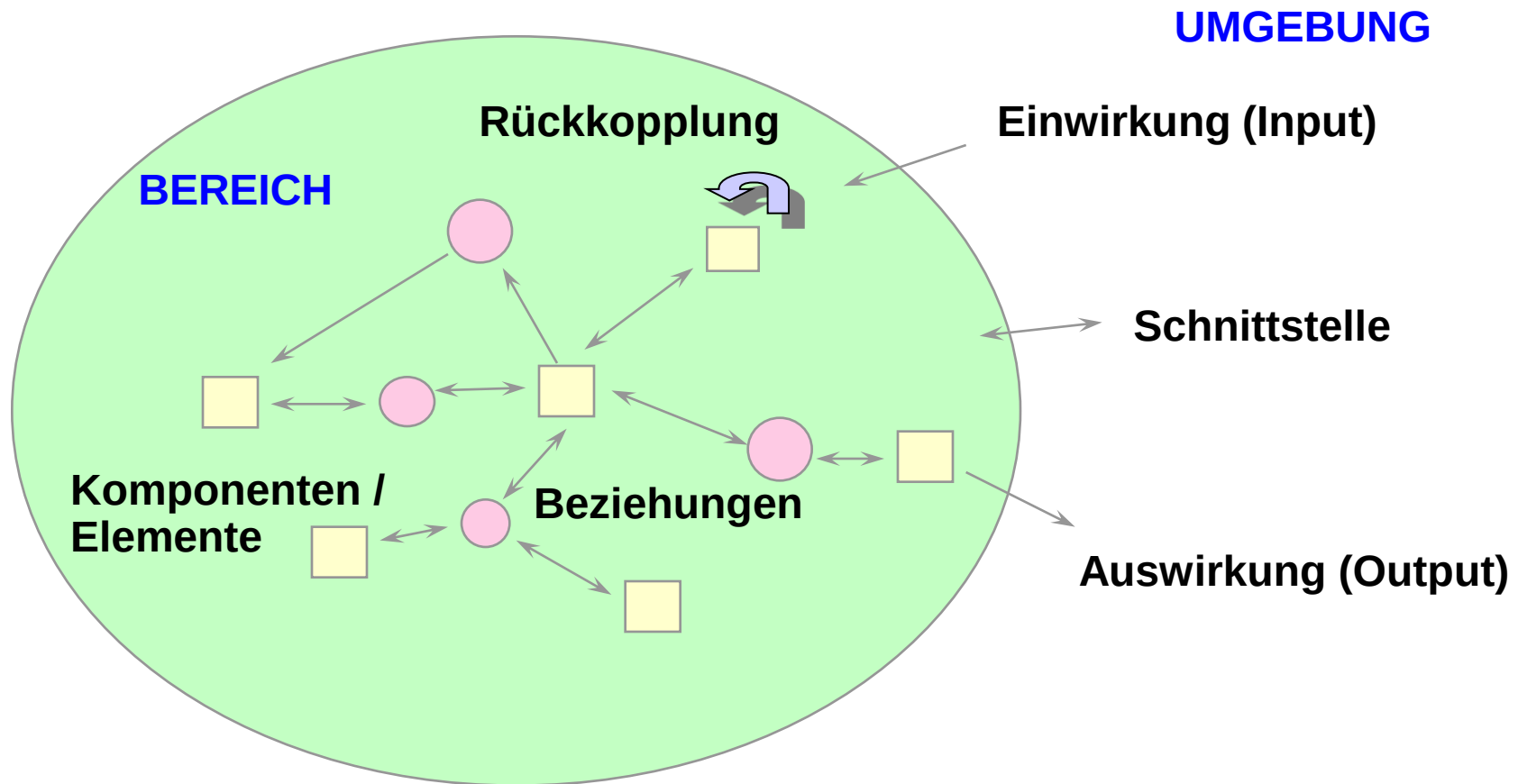
Systemanalyse



... hat die Definition, Abgrenzung, Untersuchung und Modellierung von Systemen zum Thema ...

- geht von einem unterliegenden *Systembereich* (**system domain**) aus,
- identifiziert darin eine Menge von **System-Komponenten**,
- untersucht die **Beziehungen** der Komponenten untereinander,
- betrachtet die **Umgebung** und die **Schnittstellen** zu dieser,
- identifiziert *die emergenten* System-Eigenschaften,
- ist immer von der speziellen *Sicht des Betrachters* (**Analysators**) abhängig.

Systeme und ihre Bestandteile



Perspektiven bei der Betrachtung von Informationssystemen

- **Daten-Perspektive** (*data perspective*):

umfasst die Daten- und Speicherstrukturen, mit deren Hilfe das System seine Leistungen erbringt

- **Funktionale Perspektive** (*process perspective*):

umfasst die Funktionen, die das System ausführen / unterstützen soll

- **Verhaltens-Perspektive** (*behaviour perspective*):

umfasst die zeitabhängigen Aspekte der Systemabläufe und das zeitliche Zusammenwirken der Systemkomponenten

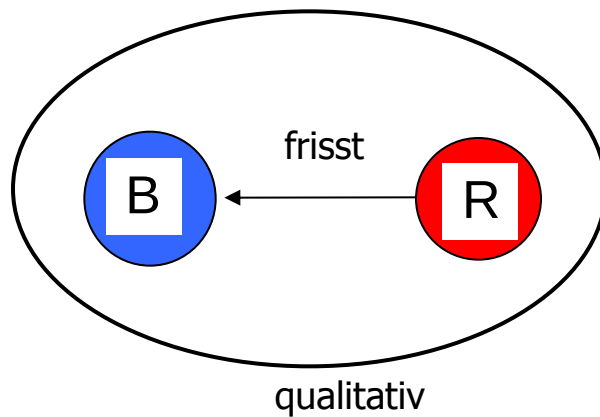
Dynamische Systeme: Besonderheiten

- Bei der Betrachtung dynamischer Systeme spielt die *Zeit* eine hervorragende Rolle
- *Prozesse, Abläufe, Zustände* und deren *Änderungen* sind wesentliche Gegenstände der (dynamischen) Systemanalyse.
- Die Zeit kann
 - . *explizit* - z.B. als unabhängige Variable *t* einer mathematischen Funktion *f(t)* oder
 - . *implizit* - z.B. über kausale oder temporäre (vorher- / nachher-) Beziehungen modelliert werden.
- Die Betrachtung von zeitlichen Verläufen kann (explizit) *diskret* oder *kontinuierlich* erfolgen. Im diskreten Fall z.B. durch eine Funktion über natürlichen oder rationalen Zahlen, kontinuierlich über reell-wertige Funktionen und Differenzialgleichungen.

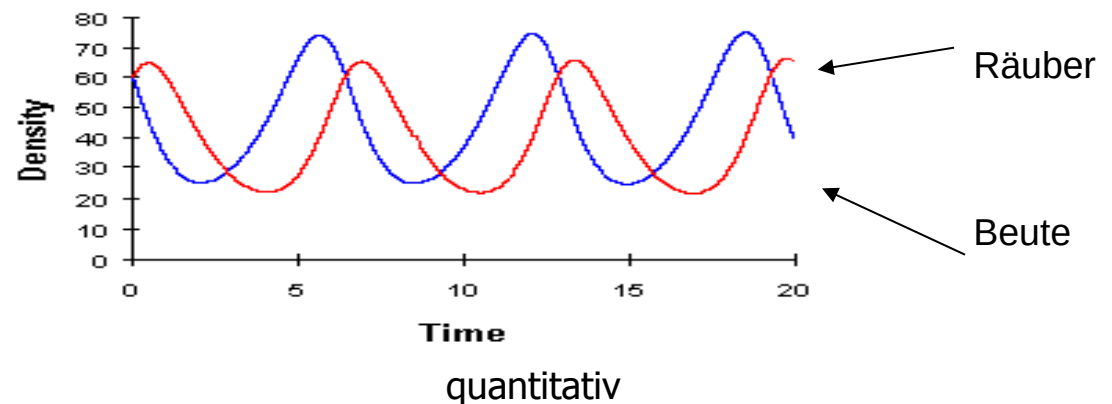
Systemanalyse in Biologie und Ökologie

- In der *Biologie* betrachtet man Organismen als Systeme.
- In der *Ökologie* untersucht man Populationen aus vielen Individuen - ggf. auch unterschiedlicher Art - und deren Entwicklung und Wechselwirkungen.

Beispiel: Beziehungen von Räuber- und Beute-Populationen



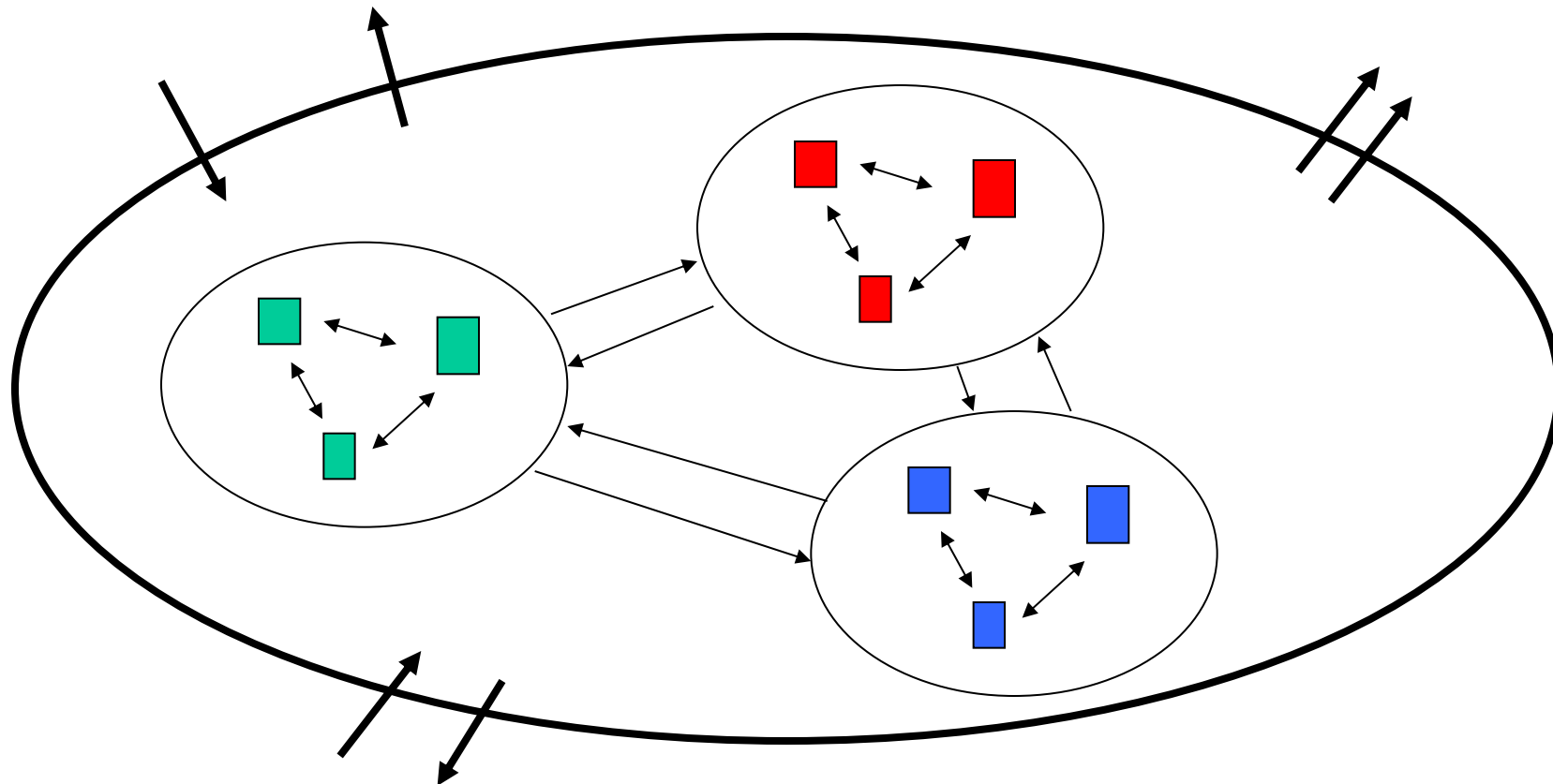
Volterra-Lotka-Modell



Dynamisches Modell

Subsysteme

- Ein System kann in *Subsysteme* unterteilt werden. Diese ..
- .. sind selbst Systeme im o.g. Sinne
- .. haben einen Teil-Systembereich (Untermenge der Komponenten)
- .. haben i.a. unterschiedliche systemische Eigenschaften



Systeme und Subsysteme: Beispiele

- Das ökologische System einer **Insel** oder **Inselgruppe**
- Die **Pflanzen, Tiere** und ihre **Arten** als Subsysteme mit ihren Erhaltungs- und Fortpflanzungsprozessen sowie ihren (Art-internen und externen) Interaktionen, z.B. Räuber-/Beute-Zyklen

- Das Unternehmen **Universität** als Ganzes (gemischt),
- Die **Bibliothek** als Univ.-Subsystem mit Bibliotheks-Personal, Buchbeständen, organisatorischen Abläufen (gemischt)
- Regale, Buchbestände, Karteikästen (technisch)
- **BIBS**: Bibliotheks-Verwaltungssystem (techn.-organisatorisch)

- Das Unternehmen **ÖVU** (Öff. Verkehrsunternehmen) als Ganzes (gemischt),
- das von ÖVU betriebene **Verkehrsnetz** mit Infrastruktur, Personal und Organisation (gemischt),
- das **ÖVU-Liniennetz** mit Knoten, Strecken und Verknüpfungen (organisatorisch)
- der von ÖVU unterhaltene **Fuhrpark** (technisch)
- PIV: **ÖVU-Planungssystem** (technisch-organisatorisch, Inf.-System i.w.S.)
- ÖVU-**Fahrpläne** (technisch, Inf.-System i.e.S.)

Adaptive Systeme

- **Adaptives System:** ein System, das sich durch ein besonderes Anpassungsvermögen an seine Umgebung auszeichnet; das die Möglichkeit hat, auf deren Veränderungen zu reagieren und sich damit auf diese einzustellen. Dabei spielen *Rückkopplungsschleifen*, *Emergenz* und *Selbstorganisation* eine herausragende Rolle.

Oft auch: **Komplexe adaptive Systeme (CAS)**

CAS: Menge zusammenhängender Komponenten, die gemeinsam ein integriertes Ganzes bilden, emergente Systemeigenschaften aufweisen und sich durch Interaktion an gegebene Bedingungen anpassen.

Herkunft: *Interdisziplin. Santa Fe Institut*; *John H. Holland*, (Erfinder der *Genetischen* und der *Evolutionären Algorithmen*), *Murray Gell-Mann* (Nobelpreisträger, entdeckte die Quarks) u.a..

CAS-Forschung ist hochgradig interdisziplinär. Sie sucht Antworten auf fundamentale Fragen von lebenden, anpassungsfähigen und veränderlichen Systemen.



CAS – Wesentliche Merkmale

Parallelität:

- viele Komponenten / Agenten interagieren gleichzeitig.
Beispiel: Zellen interagieren via Proteine

Bedingungsabhängige Aktionen

- IF-/THEN-Struktur

Beispiel Agent: WENN [Signale X eintreffen] DANN [führe Aktion Y aus]

Modularität

- Aufteilung in Subroutinen, die unterschiedlich miteinander kombiniert werden können
Beispiel: Zitronensäure-Zyklus (Biochemie, Stoffwechselzyklus, ben. nach KREBS)

Adaptation und Evolution

- Agenten verändern sich im Laufe der Zeit aufgrund von Feedback, Selektion, über „Generationen“ hinweg

Adaptive Systeme - Beispiele

Beispiele für CAS:

- Ameisen- und Bienenvölker
- Biosphäre, Ökosysteme
- Gehirn und das Immunsystem, Zellen und Embryonen
- soziale Systeme: Familien, Sippen, Stämme, Völker, Unternehmen, Aktienmarkt
- künstliche Systeme: Roboter-Schwärme, "Ensembles"

Beispiel-Anwendungen

- Handels- und Wirtschaftssysteme analysieren, Marktgeschehen simulieren, prognostizieren
- Ökosysteme beschreiben, erhalten, beeinflussen
- Immunsystem verstehen, beeinflussen, stärken

Literatur

- [Bos 94] Bossel, H.: Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Vieweg, Braunschweig 1994
- [Bos 04] H. Bossel: Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Books on Demand, Norderstedt/Germany, 2004 (ISBN 3-8334-0984-3).
- [Bun 79] M. Bunge: Treatise on basic philosophy, Vol. 4: Ontology: A world of systems. Reidel 1979
- [Can 95] M.J. Canty: Chaos und Systeme: Eine Einführung in die Theorie und Simulation dynamischer Systeme, Vieweg 1995
- [FHL+98] E. Falkenberg, W. Hesse, P. Lindgreen, B.E. Nilsson, J.L.H. Oei, C. Rolland, R.K. Stamper, F.J.M. Van Assche, A.A. Verrijn-Stuart, K. Voss: FRISCO - A Framework of Information System Concepts - The FRISCO Report. IFIP WG 8.1 Task Group FRISCO. Web version: <http://www.mathematik.uni-marburg.de/~hesse/papers/fri-full.pdf> (1998)
- [Hol 06] J. H. Holland: Studying Complex Adaptive Systems. Journal of Systems Science and Complexity 19 (1): 1-8 (2006)
- [HVS 01] W. Hesse, A. Verrijn-Stuart: Towards a theory of Information Systems: The FRISCO approach. In.: In: H. Kangassalo et al. (Eds.): Information Modelling and Knowledge Bases XII. IOS Press, Amsterdam, 2001, pp. 81-91
- [Sta 73] H. Stachowiak: Allgemeine Modelltheorie. Springer, Wien 1973
- [Tab 06] P. Tabeling: Softwaresysteme und ihre Modellierung

Weitere Literatur (Auszug)

- **R. Axelrod:** The Evolution of Cooperation, Penguin Books 1991, 2nd ed. 1997
- **M. Buchanan:** Das Sandkorn, das die Erde zum Beben bringt, Campus Verlag 2000
- **M. Eigen, R. Winkler:** Das Spiel, Naturgesetze steuern den Zufall. Serie Piper Bd 410 (1990)
- **N. Gilbert, K. Troitzsch:** Simulation for the Social Scientist. Open University Press, Berkshire 2005
- **St. Kaufmann:** At home in the Universe, Oxford University Press 336 (1996)
- **D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, W.W. Behrens:** The limits to growth. Potomac Ass., Washington D.C. 1972
- **F.J. Radermacher, J. Riegler, H. Weiger:** Ökosoziale Marktwirtschaft – *Historie, Programmatik und Alleinstellungsmerkmale eines zukunftsfähigen globalen Wirtschaftssystems.* oekom Verlag, München 2011. ISBN 978-3-865812-59-9