

# Physik der sozio-ökonomischen Systeme *mit dem Computer*

*PC-POOL RAUM 01.120  
JOHANN WOLFGANG GOETHE UNIVERSITÄT  
19.10.2018*

*MATTHIAS HANAUSKE*

*FRANKFURT INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES  
JOHANN WOLFGANG GOETHE UNIVERSITÄT  
INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK  
ARBEITSGRUPPE RELATIVISTISCHE ASTROPHYSIK  
D-60438 FRANKFURT AM MAIN  
GERMANY*

## 1. Vorlesung

# Allgemeines zur Vorlesung

- Ort und Zeit:  
PC-Pool Raum 01.120, immer freitags von 15.00 bis 17.00 Uhr
- Vorlesungs-Materialien:  
<http://th.physik.uni-frankfurt.de/~hاناuske/VPSOC/>
- Aufgaben auf der Online-Lernplattform Lon Capa:  
<http://lon-capa.server.uni-frankfurt.de/>
- Plan für die heutige Vorlesung:  
Motivation (Was sind sozio-ökonomische Systeme und wie können wir sie formal und mathematisch beschreiben? Vergleich: Theorien der elementaren physikalischen Wechselwirkungen <-> Akteur-Netzwerk-Theorie (Soziologie), Network Science, Evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken)  
Kurzer Überblick der Inhalte der Vorlesung, Vergabe der Login-Accounts für den PC-Pool, Einführung in die Spieltheorie, Definition eines Spiels, Strategiemenge der Spieler, Präferenzordnung und Auszahlungsfunktion, Nash-Gleichgewichte, Übungsaufgabe auf der Lon Capa Lernplattform

Physik der sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer von Dr.phil.nat.Dr.rer.pol. Matthias Hanauske

[Home](#) [Research](#) [Contact](#)

[Einführung](#)

[Teil I](#)

[Teil II](#)

[Teil III](#)

[E-Learning](#)



**Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer (Physics of Socio-Economic Systems with the Computer) Vorlesung WS 2017/2018, Fr. 15-17.00 Uhr, PC-Pool 01.120**

**Zusätzlich zur Vorlesung werden ab dem 27.10.2017 freiwillige Übungstermine eingerichtet, die jeweils freitags, eine Stunde vor der Vorlesung im PC-Pool 01.120 stattfinden (Fr. 14-15.00 Uhr).**

Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das interdisziplinäre Forschungsfeld der *Physik sozio-ökonomischer Systeme*. In sozio-ökonomischen Systemen, wie z.B. bei Finanzmärkten, sozialen Netzwerken, Verkehrssystemen oder wissenschaftliche Kooperationsnetzwerken, sind die dem System zugrunde liegenden Akteure ständigen Entscheidungssituationen ausgesetzt, wobei der Erfolg und die Auswirkung der individuell gewählten Strategie von den Entscheidungen der anderen beteiligten Akteuren abhängt. Die (evolutionäre) Spieltheorie und die Physik komplexer Netzwerke stellen die beiden Grundsäulen der theoretischen Beschreibung und mathematischen Formulierung solcher Systeme dar. Im ersten Teil des Kurses werden die grundlegenden Konzepte der Spieltheorie thematisiert und die Studierenden erlernen, unter Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica) deren Anwendung auf diverse Spielklassen. Neben den endlichen Zweipersonen-Spielen und N-Personen-Spielen wird auch auf die evolutionäre Entwicklung ganzer Spieler-Populationen eingegangen.

## Key Question

How can one theoretically describe and quantify the time dependent evolution of the strategic behavior of an entire group of decision makers which are connected in an information/interaction network?



## Theoretical Models used to answer the question:

### (Evolutionary) Game Theory

[von Neumann 1928, Nash 1950, Smith 1972, Weibull 1997,  
Szabó/Fáth 07]

### Theory of complex networks

[Barabasi/Albert 02, Mendes/Dorogovtsev 02, Jackson 10]

# Was sind sozio-ökonomische Systeme?

Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das interdisziplinäre Forschungs-feld der *Physik sozio-ökonomischer Systeme*. In sozio-ökonomischen Systemen, wie z.B. bei Finanzmärkten, sozialen Netzwerken, Verkehrssystemen oder wissenschaftliche Kooperationsnetzwerken, sind die dem System zugrunde liegenden Akteure ständigen Entscheidungssituationen ausgesetzt, wobei der Erfolg und die Auswirkung der individuell gewählten Strategie von den Entscheidungen der anderen beteiligten Akteuren abhängt.

Die zeitliche Entwicklung der Entscheidungen der Akteure (Knoten des Netzwerks) wird zusätzlich durch die zugrunde liegende Struktur des sozio-ökonomischen Netzwerks der Akteursgruppen (Kanten des Netzwerks) bestimmt. Der zweite Teil des Kurses befasst sich deshalb mit der Theorie sozio-ökonomischer Netzwerke und deren mathematischen Beschreibung mittels graphentheoretischer Konzepte .



**Bruno Latour, 1980**  
**Die Akteur-Netzwerk-Theorie**  
**(ANT, actor-network theory)**  
**ist eine Theorie aus der**  
**sozialwissenschaftlichen**  
**Forschung.**



# Die Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT)

(Quelle Wikipedia: Akteur-Netzwerk-Theorie (englisch Actor-Network Theory))

Kerngedanke der Akteur-Netzwerk-Theorie ist, dass die Gesellschaft bzw. Welt netzwerkartig verfasst ist und sich aus verschiedenen Elementen zusammensetzt. Dieser Zusammenschluss unterschiedlicher Elemente zu mehr oder weniger kohärenten Akteuren wird von der Akteur-Netzwerk-Theorie als der zentrale Untersuchungsgegenstand der Soziologie gesehen. Sie identifiziert das Soziale mit Assoziationen, die sich zwischen verschiedenartigen (heterogenen) Entitäten entfalten können. ... Bruno Latour versteht im Kontext seiner Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT) auch **Dinge (Aktanten)** als handelnde Akteure, die zusammen mit menschlichen Akteuren in netzwerkartigen Handlungszusammenhängen agieren. Die ANT versucht nun zu erklären, wie materiell-semiotische Netzwerke zusammenkommen, um als Ganzes zu handeln (z. B. ist die Universität sowohl ein Netzwerk als auch ein Akteur, und für manche Zwecke agiert sie als eine einzige Entität). Als einen Teilaspekt hiervon betrachtet die ANT explizite Strategien, die dazu dienen, verschiedene Elemente zusammen in ein Netzwerk zu integrieren, damit sie nach außen hin als ein kohärentes Ganzes erscheinen.... Da Latour der Begriff "Akteur" für Nicht-Menschen unnatürlich erscheint, schlägt er den Begriff Aktant zur Bezeichnung der jeweils agierenden Entitäten vor... Er unterscheidet zwischen Akteur und Aktant dahingehend, dass Aktanten erst dann zu Akteuren werden, wenn sie in einer bestimmten Weise figuriert werden, d. h. in der soziologischen Erklärung eine benennbare Figur, Gestalt angenommen haben. ... Die Objekte, die das Soziale binden, tragen und erzeugen, werden in der ANT manchmal auch als Quasi-Objekte bezeichnet.... Vor allem das **Symmetrieprinzip** wird oft herangezogen, um die Besonderheit der ANT zu erklären. Demnach geht es ihr um eine symmetrische Behandlung menschlicher und nicht-menschlicher Akteure.

## On actor-network theory

### A few clarifications

p. [369]

### Von Bruno Latour

#### I.

Exploring the properties of actor-networks is the task that the Paris group of science and technology studies has set itself to tackle since the beginning of the 1980s (Callon/Law/Rip 1986). However, this theory has often been misunderstood and hence much abused. In this paper I would like to list some of the interesting properties of networks and explain some of the misunderstandings that have arisen. I will not concern myself here with the quantitative studies, especially the so-called “co-word analysis,” since they are themselves misunderstood because of the difficulty of exactly grasping the social theory and quaint ontology entailed by actor-network (but see Callon/Courtial/Lavergne 1989 a; b).

Three misunderstandings are due to common usages of the word network itself and the connotations they imply.

The first misunderstanding is that actor-network theory is a method, a technique, or a

social theory and quaint ontology entailed by actor-network (but see Callon/Cour-  
tial/Lavergne 1989 a; b).

Three misunderstandings are due to common usages of the word network itself and  
the connotations they imply.

The first mistake would be to give it a common *technical* meaning in the sense of a  
sewage, or train, or subway, or telephone “network”. Recent technologies often have  
the character of a network, that is, of exclusively related yet very distant elements with  
the circulation between nodes being made compulsory through a set of p. [369] various paths  
giving to a few nodes a strategic character. Nothing is more intensely connected, more  
distant, more compulsory, and more strategically organized than a computer network.  
Such is not however the basic metaphor of an actor-network. A technical network in  
the engineer’s sense is only one of the possible *final* and *stabilized* states of an actor-  
network. An actor-network may lack all the characteristics of a technical network — it  
may be local, it may have no compulsory paths, no strategically positioned nodes. Tom  
Hughes’s “networks of power” (1983), to give a historical example, are actor-networks  
at the beginning of the story, and only some of their stabilized elements end up being  
networks in the engineer’s sense, that is the electrical grid. Even at this later stage the  
engineering definition of networks is still a partial projection of an actor-network.

The second misunderstanding is easy to lift: the actor-network theory (hence ANT)  
has very little to do with the study of social networks. These studies, no matter how  
interesting, concern themselves with the *social* relations of *individual human* actors —  
their frequency, distribution, homogeneity, proximity. It was devised as a reaction to  
the often too global concepts like those of institutions, organizations, states and na-  
tions, adding to them a more realistic and smaller set of associations. Although ANT  
shares this distrust for such vague all-encompassing sociological terms, it also aims at  
describing the very nature of societies. But to do so it does not limit itself to human



will of course be included in the description, but they will have no privilege nor prominence (and very few of their quantitative tools have been deemed reusable).

Why then use the word network, since it is open to such misunderstandings? The use of the word comes from Diderot. The word "réseau" was used from the beginning by Diderot to describe matter and bodies in order to avoid the Cartesian divide between matter and spirit. Thus, the word has had a strong ontological component from the beginning (Anderson 1990). Put too simply, ANT is a change of metaphors to describe essences: instead of surfaces one gets filaments (or rhizomes in Deleuze's parlance Deleuze/Guattari 1980)). More precisely it is a change of topology. Instead of thinking in terms of surfaces — two dimensions — or spheres — three dimensions — one is asked to think in terms of nodes that have *as many dimensions* as they have connections. As a first approximation, ANT claims that modern societies cannot be described without recognizing them as having a fibrous, thread-like, wiry, stringy, ropy, capillary character that is never captured by the notions of levels, layers, territories, spheres, categories, structures, systems. It aims at explaining the *effects* accounted for by those traditional words without having to buy the ontology, topology and politics that go with them. ANT has been developed by students of science and technology, and its claim is that it is utterly impossible to understand what holds society together without reinjecting in its fabric the facts manufactured by natural and social sciences and the artefacts designed by engineers. As a second approximation, ANT is thus the claim that the only way to achieve this reinjection of things into our understanding of social fabrics is through a network-like ontology and social theory.

# Wie geht man in der Physik vor?

## Wie beschreibt man in der Physik das Verhalten der untersuchten Dinge?

Kleiner Einschub (nicht prüfungsrelevant):

Nehmen wir z.B. das Elektron als das Ding (der Aktant (Akteur, Knoten, Spieler)) des zu untersuchenden Systems.

Mit welcher Theorie beschreiben wir das Verhalten dieses Elektrons?

des Elektrons und seines zugehörigen Antiteilchens als Zustand eines Diracspinors zusammen:

$$\psi_A = \begin{pmatrix} e_L \\ e_R \\ \tilde{e}_L \\ \tilde{e}_R \end{pmatrix} \hat{=} \begin{pmatrix} \text{Linkshändiges Elektron} \\ \text{Rechtshändiges Elektron} \\ \text{Linkshändiges Positron} \\ \text{Rechtshändiges Positron} \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Man kann dann mit ein und derselben Gleichung sowohl das Teilchen als auch das Antiteilchen beschreiben. Die zutreffende Gleichung nennt man Diracgleichung; sie besitzt die folgende Form:<sup>6</sup>

$$i \gamma^\mu{}_A{}^B \partial_\mu \psi_B - \frac{m_0 c}{\hbar} \psi_A = 0 \quad (1.2)$$

$i = \sqrt{-1}$  : Imaginäre Einheit

$c$  : Lichtgeschwindigkeit

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$  : Plank'sches Wirkungsquantum

$m_0$  : Ruhemasse des Fermions

$\mu$  : Raumzeitindex 0...3

$A, B$  : Diracindex 1..4

$\partial_\mu = \frac{\partial}{\partial x^\mu}$  : Partielle Ableitung

$\psi_A$  : Fermionischer Diracspinor

$\gamma^\mu{}_A{}^B$  : Dirac Matrizen

# Wie geht man in der Physik vor?

Im folgenden wird das Hamiltonsche Prinzip der kleinsten Wirkung anhand des Problems der Bewegung eines massiven spinoriellen Zustandsfeldes  $\psi_A$  näher erläutert:

Zunächst steht man vor der Aufgabe der Konstruktion der Lagrangedichte  $\mathcal{L} = \mathcal{L}(\psi_A, \bar{\psi}_A, \psi_{A|\mu}, \bar{\psi}_{A|\mu})$ , wobei die vorher dargestellten Bedingungen die Freiheit der Konstruktion einschränken. Eine Möglichkeit, die einerseits die gestellten Forderungen gewährleistet und andererseits möglichst einfach ist, stellt die folgende Version der Lagrangedichte dar

$$\mathcal{L} = \frac{i}{2} \bar{\psi}^A \gamma^\mu_{A^B} \psi_{B|\mu} - \frac{i}{2} \bar{\psi}_{|\mu}^A \gamma^\mu_{A^B} \psi_B - \frac{m_0 c}{\hbar} \bar{\psi}^A \psi_A \quad . \quad (1.4)$$

Ist dies der Fall, so kann man zeigen, dass die Euler-Lagrangegleichungen

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \psi_{A|\mu}} \right)_{|\mu} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \psi_A} &= 0 \\ \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \bar{\psi}_{A|\mu}} \right)_{|\mu} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \bar{\psi}_A} &= 0 \end{aligned} \quad (1.7)$$

erfüllt sein müssen; sie stellen dann die Bewegungsgleichungen des betrachteten Zustandsspinors bzw. des Teilchens dar. Das wirkliche Verhal-

Wie gelangt man zur Bewegungsgleichung des Systems? Mittels der Hamilton/Lagrange Theorie kann man die Bewegungsgleichung des Systems erhalten. Man benötigt jedoch die Lagrange Funktion  $L$ .

Das Hamilton'sche Prinzip der kleinsten Wirkung besagt nun das folgende: Betrachten wir das Verhalten des spinoriellen Feldes  $\psi_A = \psi_A(x^\mu) = \psi_A(ct, x, y, z)$  im Raum  $(x, y, z)$  im Laufe der Zeit  $t$ , so wird es stets den Weg des kleinsten Widerstandes wählen. Wir parametrisieren die unterschiedlichen Möglichkeiten des Verhaltens des Spinors mit dem Scharparameter  $\lambda$  ( $\psi_A = \psi_A(x^\mu, \lambda)$ ) und definieren eine Wirkungsfunktion  $W$ :

$$W(\lambda, t) := \int_{\text{Raumzeit-Volumen}} \mathcal{L} d^4x = \int_{t_0=0}^t \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{L} dt dx dy dz \quad (1.5)$$

Die Variation der Wirkungsfunktion  $\delta W$  bzgl. des Scharparameters  $\lambda$  muss aufgrund des Prinzips der kleinsten Wirkung bei der 'wahren', d.h. bei der physikalisch realisierten Bahn, verschwinden

$$\delta W = \int \delta \mathcal{L} d^4x = 0 \quad . \quad (1.6)$$

# Wie geht man in der Physik vor?

Die Eichtheorie der elementaren Wechselwirkungen ist eine umfassende Theorie der Physik. Bei der Konstruktion der Lagrangedichte spielen Symmetrieforderungen eine zentrale Rolle? Das Prinzip der Eichtheorie wollen wir uns am Beispiel der stärksten aller bekannter Wechselwirkungen, der Quantenchromodynamik (QCD) verdeutlichen. Die Quarks (Akteure, Spieler) haben drei mögliche Strategien (r,g,b).

An die Lagrangedichte  $\mathcal{L}$  werden nun die folgenden Bedingungen gestellt:

- Realwertigkeit von  $\mathcal{L}$

Die Lagrangedichte  $\mathcal{L}$  muss als ganzes real sein, da bei dem später näher beschriebenen Variationsprinzip des Wirkungsfunktionals  $W$

$$\delta W := \int \delta \mathcal{L} d^4x = 0 \quad (1.3)$$

ein Extremum gefordert wird; bei komplexen Größen wäre jedoch kein Extremwert definiert.

- $\mathcal{L}$  ist ein Skalar bezüglich Lorentztransformation

Da die Physik unabhängig vom gewählten Koordinatensystem (Inertialsystem) sein soll, muss  $\mathcal{L}$  invariant bzgl. globaler Lorentztransformationen sein (näheres siehe Kapitel 2).

- $\mathcal{L}$  ist ein Skalar bezüglich innerer Gruppen

Als 'innere Gruppen' bezeichne ich im folgenden Gruppen basierend auf inneren Freiheitsgraden der Teilchen. Der innere Freiheitsgrad eines Diraceteilchen beschrieben durch den Diracspinor  $\psi_A$  ist der Teilchen-Antiteilchen- Händigkeitszustand, der durch den Index  $A$  am Spinor

Die bekannten Wechselwirkungen werden nun durch so genannte Eichtheorien in die Theorie eingebettet. Im folgenden wird das eichtheoretische Prinzip anhand der stärksten Kraft (der QCD) dargestellt.

Wie schon erwähnt, besitzen die Quarks eine uns nicht zugängliche Eigenschaft, die durch den zusätzlichen Quarkfreiheitsgrad  $a = \text{rot, gelb, blau}$  gekennzeichnet wird. Man beschreibt deshalb die Quarks durch einen dreikomponentigen Zustandsspinor  $\psi_a$ . Da man sechs unterschiedliche Quarkteilchen (geordnet in drei Familien) kennt, fügt man einen weiteren Index dem Quarkspinor hinzu; diesen bezeichnet man als flavor Index  $f = 1..6$ :

$$\psi_a^f = \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}^f \hat{=} \begin{pmatrix} \text{Rotes Quark} \\ \text{Gelbes Quark} \\ \text{Blaues Quark} \end{pmatrix}^f \quad \text{Flavor: } f = 1..6$$
$$\psi_a^1 = \begin{pmatrix} u_r \\ u_g \\ u_b \end{pmatrix}, \quad \psi_a^2 = \begin{pmatrix} d_r \\ d_g \\ d_b \end{pmatrix}, \quad \psi_a^3 = \begin{pmatrix} s_r \\ s_g \\ s_b \end{pmatrix}, \quad \dots \quad \psi_a^6 = \begin{pmatrix} t_r \\ t_g \\ t_b \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

# Wie geht man in der Physik vor?

In der Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT) agieren die Akteure, zusammen mit den nicht-menschlichen Aktanten in netzwerkartigen Handlungszusammenhängen. In der QCD stellen die Quarks die agierenden Entitäten dar und mittels der gluonischen Austauscheteilchen wechselwirken diese untereinander und bilden (ähnlich wie in der ANT) netzwerkartige Handlungszusammenhänge (starke Wechselwirkungen). Der quanten Zustandsspinor der Quarks beschreibt die möglichen Handlungen des Aktanten (rot,gelb,blau), wobei diese erst real in Erscheinung treten, wenn man einen Messprozess am Aktanten durchführt. In der Eichtheorie erhält man die elementaren Wechselwirkungen (z.B. in der QCD die Gluonen) durch die Forderung einer Invarianz der Lagrangedichte unter lokalen Symmetrie-Transformationen (QCD: Farbtransformationen).

Messprozeß durchführen, so müsste sich dieser definitiv auswählen in welchem Quarkzustand er vorliegt; entweder müsste er rot, gelb oder blau sein. Einen solchen Meßprozeß kann man jedoch nur durchführen wenn man eine Wechselwirkung benutzt, die zwischen den unterschiedlichen Farbzuständen der Quarks unterscheiden kann; d.h. allein durch eine farbsensitive Wechselwirkung wird die Farbunterscheidung der Quarks sinnvoll. Würde es eine solche Wechselwirkung nicht geben, dann wären die drei Farbzustände der Quarks nicht unterscheidbar. Eine Transformation  $U_a^b(x^\mu)$  von einem Farbzustand  $a$  in einem anderen  $b$  an einem lokalisierten Raumzeit-Punkt  $x^\mu$  würde dann den Quarkzustandsspinor  $\psi_a^f$  nicht verändern. Falls es jedoch eine farbsensitive Wechselwirkung gibt, dann sollte sich der transformierte Spinor  $\psi_a^{f|}$  im allgemeinen von dem ursprünglichen unterscheiden. Eine solche Farbtransformation wird mathematisch wie folgt formuliert:

$$\psi_a^{f|} = U_a^b(x^\mu)\psi_b^f, \text{ mit } U_a^b(x^\mu) = e^{i\lambda_i(x^\mu)\tau^i_a^b} \quad (1.9)$$

Die Transformationsgruppe ist hier die  $SU(3)_{(c)}$ . Die  $3 \times 3$ -Matrizen  $\tau^i_a^b$ ,  $i = 1..8$  sind die Generatoren der Gruppe und werden als Gell-Mann-Matrizen bezeichnet,  $\lambda_i(x^\mu)$  ist der Gruppenparameter. Die Lagrangedichte eines freien (nicht wechselwirkenden) Quarkspinors besitzt wieder die folgende Form

$$\mathcal{L} = \frac{i}{2} \bar{\psi}_f^a \gamma^\mu \psi_{a|\mu}^f - \frac{i}{2} \bar{\psi}_{f|\mu}^a \gamma^\mu \psi_a^f - \frac{m_f c}{\hbar} \bar{\psi}_f^a \psi_a^f \quad , \quad (1.10)$$

wobei der Übersichtlichkeit halber der Diracindex  $A = 1..4$  unterdrückt wurde ( $\psi_f^a \hat{=} \psi_{Aa}^f$ ,  $\gamma^\mu = \gamma_A^{\mu B}$ ).

Die Lagrangedichte  $\mathcal{L}^|$  im farbtransformierten System soll im Vergleich zu dem untransformierten System  $\mathcal{L}$  die gleichen physikalischen Grundgesetze beschreiben; die physikalischen Prozesse dürfen nicht von einer speziell gewählten Eichung im Farbraum abhängen. Die Eichforderung lautet demnach, dass die Lagrangedichte  $\mathcal{L}$  invariant unter lokalen  $SU(3)_{(c)}$  Farbtransformationen sein muß:

$$\mathcal{L}^|(\psi_a^{f|}) = \mathcal{L}(\psi_a^f) \quad (1.11)$$

Man kann zeigen, dass diese Forderung im allgemeinen nur dann erfüllt ist, wenn man die partiellen Ableitungen  ${}_{|\mu} = \partial_\mu = \partial/\partial x_\mu$  durch kovariante Ableitungen  $D_{\mu a}^b$  ersetzt

# Wie geht man in der Physik vor?

Damit die Lagrangedichte invariant unter lokalen Farbtransformationen ist, benötigt man zusätzliche Felder/Teilchen (Gluonen) die gewissen Transformationsregeln folgen. Das zeitliche Verhalten der Akteure (Diracgleichung bei den Quarks) und des Interaktions-Netzwerkes (inhomogene Yang-Mills Gleichung) folgt aus den Euler-Lagrange bzw. Hamilton Gleichungen.

wobei die  $G_{\mu a}^b = G_{\mu i} \tau_a^i{}^b$  die Eichfelder der  $SU(3)_{(c)}$  darstellen,  $1_a^b$  die Einheitsmatrix im Farbraum und  $g_3$  die Kopplungskonstante der starken Wechselwirkung ist. Um die Invarianz der Lagrangedichte zu gewährleisten transformieren sich die Eichfelder wie folgt unter den Farbtransformationen:

$$(G_{\mu a}^b)' = U_a^c G_{\mu c}^d (U^{-1})_d^b + \frac{i}{g_3} U_a^c U_c^b U_{\mu}^d \quad (1.13)$$

Nimmt man die inneren Farbfreiheitsgrade der Quarks also ernst, so ist die Eichforderung nur zu bewerkstelligen, wenn man zusätzliche Eichfelder der Theorie hinzufügt. Durch Kommutatorbildung der kovarianten Ableitungen gelangt man zu den Eichfeldstärken  $F_{\mu\nu a}^b$

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{\mu\nu} &= F_{\mu\nu a}^b = \frac{i}{g_3} [D_{\mu a}^c, D_{\nu c}^b] = F_{\mu\nu i} \tau_a^i{}^b \quad (1.14) \\ F_{\mu\nu i} &= G_{\nu i|\mu} G_{\mu i|\nu} - g_3 f^{jk}{}_i G_{\mu j} G_{\nu k} \quad , \end{aligned}$$

wobei die  $f^{jk}{}_i$  die Strukturkonstanten der  $SU(3)_{(c)}$  Farbgruppe sind:

$$[\tau_a^k{}^c, \tau_c^l{}^b] = 2i f^{kl}{}_j \tau_a^j{}^b \quad (1.15)$$

Man schließt das System der Eichtheorie ab, indem man in der freien Lagrangedichte die partiellen Ableitungen  $\partial_\mu$  durch kovariante  $D_\mu$  ersetzt und die kinetische Energie der Eichfelder der Lagrangedichte hinzufügt. Die gesamte Lagrangedichte lautet dann

$$\mathcal{L} = \frac{i}{2} \bar{\psi}_f^a \gamma^\mu D_{\mu a}^b \psi_b^f - \frac{i}{2} \overline{(D_{\mu a}^b \psi_b^f)} \gamma^\mu \psi_a^f - \frac{1}{16\pi} F_{\mu\nu i} F^{\mu\nu i} - \frac{m_f c}{\hbar} \bar{\psi}_f^a \psi_a^f \quad .$$

Die Bewegungsgleichungen der Quarks ergeben sich aus den Euler - Lagrangegleichungen hinsichtlich der Quarkspinoren:

$$\delta_{\psi_a^f} \int \mathcal{L} d^4x = 0 \quad \Rightarrow \quad \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \psi_a^f |_{\mu}} \right)_{|\mu} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \psi_a^f} = 0 \quad (1.16)$$

Dies ergibt die Diracgleichung massiver Quarks, die durch den Austausch gluonischer Eichfelder wechselwirken

$$i \gamma^\mu D_{\mu a}^b \psi_b^f - m_f \psi_a^f = 0 \quad . \quad (1.17)$$

Die Bewegung der Eichfelder selbst ergibt sich durch die Euler - Lagrangegleichungen hinsichtlich der Eichfelder  $G_{\mu i}$

$$\delta_{G_{\mu i}} \int \mathcal{L} d^4x = 0 \quad \Rightarrow \quad \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial G_{\mu i|\nu}} \right)_{|\nu} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial G_{\mu i}} = 0 \quad ; \quad (1.18)$$

sie hat die Struktur einer inhomogenen Yang-Mills-Gleichung<sup>9</sup>

$$F^{\mu\nu i} |_{\mu} + g_3 f^{ijk} F_j^{\mu\nu} G_{\mu k} = 4\pi j^{\nu i} \quad , \quad (1.19)$$

wobei die  $j^{\nu i} = g_3 \bar{\psi}_f^a \gamma^\nu \tau^i \psi_a^f$  die 8 Farbströme der Theorie repräsentieren. Die physikalischen Eichfelder, die die Gluonen in der QCD darstellen setzen sich aus den  $G_{\mu i}$  z.B. wie folgt zusammen

$$G_{\mu r\tilde{g}} = \frac{1}{2} (G_{\mu 1} - iG_{\mu 2}) \quad \text{Gluon mit rot und antigelber Farbe} \quad . \quad (1.20)$$

# Wie geht man in der Physik vor?

Am Beispiel der QCD sahen wir also wie die mathematische Konstruktion eines physikalischen Modells einer Wechselwirkung zwischen Elementarteilchen durch ein eichtheoretisches Prinzip funktioniert; auf ähnliche Weise konstruiert man auch die anderen bekannten Wechselwirkungen<sup>10</sup>. Die elektromagnetische Wechselwirkung ist eine abelsche Eichtheorie, ihre Symmetriegruppe ist die  $U(1)$ , wobei ihr einziges Austauscheteilchen Photon genannt wird. Die Symmetriegruppe der schwachen Wechselwirkung ist die  $SU(2)$ , sie wirkt auf die Isospin-Freiheitsgrade der Teilchen. Sie besitzt drei massive Eichbosonen<sup>11</sup>, das  $W^{+-}$ ,  $W^{-}$  und  $Z^0$ -Boson.

Die gesamte eichtheoretische Formulierung hat den erkenntnistheoretischen Vorteil, dass sie alle existierenden Kräfte der Welt auf ein universelles Grundprinzip zurückführt:

Erste Ansätze einer Konstruktion der Akteur-Netzwerk-Theorie auf der Basis eines eichtheoretischen Konzeptes wird am Ende des Kurses im Teil 3 (Evolutionäre Quantenspieltheorie auf gekrümmten Strategie-Mannigfaltigkeiten) vorgestellt.

# DPG Spring Meeting Berlin, March 25 - 30, 2012

## SCOPE

- Financial Markets and Risk Management
- Economic Models and Evolutionary Game Theory
- Traffic Dynamics, Urban and Regional Systems
- Social Systems, Opinion and Group Dynamics
- Networks: From Topology to Dynamics

## KEYNOTE TALK

**H. Eugene Stanley**  
(Boston, USA)

“Interdependent Networks and Switching Phenomena”

## YOUNG SCIENTIST AWARD FOR SOCIO- AND ECONOPHYSICS\*

Keynote Speaker: **Stefan Thurner** (Wien, A)  
“The Role of Agent Based Models in Understanding Human Societies”

\* supported by d-fine



Registration via <http://berlin12.dpg-tagungen.de/index.html?lang=en>  
Conference Languages: English and German

Deadline: December 1<sup>st</sup> 2011

Young Scientist Award: Call for nominations and applications at <http://www.dpg-physik.de/dpg/gliederung/fv/soe/YSA/call.html>

Deadline: December 1<sup>st</sup> 2011

## CONTACT

Prof. Dr. Dirk Helbing, Dr. Jörg Reichardt and Dr. Tobias Preis,  
Chairmen of the Physics of Socio-Economic Systems Division ( $\Phi$ ·SOE), <http://www.phi-soe.de/>

## TUTORIAL “Scientific Writing”\*\*

Hernan Rozenfeld (APS, USA)  
Tim Smith (IOP Publishing, UK)

## INVITED TALKS

**Thilo Gross** (Bristol, UK) “Adaptive Networks of Opinion Formation in Humans and Animals”

**Marc Hütt** (Bremen) “Common Design Principles of Metabolic Networks and Industrial Production”

## FOCUS SESSION: BIG DATA\*\*

**Rosario Mantegna** (Palermo, IT)  
“Econophysics and Social Research with Large Sets of Data”

**Philip Treleaven** (London, UK)  
“Experimental Computational Finance & Big Data Environment”

**Tiziana Di Matteo** (London, UK)  
“Embedding High Dimensional Data on Networks”

**Michael Batty** (London, UK)  
“Cities and Complexity”

## FOCUS SESSION: MODELS OF WAR, CONFLICT AND REVOLUTIONS

**Neil Johnson** (Miami, USA)  
“Escalation, Timing and Severity of Insurgent and Terrorist Events: Robust Patterns and a Generic Model”

**Aaron Clauset** (Boulder, USA)  
“Fatality Dynamics and the Limits of Civil and Interstate Wars”

**Ravinder Bhavnani** (Geneva, CH)  
“Group Segregation and Urban Violence”

\*\*Sessions are organized with the JDPG

## Tutorial

SOE 1.1 Sun 16:00–18:00 HSZ 04 **Collective Dynamics of Firms: A Statistical Physics Approach** — ●FRANK SCHWEITZER

## Focus Session: Swarm Intelligence

SOE 2.1 Mon 10:15–10:45 GÖR 226 **Social Media and Attention** — ●BERNARDO HUBERMAN  
SOE 2.2 Mon 10:45–11:15 GÖR 226 **Mobilizing society with a red balloon** — ●RILEY CRANE  
SOE 2.3 Mon 11:15–11:45 GÖR 226 **Collective behaviour and swarm intelligence** — ●JENS KRAUSE

## Focus Session: GPU-Computing (with DY)

SOE 5.1 Mon 14:00–14:30 GÖR 226 **Applications of GPU-Computing in Statistical Physics** — ●PETER VIRNAU  
SOE 5.2 Mon 14:30–15:00 GÖR 226 **Accelerating Monte Carlo Simulations in Statistical Physics with GPU's** — ●DAVID LANDAU

## Focus Session: Experimental Methods

SOE 10.1 Tue 13:30–14:00 GÖR 226 **Complex Economic Systems in the Laboratory** — ●CARS HOMMES  
SOE 10.2 Tue 14:00–14:30 GÖR 226 **Multiplicative Cascades: How to model trip within cities** — ●MARTA C. GONZÁLEZ  
SOE 10.3 Tue 14:30–15:00 GÖR 226 **Human behavior on networks: lessons and perspectives from game theory** — ●ANGEL SÁNCHEZ  
SOE 10.4 Tue 15:00–15:30 GÖR 226 **Measuring Happiness** — ●PETER S. DODDS

## Young Scientist Award for Socio- and Econophysics

SOE 8.1 Mon 17:00–17:45 HSZ 02 **Dragon-kings versus black swans: diagnostics and forecasts for the on-going world financial crisis** — ●DIDIER SORNETTE  
SOE 8.1 Mon 18:00–18:30 HSZ 02 **Community structure in networks and statistical physics of social dynamics** — ●SANTO FORTUNATO

## Joint Symposium on Foundations and Perspectives of Climate Engineering (with AKE, UP)

See SYCE for the full program of the symposium.

SYCE 1.1 Tue 10:30–11:00 HSZ 01 **Oceanic carbon-dioxide removal options: Potential impacts and side effects** — ●ANDREAS OSCHLIES

SYCE 1.2 Tue 11:00–11:30 HSZ 01 **Climate Engineering through injection of aerosol particles into the atmosphere: physical insights into the possibilities and risks** — ●MARK LAWRENCE

SYCE 1.3 Tue 11:30–12:00 HSZ 01 **Geoengineering - will it change the climate game?** — ●TIMO GOESCHL  
SYCE 1.4 Tue 12:00–12:30 HSZ 01 **The gamble with the climate - an experiment** — ●MANFRED MILINSKI

## Plenary Talks related to SOE

PV X Thu 8:30–9:15 H1 **Complex Networks: From Statistical Physics to the Cell** — ●ALBERT LASZLO BARABASI

## Tutorial

SOE 1.1 Sun 16:00–18:00 H10 **Time Series Analysis in Sociophysics and Econophysics** — ●JOHANNES J. SCHNEIDER, ●TOBIAS PREIS

## Invited Talks

SOE 2.1 Mon 9:30–10:15 H44 **Don't panic! - The physics of pedestrian dynamics and evacuation processes** — ●ANDREAS SCHAIDSCHNEIDER

SOE 7.1 Tue 9:30–10:00 H44 **Humans playing spatial games** — ●ARNE TRAUlsen

SOE 12.1 Wed 9:30–10:15 H44 **The hidden complexity of open source software** — ●FRANK SCHWEITZER

SOE 17.1 Thu 9:30–10:15 H44 **Wave localization in complex networks** — ●JAN W. KANTELHARDT

SOE 22.1 Fri 9:30–10:15 H44 **Hypergraphs and social systems** — ●GUIDO CALDARELLI

## Focus Session: Science of Science

SOE 4.1 Mon 13:30–14:00 H44 **Following the actors: individual and collective behavior in epistemic landscapes** — ●ANDREA SCHARNHORST

SOE 4.2 Mon 14:00–14:30 H44 **Tracking science in real-time from large-scale usage data.** — ●JOHAN BOLLEN

SOE 4.3 Mon 14:45–15:15 H44 **Mapping change in science** — ●MARTIN ROSVALL, CARL BERGSTROM

SOE 4.4 Mon 15:15–15:45 H44 **Statistical physics of citation behavior** — ●SANTO FORTUNATO



# Network Science

## SOE 16: Plenary Talk Barabasi

Time: Thursday 8:30–9:15

Location: H1

**Plenary Talk** SOE 16.1 Thu 8:30 H1  
**Complex Networks: From Statistical Physics to the Cell** — ●ALBERT-LASZLO BARABASI — Northeastern University/Harvard Medical School

Highly interconnected networks with amazingly complex structure describe systems as diverse as the World Wide Web, our cells, social systems or the economy. In the past decade we learned that most of these networks are the result of self-organizing processes governed by simple but generic laws, resulting in architectural features that makes them much more similar to each other than one would have expected

by chance. I will discuss the statistical mechanics of our interconnected world and its implications to network robustness and spreading processes. Much of these advances were inspired by maps of real networks, informing the modeling and analytical efforts. Yet, in the past few years the richness of data has improved considerably, allowing us to look deeper into the role of the nodes and links that shape the network topology and function. My goal is to move beyond the topology and to potentially review a few recent results, from the role of distance in shaping our social networks to controllability in biological and technological networks.

**Evolutionary Quantum Game Theory** — ●MATTHIAS HANAUSKE<sup>1</sup> and JENNIFER KUNZ<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institute of Information Systems — <sup>2</sup>Chair of Controlling and Auditing, Goethe-University, Frankfurt/M.

Quantum game theory is a mathematical and conceptual amplification of classical game theory. The space of all conceivable decision paths is extended from the purely rational, measurable space in the Hilbertspace of complex numbers. Trough the concept of a potential entanglement of the imaginary quantum strategy parts, it is possible to include corporate decision path, caused by cultural or moral standards. If this strategy entanglement is large enough, then, additional Nash-equilibria can occur and previously present dominant strategies could become nonexistent. The main equation of evolutionary game theory, the Replicator equation, gets a more complex structure and other evolutionary stable strategies can appear. In addition to a detailed introduction in evolutionary quantum game theory several examples of applications will be presented during this talk. The current financial crisis will be discussed using a quantum extension of an anti-coordination game, the different publication patterns of scientist will be studied and the evolution of social norms in firms will be explained using a quantum coordination game.

(<http://evolution.wiwi.uni-frankfurt.de/Lyon2009/>, 0904.2113, arXiv: physics/0612234)

ArXiv:

## Ein neues interdisziplinäres Fachgebiet innerhalb der Physik

### SOE 9: Social Systems, Opinion and Group Dynamics I

Time: Friday 12:30–13:30

Location: H44

SOE 9.1 Tue 12:30 H44  
**Imulating the Foundations of Society - A Multi-Theoretical Approach** — ●DIRK HELBIG and ANSSON — ETH Zurich, Swiss Federal Institute of Technology

In this paper, we propose an agent-based model with actions that can be analytically treated within a evolutionary-theoretical framework. In order to understand social interactions, we propose an agent-based model with essential to identify the circumstances under which individuals start cooperating or developing shared behavior and culture. In this connection, it is important to study social mechanisms such as repeated interactions, group formation, costly punishment and group pressure, and how to transform social dilemmas into interactive situations of the social system. Furthermore, it is interesting to study social inequality, the protection of private property, or globalization play for the resulting "character" of a social system (or not). It is well-known that social cooperation breaks down, giving rise to poverty or conflict. The dynamics and the outbreak of civil wars or revolutions are examples. The more surprising is it that one can develop

an integrated, analytical game-theoretical description of phenomena as different as the outbreak and breakdown of cooperation, the formation of norms or subcultures, and the occurrence of social polarization.

SOE 9.2 Tue 13:00 H44  
**Agent-based modelling of nest-site choice by honeybee swarms** — ●TOBIAS GALLA — Theoretical Physics, School of Physics and Astronomy, University of Manchester, Manchester M13 9PL, UK

In a recent paper List, Elsholtz and Seeley [Phil. Trans. Roy. Soc. B 364 (2009) 755] devised an agent-based model of the nest-site choice dynamics in swarms of honeybees. Using tools from statistical physics we here present a simplified version of their model, and confirm analytically that both interdependence and independence are needed for the bees to reach a consensus on the best nest site. Based on our analytical theory it is possible to characterize the co-ordination outcome exactly on the deterministic level, and to a good approximation if stochastic effects are taken into account. The model applies more generally to decision making processes in humans, and can be used to address questions of consensus formation in committees or groups.

Reference: Tobias Galla, Journal of Theoretical Biology Volume 262 (2010) 186-196

### SOE 4: Focus Session: Science of Science

Time: Monday 13:30–15:45

Location: H44

SOE 4.1 Mon 13:30 H44  
**Following the actors: individual and collective behavior in epistemic landscapes** — ●ANDREA SCHARNHORST — The Virtual Knowledge Studio for the Humanities and Social Sciences, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW), Cruijsswag 31, 1019AT Amsterdam, The Netherlands

Models of science can take very different forms from conceptual models based on historical and ethnographic observations to mathematical descriptions of measurable phenomena. In these models, scholars and science itself become 'research objects'. [1]

All decades have seen their 'models of science'. At the interface between mathematics, physics and a "science of science" we see traces of stochastic models, epidemic models, system dynamics models and complex network models applied to scholarly activity.

Referring to more recent encounters between information science and complexity research this paper present a specific model of (re-)searchers in "epistemic landscapes" based on insights from evolutionary theories.

Departing from this specific model we show how models can be linked to data gathering, to qualitative observations, and to new ways of visualization beyond the narrow cycle of validation and prediction.

[1] Boerner, Katy, and Andrea Scharnhorst. 2009. Editorial: Visual conceptualizations and models of science. Journal of Informetrics: 'Science of Science: Conceptualizations and Models of Science' (special issue) 3 (3): 161-172.

SOE 4.2 Mon 14:00 H44  
**Tracking science in real-time from large-scale usage data.** — ●JOHAN BOLLEN — Indiana University, Bloomington, USA

Science is of significant importance to our society, but we understand very little of the processes that lead to scientific innovation. In this presentation I will provide an overview of our work on large-scale usage data as an early indicator of scientific activity. The MESUR project has in the past 2 years collected a large-scale collection of the usage data recorded by some of the world's most significant publishers,

aggregators and institutional consortia. The resulting data set has been analyzed to reveal the structural properties of scientific activity in real-time. I will highlight some of our recent work on producing detailed maps of science that reveal how scientists navigate between online scholarly resources. The results indicate that it may be possible to detect or predict the emergence of innovation from temporal changes in the structure of scientific activity. This work underpins efforts to arrive at a more accurate, pro-active evaluation of scientific impact.

15 min. break

SOE 4.3 Mon 14:45 H44  
**Mapping change in science** — ●MARTIN ROSVALL<sup>1</sup> and CARL BERGSTROM<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Umeå University, Sweden — <sup>2</sup>University of Washington, USA

Change is a fundamental ingredient of interaction patterns in biology, technology, the economy, and science itself: Interactions within and between organisms change; transportation patterns by air, land, and sea all change; the global financial flow changes; and the frontiers of scientific research change. Networks and clustering methods have become important tools to comprehend instances of these large-scale structures, but without methods to distinguish between real trends and noisy data, these approaches are not useful for studying how networks change. Only if we can assign significance to the partitioning of single networks can we distinguish meaningful structural changes from random fluctuations. Here we show that bootstrap resampling accompanied by significance clustering provides a solution to this problem. To connect changing structures with the changing function of networks, we highlight and summarize the significant structural changes with alluvial diagrams and realize de Solla Price's vision of mapping change in science: studying the citation pattern between about 7000 scientific journals over the past decade, we find that neuroscience has transformed from an interdisciplinary specialty to a mature and stand-alone discipline.

### Other Talks related to

Thu 8:30– 9:15 H10

al

Sun 16:00–18:00 H10

**Time Series Analysis in Sociophysics and Econophysics** — ●JOHANNES J. SCHNEIDER, ●TOBIAS PREIS

### Invited Talks

SOE 2.1 Mon 9:30–10:15 H44  
SOE 7.1 Tue 9:30–10:00 H44  
SOE 12.1 Wed 9:30–10:15 H44  
SOE 17.1 Thu 9:30–10:15 H44  
SOE 22.1 Fri 9:30–10:15 H44

**Don't panic! - The physics of pedestrian dynamics and evacuation processes** — ●ANDREAS SCHADSCHNEIDER  
**Humans playing spatial games** — ●ARNE TRAUlsen  
**The hidden complexity of open source software** — ●FRANK SCHWEITZER  
**Wave localization in complex networks** — ●JAN W. KANTELHARDT  
**Hypergraphs and social systems** — ●GUIDO CALDARELLI

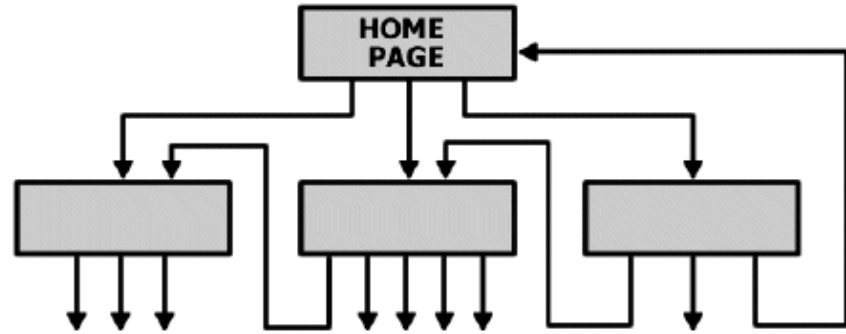
### Focus Session: Science of Science

30–14:00 H44 **Following the actors: individual and collective behavior in epistemic landscapes** — ●ANDREA SCHARNHORST  
00–14:30 H44 **Tracking science in real-time from large-scale usage data.** — ●JOHAN BOLLEN  
45–15:15 H44 **Mapping change in science** — ●MARTIN ROSVALL, CARL BERGSTROM  
15–15:45 H44 **Statistical physics of citation behavior** — ●SANTO FORTUNATO

### Award for Socio- and Econophysics

00–16:45 H44 **Tying the double knot: Robustness of interconnected networks** — ●SHLOMO HAVLIN  
00–17:45 H44 **Unveiling the patterns of human mobility and global disease dynamics** — ●DIRK BROCKMANN

# WORLD-WIDE WEB



# INTERNET

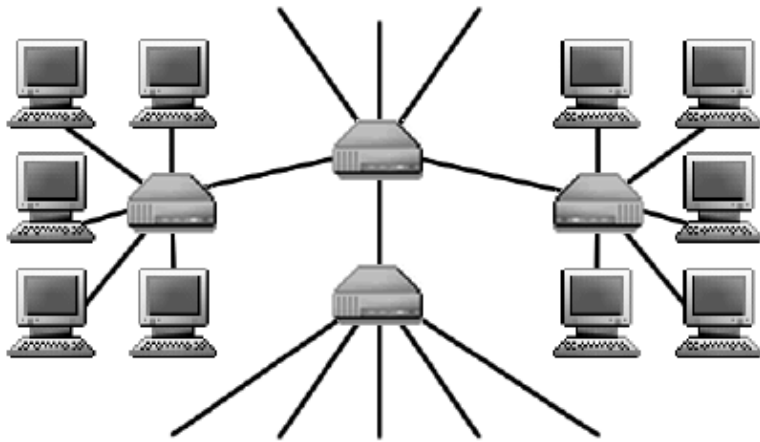
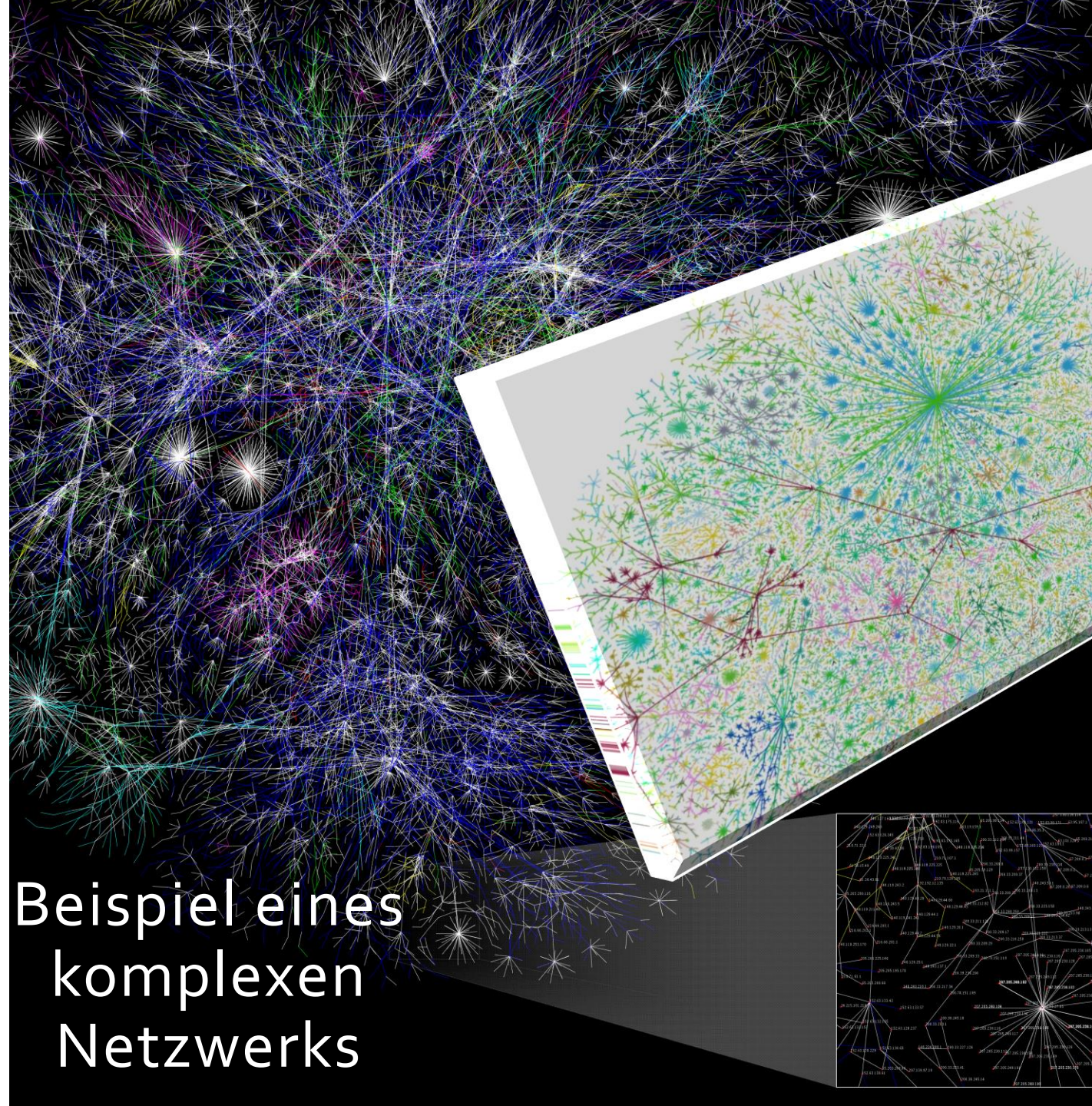


FIG. 1. Network structure of the World-Wide Web and the Internet. Upper panel: the nodes of the World-Wide Web are web documents, connected with directed hyperlinks (URLs). Lower panel: on the Internet the nodes are the routers and computers, the edges are the wires and cables that physically connect them. Figure courtesy of István Albert.

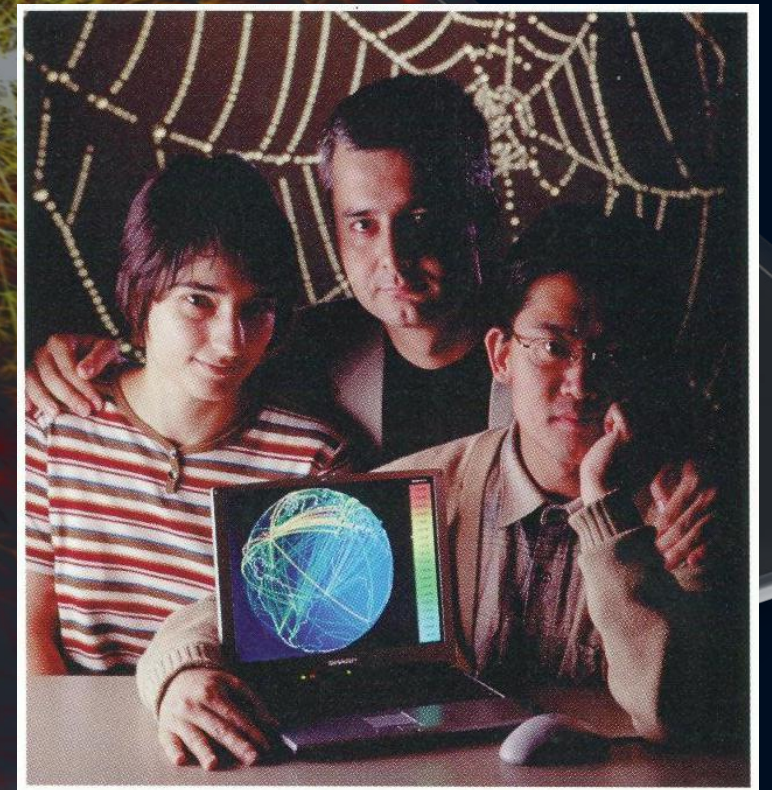
Beispiel eines  
komplexen  
Netzwerks



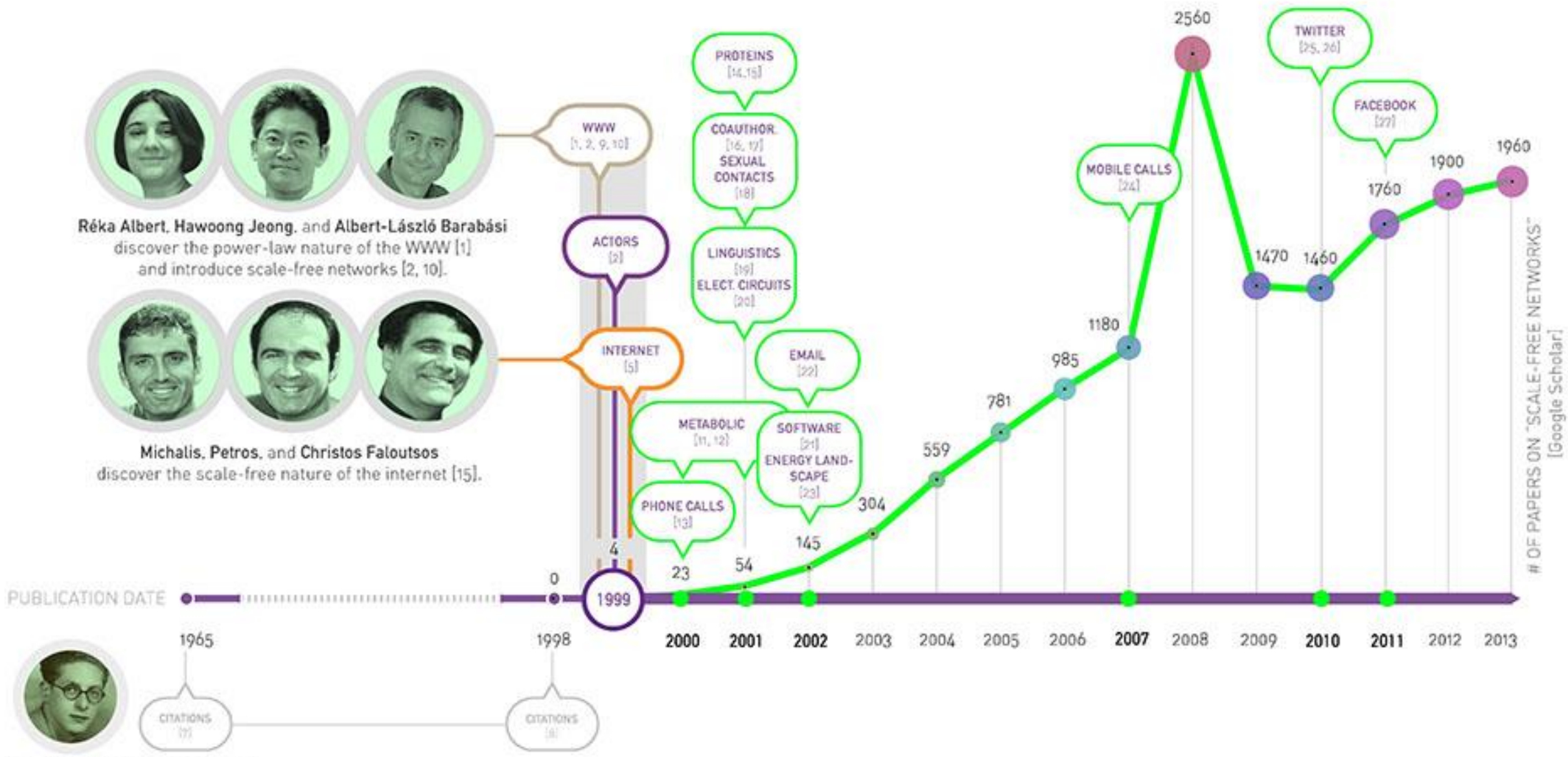
# Wechselwirkungen und Struktur im Internet

Im Jahre 1999 untersuchten Albert-Laszlo Barabasi und Mitarbeiter die topologische Struktur des Internets (WWW)

A photo taken for Business 2.0 magazine in 2000, showing Reka Albert, Hawoong Jeong and Albert-Laszlo Barabasi, soon after our publication of the paper on the topology of the WWW.  
(see <http://networksciencebook.com/>)



Viele der folgenden Abbildungen sind aus dem frei zugänglichen Buch „Network Science“ von Albert-Laszlo Barabasi entnommen.  
<http://networksciencebook.com/>



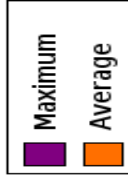
**Derek de Solla Price [1922 - 1983]**  
 discovers that citations follow a power-law distribution [7], a finding later attributed to the scale-free nature of the citation network [2].

Skalenfreie Netzwerke auch in vielen weiteren sozio-ökonomischen und biologischen Systemen

Top 80 Internet exchange points

Gbit/s

500  
450  
400  
350  
300  
250  
200  
150  
100  
50  
0



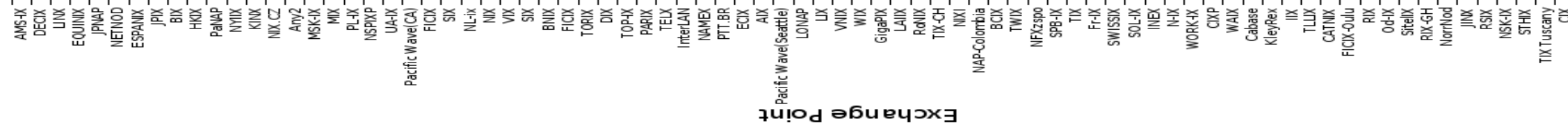
Gbit/s

500  
450  
400  
350  
300  
250  
200  
150  
100  
50  
0

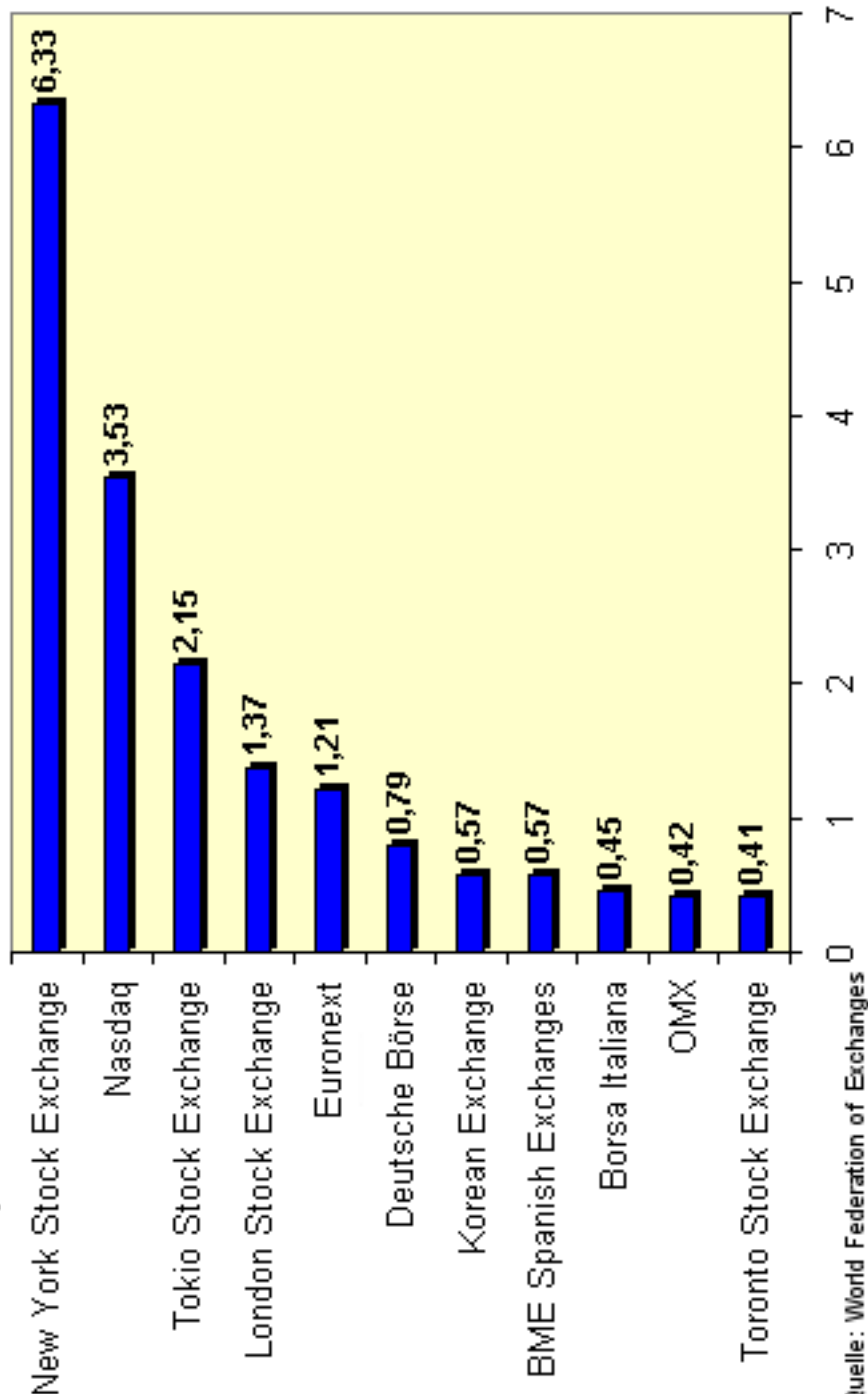
# Frankfurt als mächtiger Knoten der Informationsströme Internet-Knoten

Das Internet stellt ein skalenfreies Netzwerk. Trägt man die 80 wichtigsten Internet-Knoten sortiert auf, so erhält man den typischen Verlauf eines skalenfreien Netzwerks. Frankfurt am Main mit seinem Internet-Knoten *DE-CIX* ist in der veralteten Grafik an Stelle 2, laut Wikipedia ist er jetzt sogar auf Rang 1

www.alpro.de



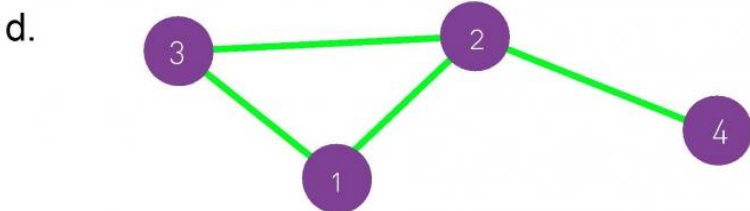
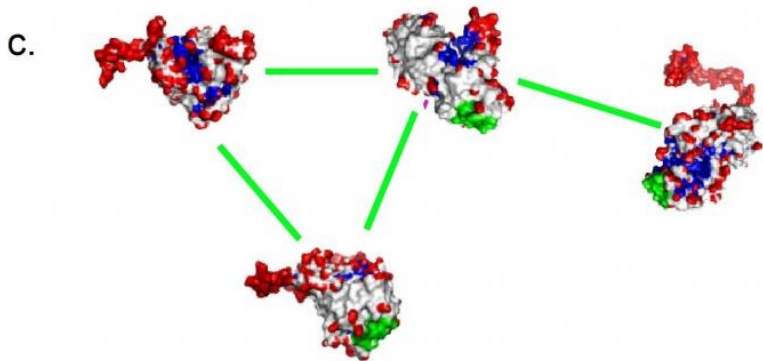
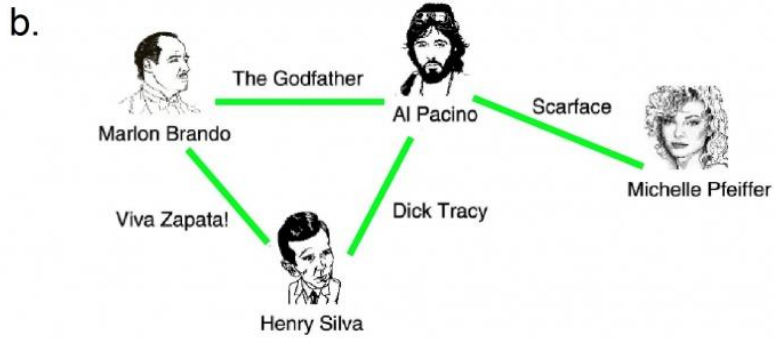
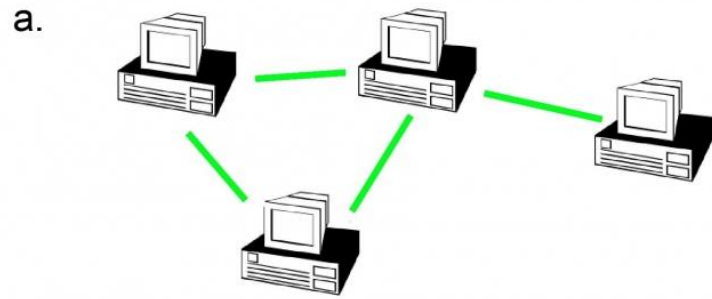
**Die weltweit größten Wertpapierbörsen**  
nach Handelsvolumen (notierte inländische Aktien) in Billionen US-Dollar  
Januar bis April 2006



## Die Frankfurter Wertpapierbörse (FWB)

ist die bedeutendste deutsche Börse mit Sitz in Frankfurt am Main. Betreiberin und Träger ist die Deutsche Börse AG. Im Jahr 2000 wurde die Neue Börse im Industriehof in Frankfurt am Main in einem neuen Gebäude bezogen. Im Jahr 2005 wurden an den deutschen Börsen rund 3,8 Billionen Euro umgesetzt. Dabei entfielen vom Gesamtumsatz rund 3,2 Billionen Euro auf Aktien, Optionsscheine und börsengehandelte Fonds und rund 615 Milliarden Euro auf Anleihen. Der Aktienumsatz betrug 1,3 Billionen Euro, bei deutschen Aktien entfallen rund 98 % des Handels auf die Frankfurter Wertpapierbörse und Xetra, das elektronische Handelssystem der Deutschen Börse. Im Oktober 2008 entfielen 97 % der Umsätze in deutschen Aktien auf Xetra und die Frankfurter Parkettbörse. Bei ausländischen Aktien liefen über 86 % des Umsatzes über Xetra und den Präsenzhandel.'

# Komplexe Netzwerke Knoten und Kanten



## Different Networks, Same Graph

The figure shows a small subset of (a) the Internet, where routers (specialized computers) are connected to each other; (b) the Hollywood actor network, where two actors are connected if they played in the same movie; (c) a protein-protein interaction network, where two proteins are connected if there is experimental evidence that they can bind to each other in the cell. While the nature of the nodes and the links differs, these networks have the same graph representation, consisting of  $N = 4$  nodes and  $L = 4$  links, shown in (d).

# Bipartite Networks

## Human Disease Network

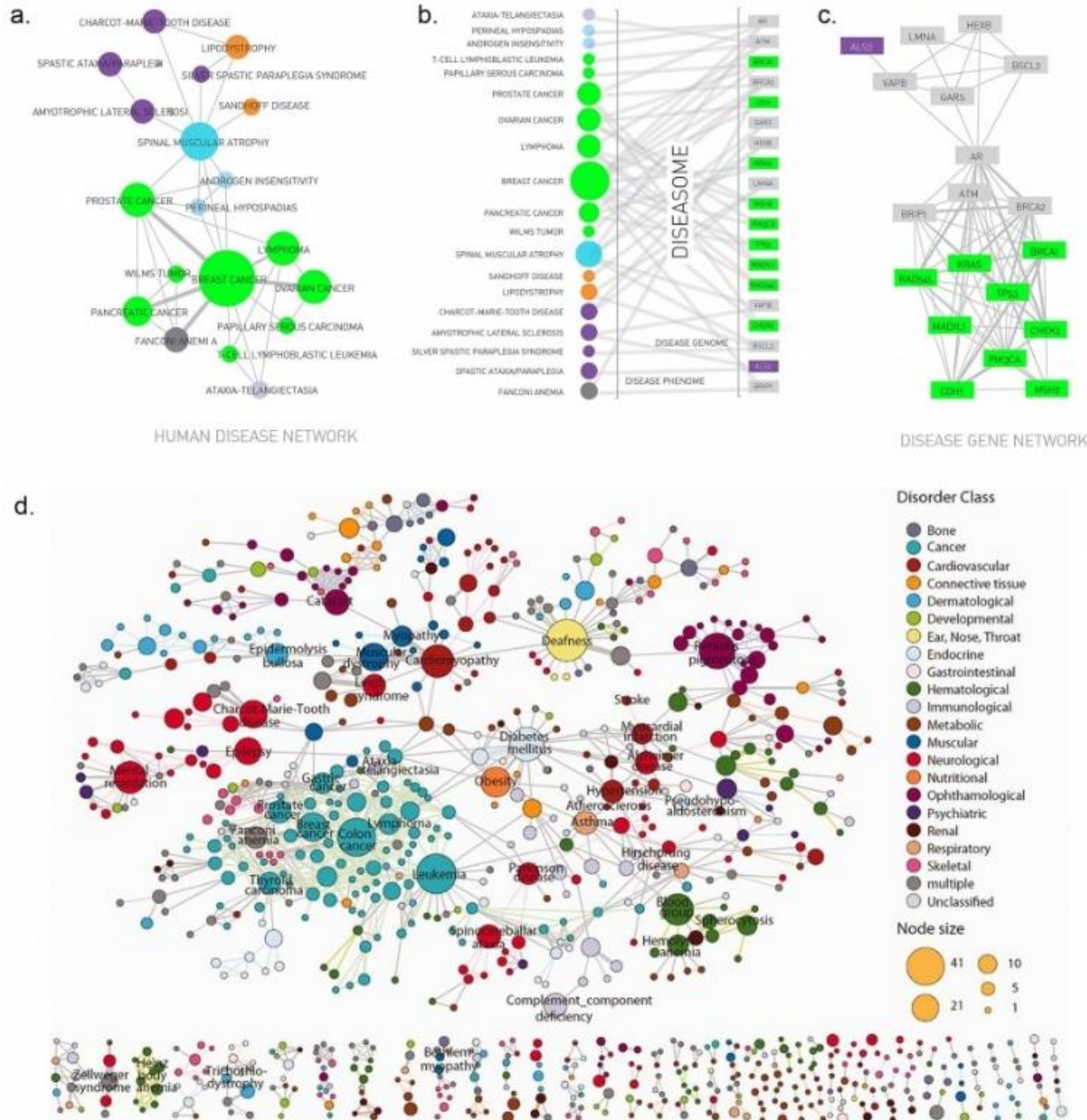
A bipartite network has two sets of nodes, U and V. Nodes in the U-set connect directly only to nodes in the V-set. Hence there are no direct U-U or V-V links.

One projection of the diseaseome is the disease network, whose nodes are diseases. Two diseases are connected if the same genes are associated with them, indicating that the two diseases have common genetic origin. Figures (a)-(c) shows a subset of the diseaseome, focusing on cancers.

The Human Disease Network (or diseaseome) is a bipartite network, whose nodes are diseases (U) and genes (V). A disease is connected to a gene if mutations in that gene are known to affect the particular disease [4].

The second projection is the gene network, whose nodes are genes, and where two genes are connected if they are associated with the same disease.

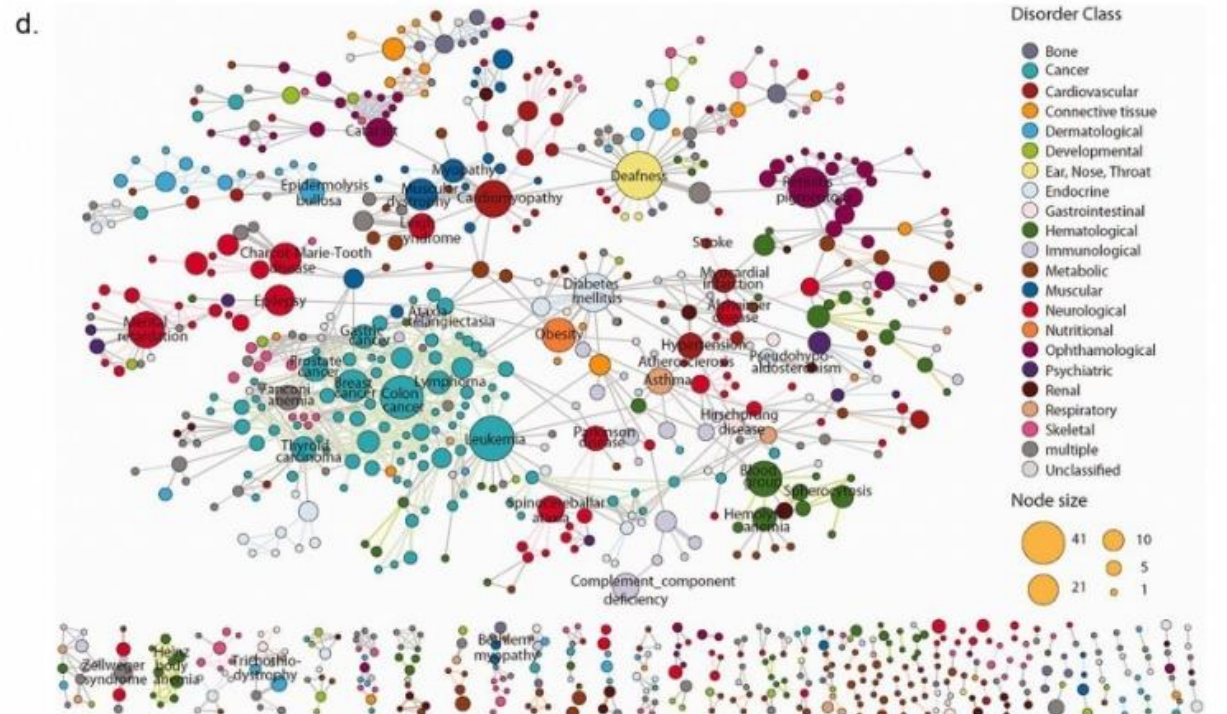
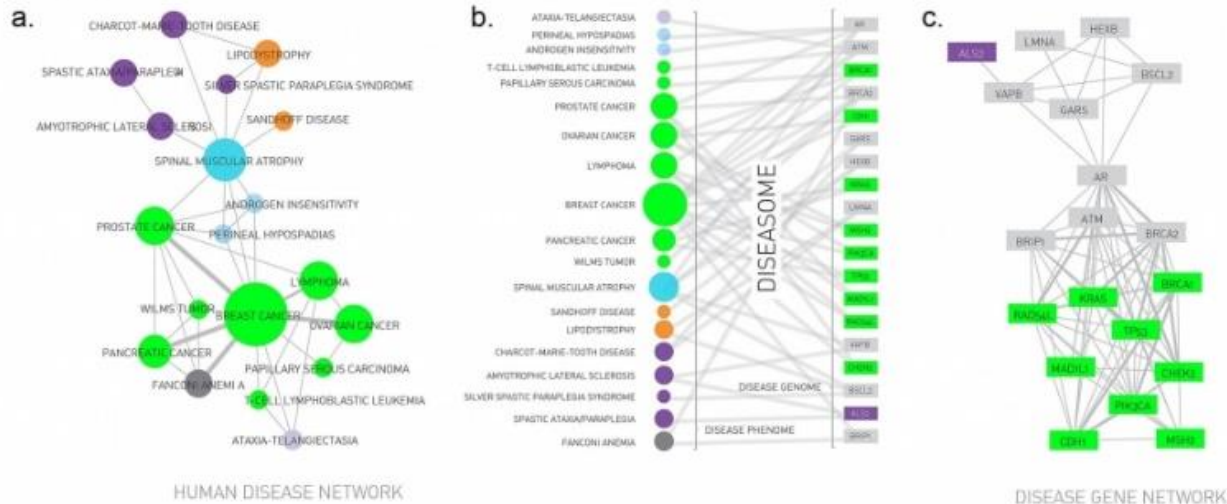
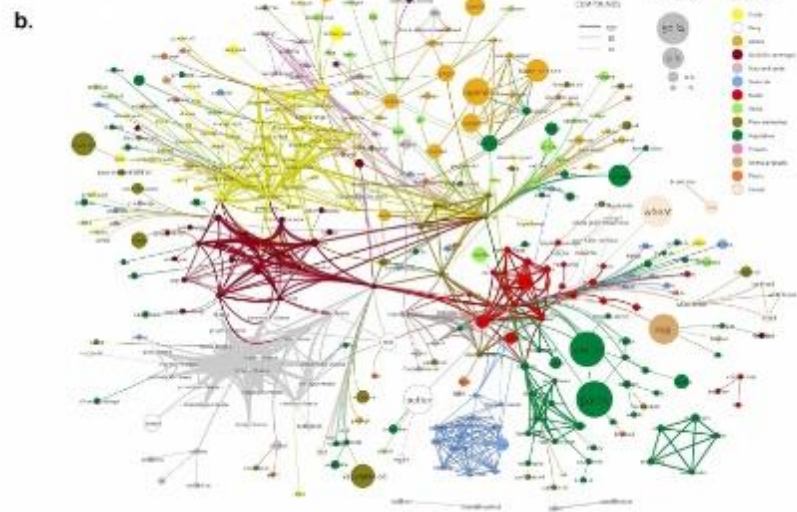
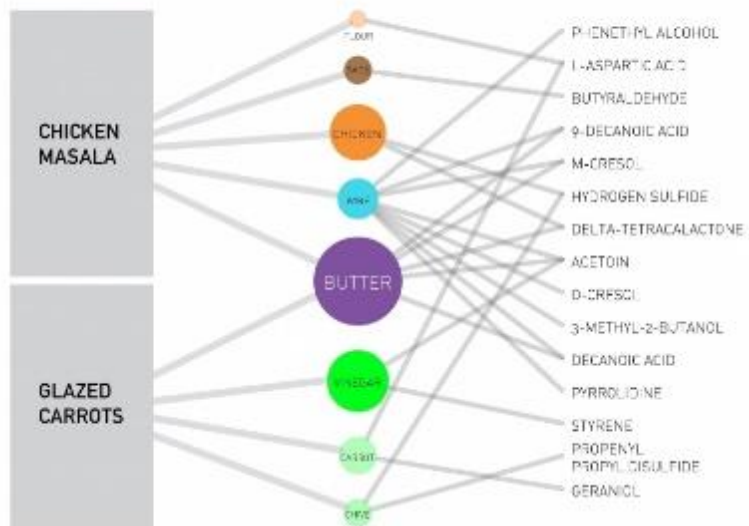
The full diseaseome, connecting 1,283 disorders via 1,777 shared disease genes.



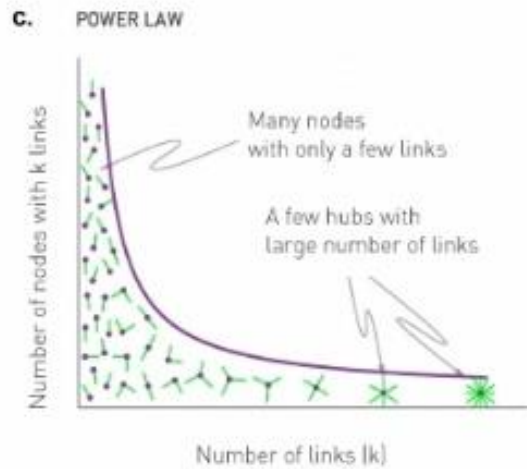
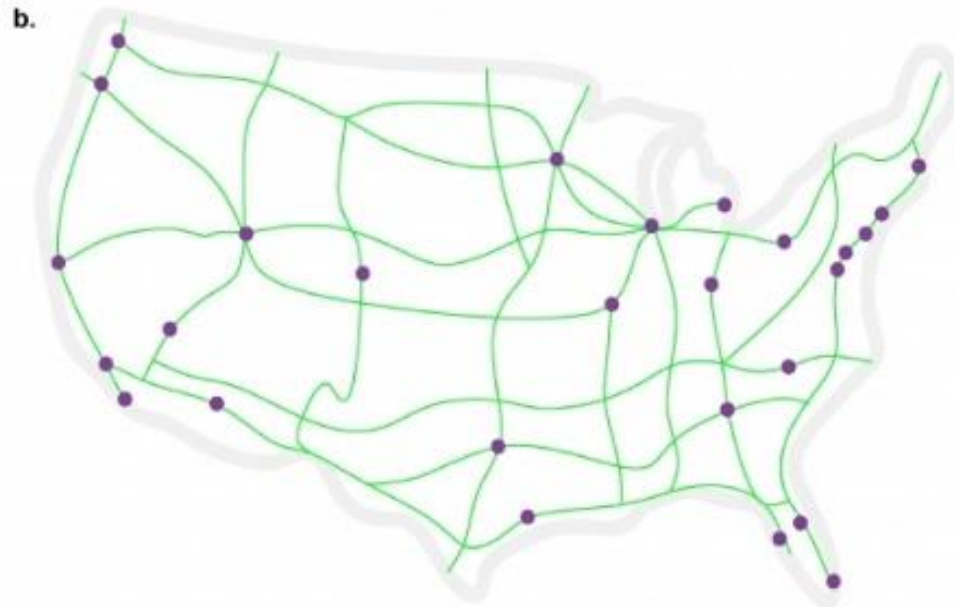
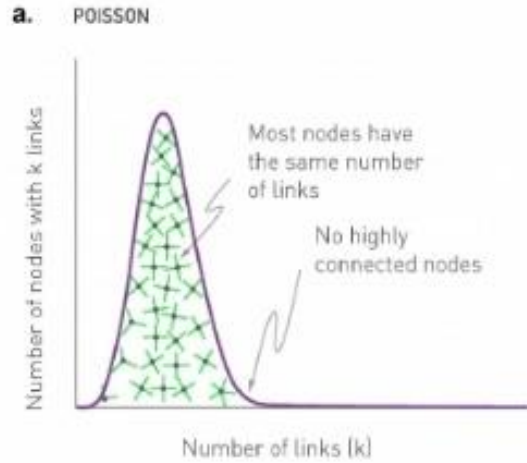


# Skalieren

a. RECIPES      INGREDIENTS      COMPOUNDS

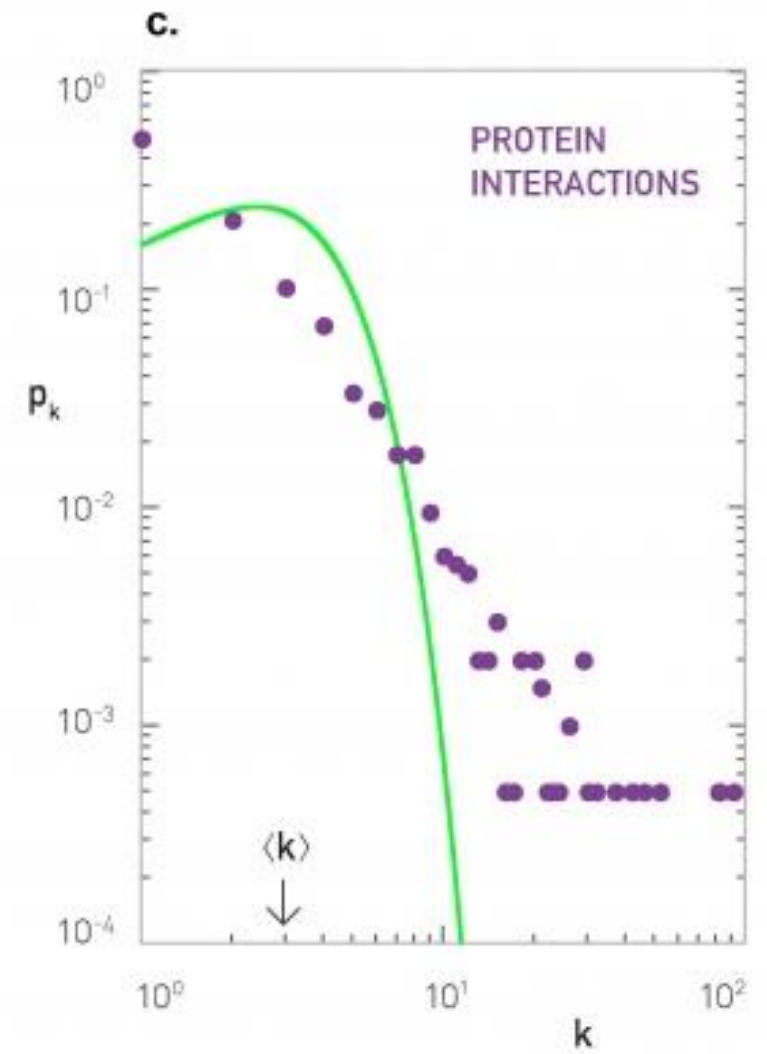
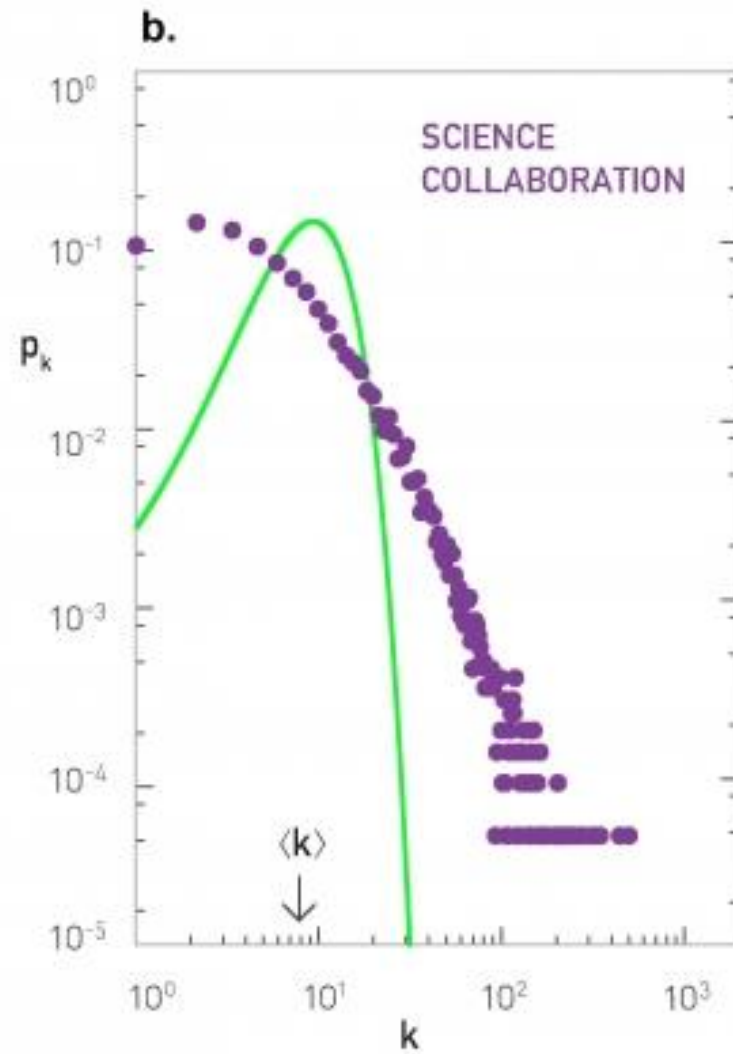
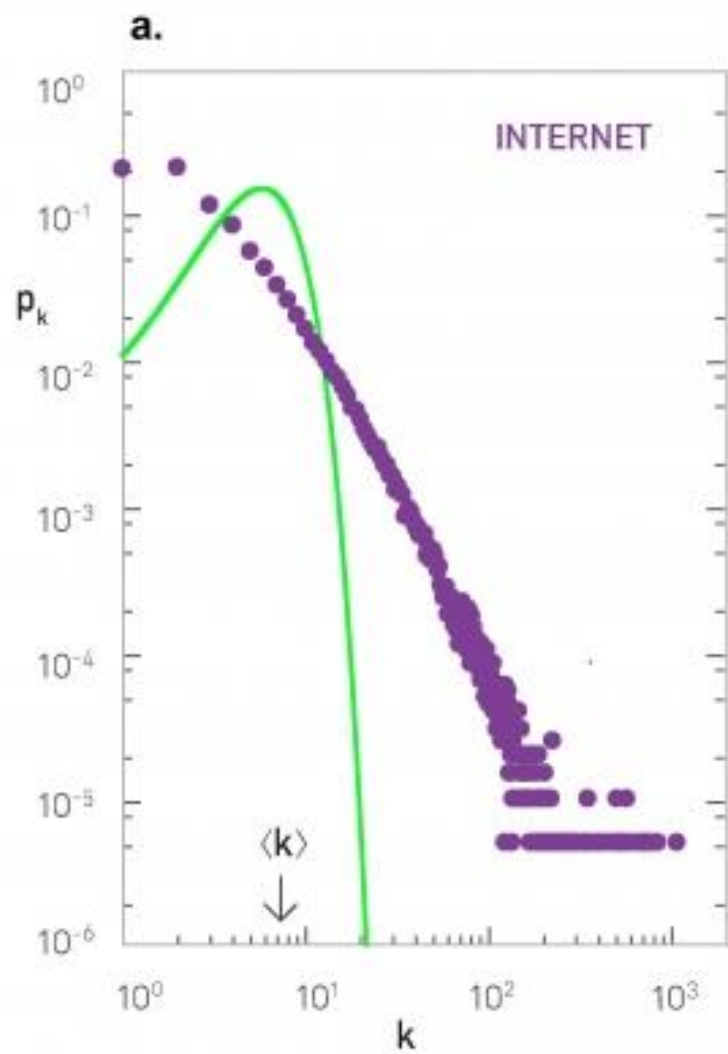


# Skalenfreie Netzwerke: Verteilung der Knotengrade



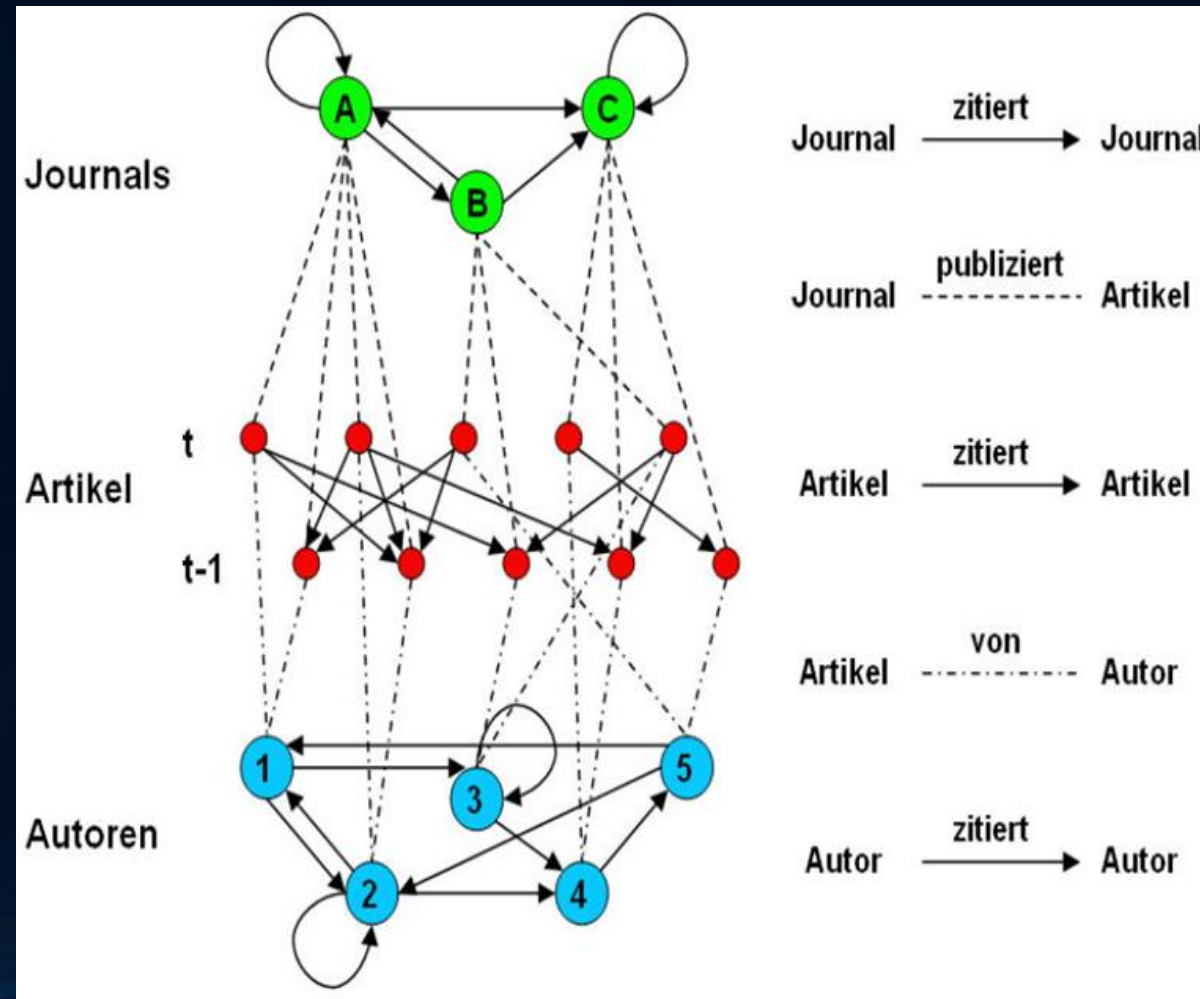
The degrees of a random network follow a Poisson distribution. Therefore most nodes have comparable degrees and nodes with a large number of links are absent. A random network looks a bit like the national highway network in which nodes are cities and links are the major highways. There are no cities with hundreds of highways and no city is disconnected from the highway system.

In a network with a power-law degree distribution most nodes have only a few links. These numerous small nodes are held together by a few highly connected hubs. A scale-free network looks like the air-traffic network, whose nodes are airports and links are the direct flights between them. Most airports are tiny, with only a few flights.



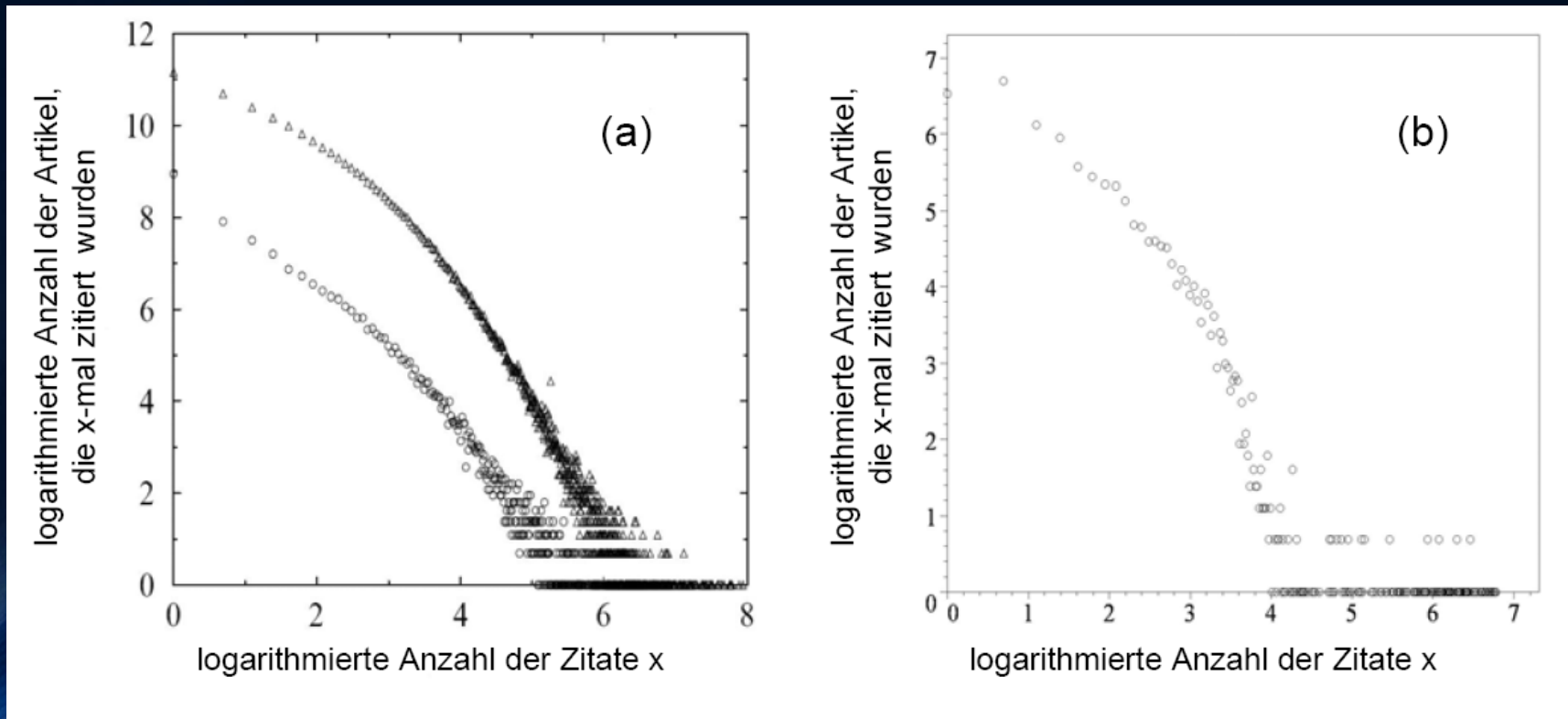
The degree distribution of the (a) Internet, (b) science collaboration network, and (c) protein interaction network (Table 2.1). The green line corresponds to the Poisson prediction of random networks. The significant deviation between the data and the Poisson fit indicates that the random network model underestimates the size and the frequency of the high degree nodes, as well as the number of low degree nodes.

# Schematische Darstellung des implementierten Zitationsnetzwerks



# Vergleich des simulierten Artikelnetzwerks mit empirischen Daten

Das auf der Artikelebene simulierte Zitationsnetzwerk (Abbildung b) stimmt gut mit der in Realität beobachteten Netzwerkstruktur (Abbildung a) überein. In Abbildung a sind die Zitationsnetzwerke der Zeitschrift *Physical Review D* und der Datenbank *ISI (Institute of scientific Information)* aufgetragen.





# Albert-László Barabási

FOLGEN

Northeastern University, Harvard Medical School  
Bestätigte E-Mail-Adresse bei neu.edu - [Startseite](#)

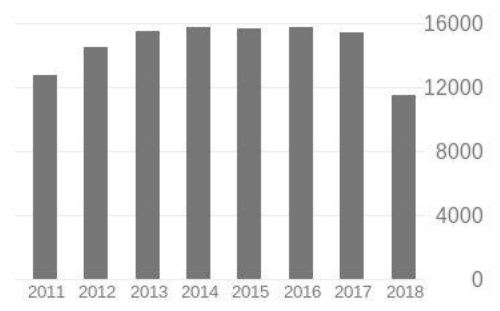
network science statistical physics biological physics physics medicine

EIGENES PROFIL ERSTELLEN

TITEL	ZITIERT VON	JAHR
<a href="#">Emergence of scaling in random networks</a> AL Barabási, R Albert Science 286 (5439), 509-512	32013	1999
<a href="#">Diameter of the world wide web</a> A Reka, H Jeong, AL Barabasi Nature 401 (9), 130-131	24127 *	1999
<a href="#">Statistical mechanics of complex networks</a> R Albert, AL Barabasi Reviews of Modern Physics 74, 47-97	20489	2002
<a href="#">Linked: The New Science Of Networks</a> AL Barabási Basic Books	9437 *	2002
<a href="#">Error and attack tolerance of complex networks</a> R Albert, H Jeong, AL Barabási Nature 406, 378-482	8303	2000
<a href="#">Network biology: understanding the cell's functional organization</a> AL Barabasi, ZN Oltvai Nature reviews genetics 5 (2), 101	6746	2004
<a href="#">The large-scale organization of metabolic networks</a> H Jeong, B Tombor, R Albert, ZN Oltvai, AL Barabási Nature 407 (6804), 651	5364	2000

Zitiert von [ALLE ANZEIGEN](#)

	Alle	Seit 2013
Zitate	190647	89820
h-index	132	104
i10-index	301	250



- Koautoren [ALLE ANZEIGEN](#)
- Reka Albert**  
Distinguished Professor, Penn St... >
  - Hawoong Jeong**  
Professor of Physics, KAIST >
  - Zoltan N. Oltvai**  
University of Pittsburgh >
  - Tamas Vicsek** >



# Horst Stoecker

FOLGEN

FIAS & IP Johann Wolfgang Goethe Universitaet Frankfurt am Main and GSI Helmholtzzentrum fuer

Bestätigte E-Mail-Adresse bei uni-frankfurt.de - [Startseite](#)

Theoretical Physics & Phen... Astrophysics Black Holes and Neutron St... Phases of Dense Hot Nuclear

EIGENES PROFIL ERSTELLEN

TITEL	ZITIERT VON	JAHR
-------	-------------	------

### GEANT4—a simulation toolkit

S Agostinelli, J Allison, K Amako, J Apostolakis, H Araujo, P Arce, M Asai, ...  
Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators ...

22726 2003

### Microscopic models for ultrarelativistic heavy ion collisions

SA Bass, M Belkacem, M Bleicher, M Brandstetter, L Bravina, C Ernst, ...  
Progress in Particle and Nuclear Physics 41, 255-369

1962 1998

### Relativistic hadron-hadron collisions in the ultra-relativistic quantum molecular dynamics model

M Bleicher, E Zabrodin, C Spieles, SA Bass, C Ernst, S Soff, L Bravina, ...  
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 25 (9), 1859

1445 1999

### High energy heavy ion collisions—probing the equation of state of highly excited hadronic matter

H Stöcker, W Greiner  
Physics Reports 137 (5-6), 277-392

1266 1986

### Thermodynamics and statistical mechanics

W Greiner, L Neise, H Stöcker  
Springer Science & Business Media

742 2012

### Handbook of mathematics and computational science

JW Harris, H Stöcker  
Springer Science & Business Media

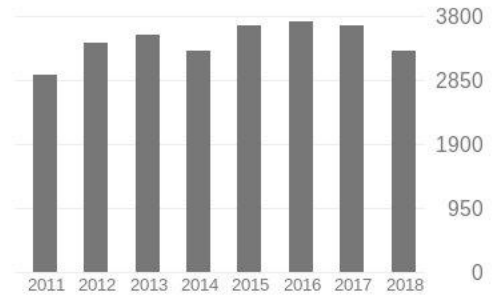
712 1998

### Poincaré invariant hamiltonian dynamics: modelling multi-hadronic interactions in a phase

645 1989

### Zitiert von ALLE ANZEIGEN

	Alle	Seit 2013
Zitate	53902	21163
h-index	80	39
i10-index	353	117



### Koautoren ALLE ANZEIGEN

- Marcus Bleicher**  
Scientific Council Member, Helm... >
- Steffen A. Bass**  
Duke University >
- Mark Gorenstein**  
Bogolyubov Institute for Theoreti... >
- Marian Dumitru** >



# Marcus Bleicher

FOLGEN

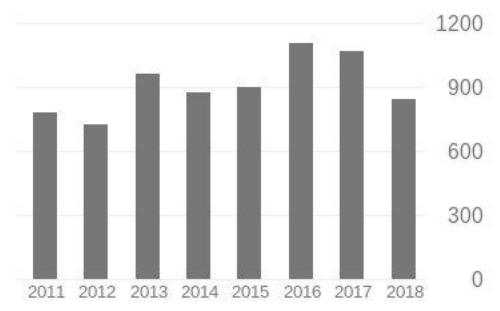
Scientific Council Member, Helmholtz International Center for FAIR (HIC for FAIR)  
Bestätigte E-Mail-Adresse bei th.physik.uni-frankfurt.de

EIGENES PROFIL ERSTELLEN

TITEL	ZITIERT VON	JAHR
<b>Microscopic models for ultrarelativistic heavy ion collisions</b> SA Bass, M Belkacem, M Bleicher, M Brandstetter, L Bravina, C Ernst, ... Progress in Particle and Nuclear Physics 41, 255-369	1962	1998
<b>Relativistic hadron-hadron collisions in the ultra-relativistic quantum molecular dynamics model</b> M Bleicher, E Zabrodin, C Spieles, SA Bass, C Ernst, S Soff, L Bravina, ... Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 25 (9), 1859	1445	1999
<b>Heavy-ion collisions at the LHC—last call for predictions</b> N Armesto, N Borghini, S Jeon, UA Wiedemann, S Abreu, SV Akkelin, ... Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 35 (5), 054001	395	2008
<b>Fully integrated transport approach to heavy ion reactions with an intermediate hydrodynamic stage</b> H Petersen, J Steinheimer, G Burau, M Bleicher, H Stöcker Physical Review C 78 (4), 044901	339	2008
<b>Signatures in the Planck regime</b> S Hossenfelder, M Bleicher, S Hofmann, J Ruppert, S Scherer, H Stöcker Physics Letters B 575 (1-2), 85-99	280	2003
<b>Event-by-event simulation of the three-dimensional hydrodynamic evolution from flux tube initial conditions in ultrarelativistic heavy ion collisions</b> K Werner, I Karpenko, T Pierog, M Bleicher, K Mikhailov Physical Review C 82 (4), 044904	241	2010

Zitiert von ALLE ANZEIGEN

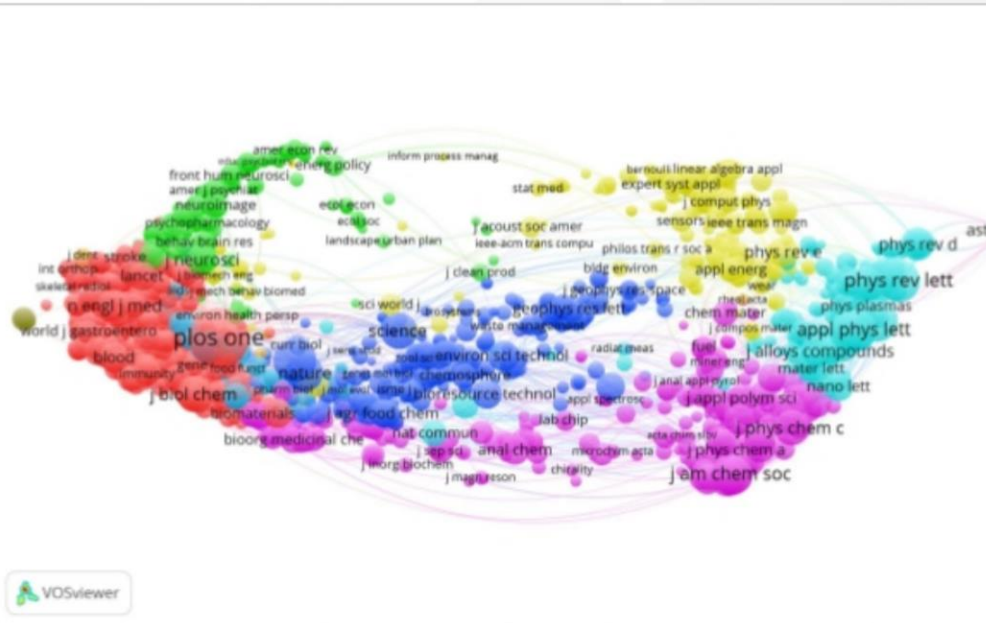
	Alle	Seit 2013
Zitate	13004	5762
h-index	52	30
i10-index	185	105



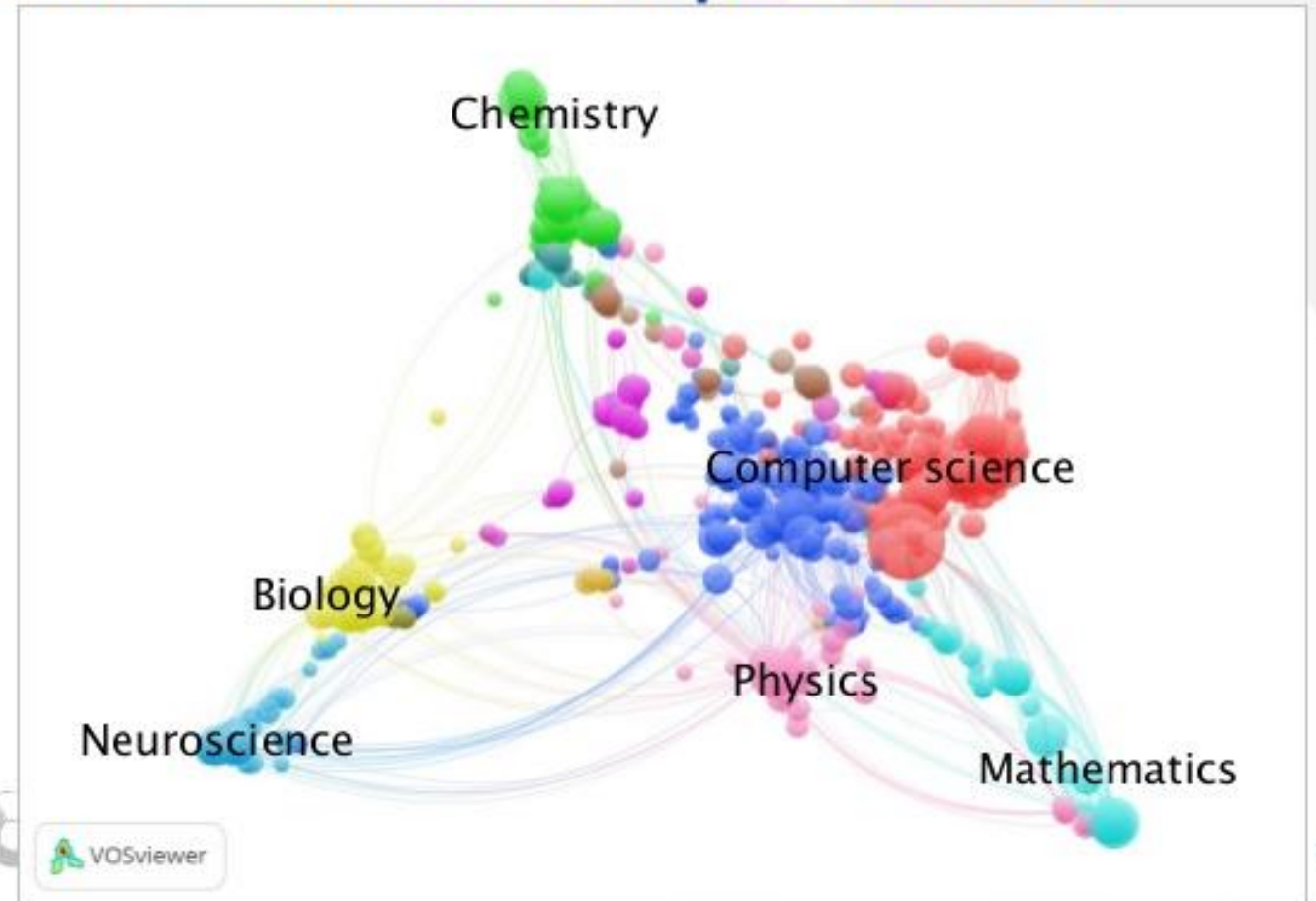


# Der Atlas der Wissenschaft

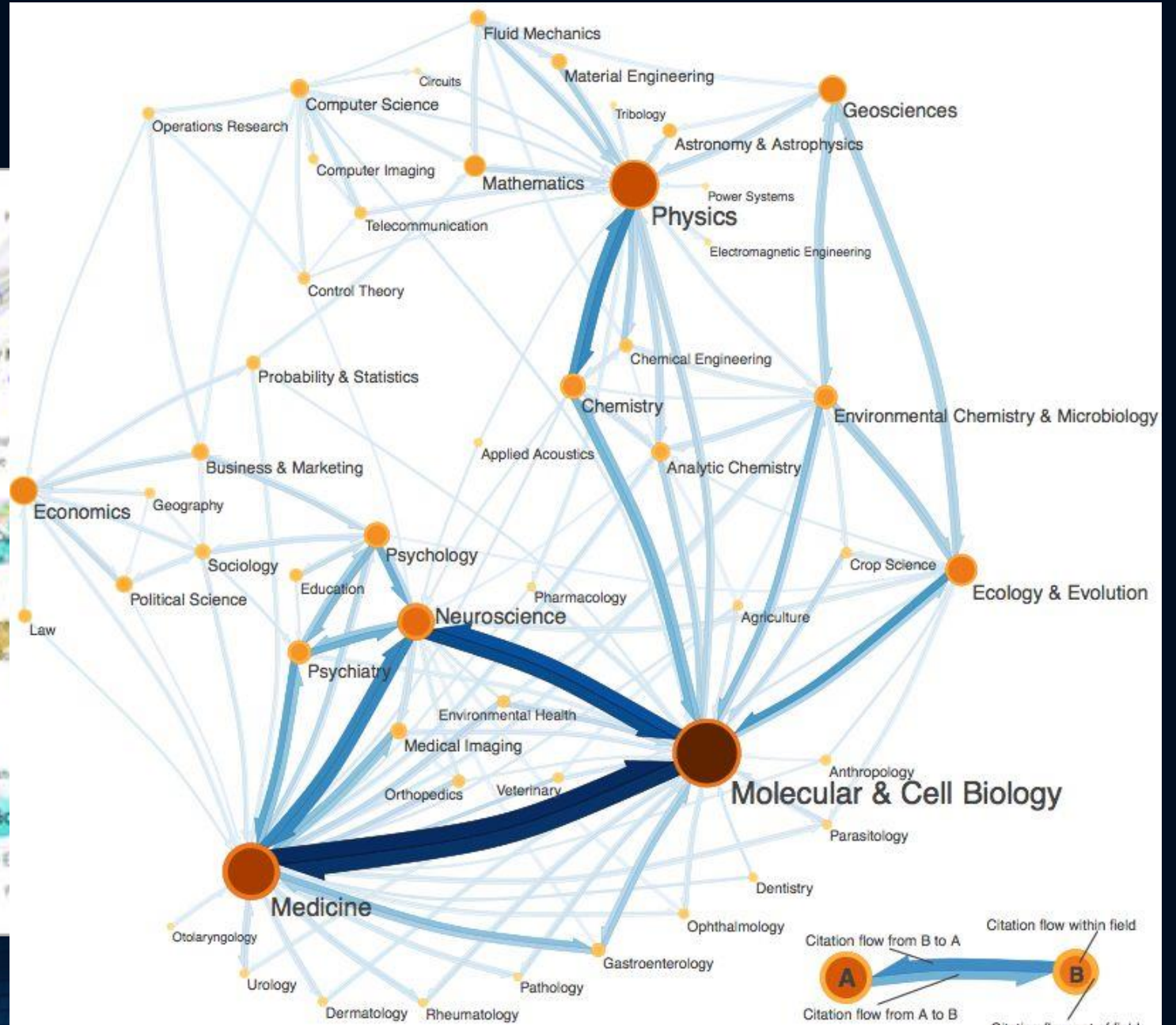
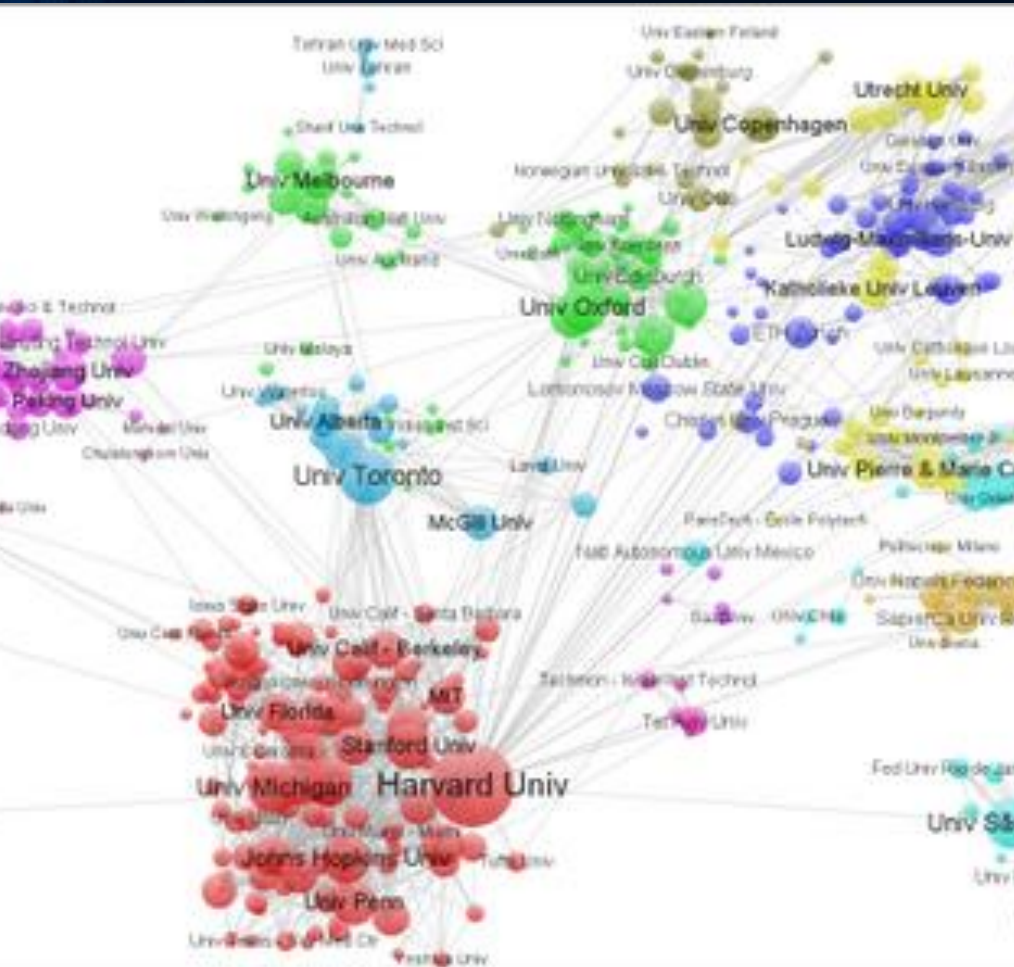
## Map of journal citation network



## Citation relations between journals with $\geq 100$ network publications



# Der Atlas der Wissenschaft



# The Structure and Function of Complex Networks\*

M. E. J. Newman<sup>†</sup>

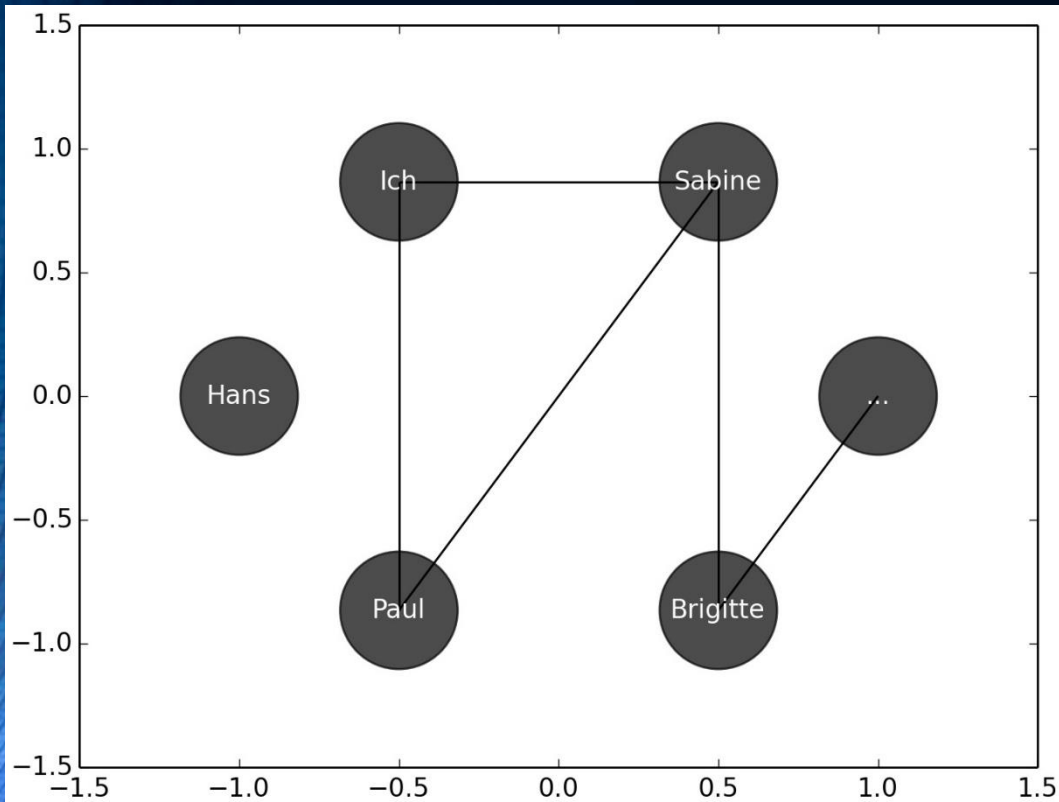
## Netzwerkstrukturen in unterschiedlichsten Systemen

	Network	Type	$n$	$m$
Social	film actors	undirected	449 913	25 516 482
	company directors	undirected	7 673	55 392
	math coauthorship	undirected	253 339	496 489
	physics coauthorship	undirected	52 909	245 300
	biology coauthorship	undirected	1 520 251	11 803 064
	telephone call graph	undirected	47 000 000	80 000 000
	email messages	directed	59 912	86 300
	email address books	directed	16 881	57 029
	student relationships	undirected	573	477
	sexual contacts	undirected	2 810	
Information	WWW nd.edu	directed	269 504	1 497 135
	WWW Altavista	directed	203 549 046	2 130 000 000
	citation network	directed	783 339	6 716 198
	Roget's Thesaurus	directed	1 022	5 103
	word co-occurrence	undirected	460 902	17 000 000
Technological	Internet	undirected	10 697	31 992
	power grid	undirected	4 941	6 594
	train routes	undirected	587	19 603
	software packages	directed	1 439	1 723
	software classes	directed	1 377	2 213
	electronic circuits	undirected	24 097	53 248
	peer-to-peer network	undirected	880	1 296
Biological	metabolic network	undirected	765	3 686
	protein interactions	undirected	2 115	2 240
	marine food web	directed	135	598
	freshwater food web	directed	92	997
	neural network	directed	307	2 359

# Netzwerkstrukturen in unterschiedlichsten Systemen

Network	Size	$\langle k \rangle$	$\ell$	$\ell_{rand}$	$C$	$C_{rand}$	Reference
WWW, site level, undir.	153, 127	35.21	3.1	3.35	0.1078	0.00023	Adamic 1999
Internet, domain level	3015 - 6209	3.52 - 4.11	3.7 - 3.76	6.36 - 6.18	0.18 - 0.3	0.001	Yook <i>et al.</i> 2001a, Pastor-Satorras <i>et al.</i> 2001
Movie actors	225, 226	61	3.65	2.99	0.79	0.00027	Watts, Strogatz 1998
LANL coauthorship	52, 909	9.7	5.9	4.79	0.43	$1.8 \times 10^{-4}$	Newman 2001a,b
MEDLINE coauthorship	1, 520, 251	18.1	4.6	4.91	0.066	$1.1 \times 10^{-5}$	Newman 2001a,b
SPIRES coauthorship	56, 627	173	4.0	2.12	0.726	0.003	Newman 2001a,b,c
NCSTRL coauthorship	11, 994	3.59	9.7	7.34	0.496	$3 \times 10^{-4}$	Newman 2001a,b
Math coauthorship	70, 975	3.9	9.5	8.2	0.59	$5.4 \times 10^{-5}$	Barabási <i>et al.</i> 2001
Neurosci. coauthorship	209, 293	11.5	6	5.01	0.76	$5.5 \times 10^{-5}$	Barabási <i>et al.</i> 2001
<i>E. coli</i> , substrate graph	282	7.35	2.9	3.04	0.32	0.026	Wagner, Fell 2000
<i>E. coli</i> , reaction graph	315	28.3	2.62	1.98	0.59	0.09	Wagner, Fell 2000
Ythan estuary food web	134	8.7	2.43	2.26	0.22	0.06	Montoya, Solé 2000
Silwood park food web	154	4.75	3.40	3.23	0.15	0.03	Montoya, Solé 2000
Words, cooccurrence	460.902	70.13	2.67	3.03	0.437	0.0001	Cancho, Solé 2001
Words, synonyms	22, 311	13.48	4.5	3.84	0.7	0.0006	Yook <i>et al.</i> 2001
Power grid	4, 941	2.67	18.7	12.4	0.08	0.005	Watts, Strogatz 1998
<i>C. Elegans</i>	282	14	2.65	2.25	0.28	0.05	Watts, Strogatz 1998

# Simulation und Darstellung von komplexen Netzwerken mit Python (Teil II)



```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
G=nx.Graph()
```

```
#Hinzufuegen von Knoten zum Netzwerk
```

```
G.add_nodes_from(["Ich", "Paul", "Brigitte", "Sabine", "Hans", "..."])
```

```
G.add_edge("Ich", "Paul")
```

```
G.add_edge("Ich", "Sabine")
```

```
G.add_edge("Sabine", "Brigitte")
```

```
G.add_edge("Sabine", "Paul")
```

```
G.add_edge("Paul", "Sabine")
```

```
G.add_edge("Brigitte", "...")
```

```
#Erzeugung des Netzwerk-Bildes
```

```
graph_pos=nx.shell_layout(G)
```

```
#graph_pos=nx.shell_layout(G)
```

```
#graph_pos=nx.spring_layout(G)
```

```
nx.draw_networkx_nodes(G, graph_pos, node_size=3000, alpha=0.7, node_color="black")
```

```
nx.draw_networkx_edges(G, graph_pos)
```

```
nx.draw_networkx_labels(G, graph_pos, font_color="white")
```

```
#Speicherung des Bildes als .jpg
```

```
saveFig="./Netzwerk.jpg"
```

```
plt.savefig(saveFig, dpi=200, bbox_inches="tight", pad_inches=0.05, format="jpg")
```

```
plt.show()
```

## Key Question

How can one theoretically describe and quantify the time dependent evolution of the strategic behavior of an entire group of decision makers which are connected in an information/interaction network?



## Theoretical Models used to answer the question:

### (Evolutionary) Game Theory

[von Neumann 1928, Nash 1950, Smith 1972, Weibull 1997,  
Szabó/Fáth 07]

### Theory of complex networks

[Barabasi/Albert 02, Mendes/Dorogovtsev 02, Jackson 10]

# Inhalte der Vorlesung

SPIELTHEORIE

EVOLUTIONÄRE SPIELTHEORIE

KOMPLEXE NETZWERKE (NETWORK SCIENCE)

EVOLUTIONÄRE SPIELTHEORIE AUF  
KOMPLEXEN NETZWERKEN

QUANTEN-SPIELTHEORIE

ANWENDUNGSFELDER

# Einleitung

- Die Spieltheorie befasst sich mit Entscheidungssituationen, in denen der Erfolg des Einzelnen nicht nur vom eigenen Handeln, sondern auch von den Entscheidungen der anderen beteiligten Spieler (Akteure) abhängt.
- Ökonomische Entscheidungen betreffen in aller Regel nicht nur das Individuum selbst, sondern auch weitere wirtschaftliche Subjekte und deren Entscheidungen.
- Entscheidende Akteure müssen nicht zwangsläufig individuelle Menschen sein, sondern können auch institutionelle Organisationen, Unternehmen, Länder, usw. sein.
- Viele Wirtschaftswissenschaftler betrachten die Spieltheorie als die formale Sprache der ökonomischen Theorie. Sie stellt eine elementare Theorie innerhalb der sozio-ökonomischen Forschung dar und ist vergleichbar mit der Eichtheorie der elementaren physikalischen Wechselwirkungen.



# Ursprünge der Spieltheorie

- Johann (John) von Neumann veröffentlichte im Jahre 1928 die erste Arbeit über Spieltheorie (*J. von Neumann Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*, *Mathematische Annalen* 100, 295-300 (1928)). Er war zu dieser Zeit als Privatdozent in Berlin tätig. 1930 übersiedelte er zur Princeton University und wurde dort 1931 Professor.
- Das erste, wegweisende Buch über Spieltheorie und ökonomisches Verhalten wurde 1944 von v. Neumann und Morgenstern veröffentlicht (*J. von Neumann und Oskar Morgenstern Theory of games and economic behaviour*, Princeton University Press, Princeton (1944))

# Motivation: “Institute for Advance Study” in Princeton (1933 -1950)

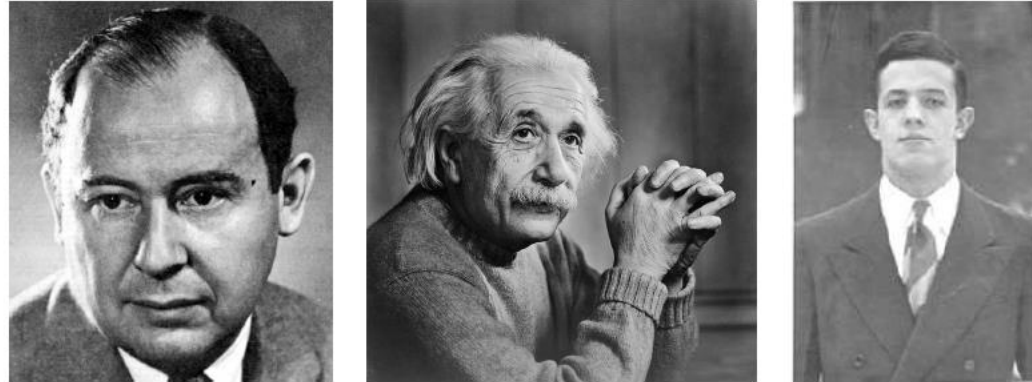


Figure: Johann von Neumann, Albert Einstein und John Forbes Nash Jr.

Johann (John) von Neumann. Zur Theorie der Gesellschaftsspiele.

*Mathematische Annalen*, 100:295–300, 1928.

J. von Neumann. *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*.

Springer, 1932.

J. von Neumann and O. Morgenstern. *The Theory of Games and Economic Behaviour*. Princeton University Press, 1947.

# Motivation: “Institute for Advance Study” in Princeton (1933 -1950)

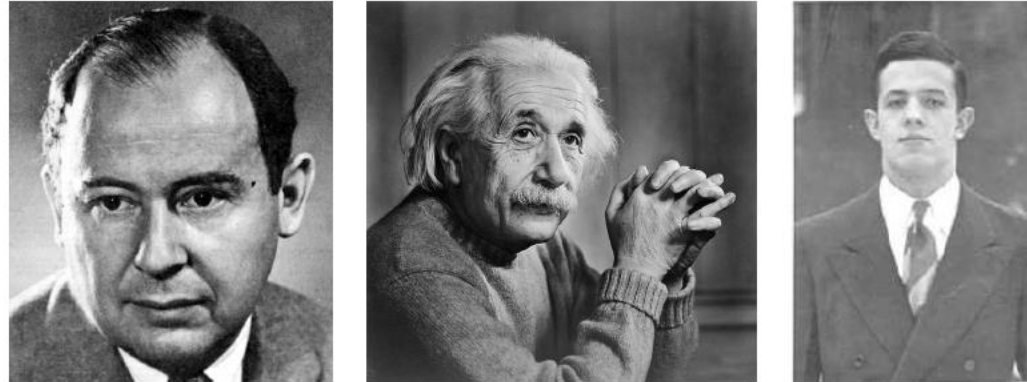


Figure: Johann von Neumann, Albert Einstein und John Forbes Nash Jr.

*Quantum Entanglement* and the “EPR-Paradoxon”:

A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Physical Review*, 47:777–780, 1935.

# Motivation: “Institute for Advance Study” in Princeton (1933 -1950)

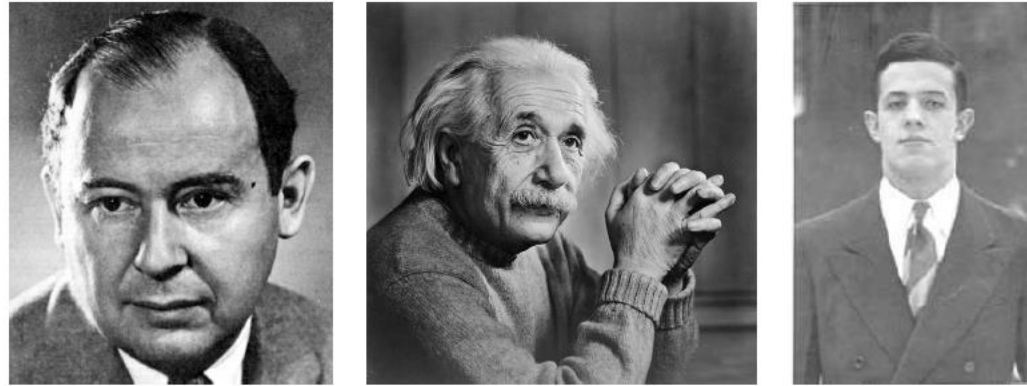


Figure: Johann von Neumann, Albert Einstein und John Forbes Nash Jr.

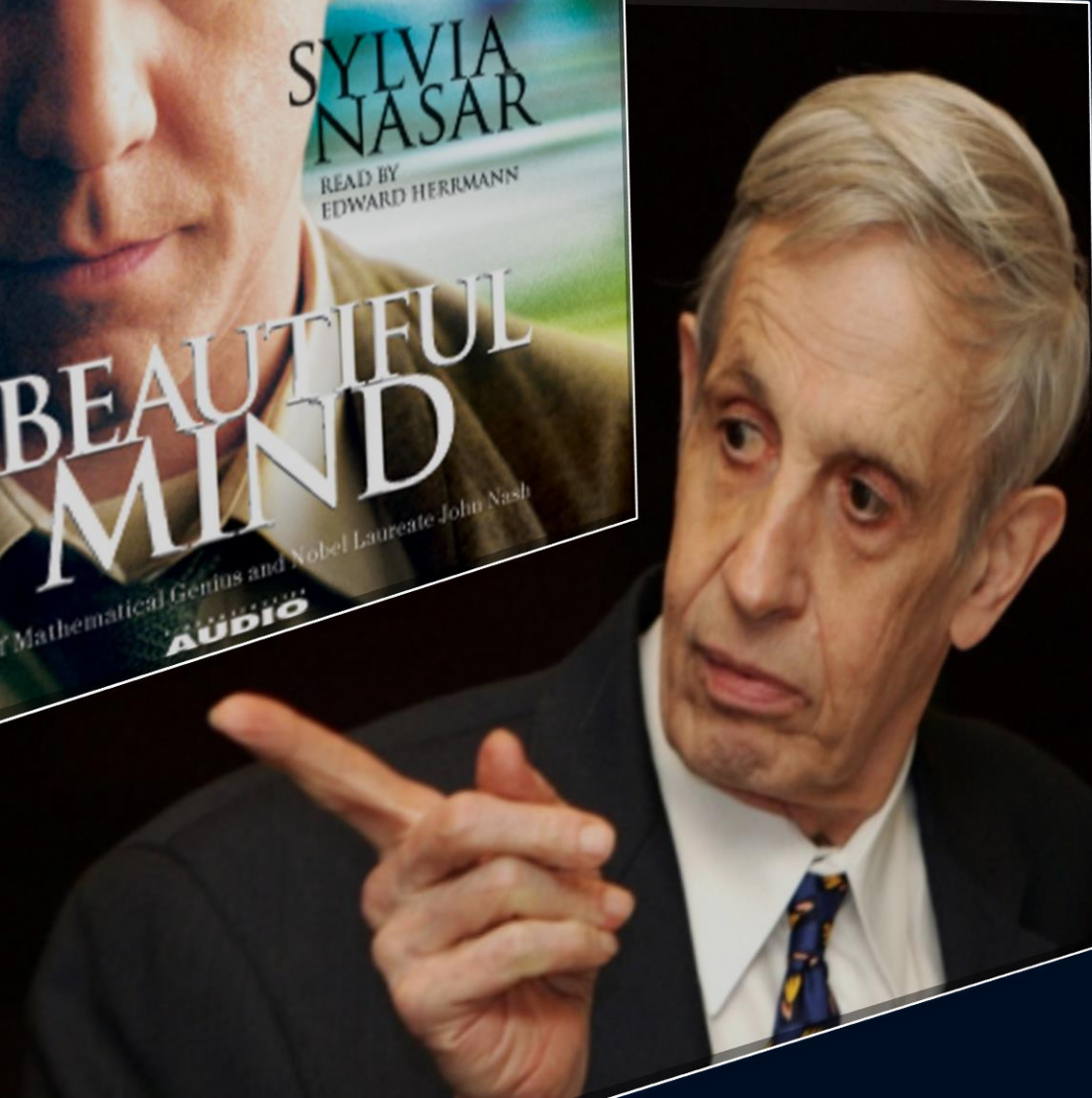
John F. Nash Jr. Equilibrium Points in N-person Games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 36:48–49, 1950.

John F. Nash Jr. The Bargaining Problem. *Econometrica*, 18:155–162, 1950.

John F. Nash Jr. Non-Cooperative Games. *The Annals of Mathematics*, 54(2):286–295, 1951.

# John Forbes Nash

John Forbes Nash Jr.  
at Princeton university  
in 1949



Physik der sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer von Dr.phil.nat.Dr.rer.pol. Matthias Hanauske

[Home](#) [Research](#) [Contact](#)

[Einführung](#)

[Teil I](#)

[Teil II](#)

[Teil III](#)

[E-Learning](#)



**Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer (Physics of Socio-Economic Systems with the Computer)**  
Vorlesung WS 2017/2018, Fr. 15-17.00 Uhr, PC-Pool 01.120

Zusätzlich zur Vorlesung werden ab dem 27.10.2017 freiwillige Übungstermine eingerichtet, die jeweils freitags, eine Stunde vor der Vorlesung im PC-Pool 01.120 stattfinden (Fr. 14-15.00 Uhr).

Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das interdisziplinäre Forschungsfeld der *Physik sozio-ökonomischer Systeme*. In sozio-ökonomischen Systemen, wie z.B. bei Finanzmärkten, sozialen Netzwerken, Verkehrssystemen oder wissenschaftliche Kooperationsnetzwerken, sind die dem System zugrunde liegenden Akteure ständigen Entscheidungssituationen ausgesetzt, wobei der Erfolg und die Auswirkung der individuell gewählten Strategie von den Entscheidungen der anderen beteiligten Akteuren abhängt. Die (evolutionäre) Spieltheorie und die Physik komplexer Netzwerke stellen die beiden Grundsäulen der theoretischen Beschreibung und mathematischen Formulierung solcher Systeme dar. Im ersten Teil des Kurses werden die grundlegenden Konzepte der Spieltheorie thematisiert und die Studierenden erlernen, unter Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica) deren Anwendung auf diverse Spielklassen. Neben den endlichen Zweipersonen-Spielen und N-Personen-Spielen wird auch auf die evolutionäre Entwicklung ganzer Spieler-Populationen eingegangen.

## I.1.1 Definition eines Spiels

Die formale mathematische Definition eines *Simultanen ( $N$  Spieler)-( $m$  Strategien) Spiels in strategischer Form mit Auszahlung* (siehe z.B. [2,3]) benötigt lediglich die Angabe dreier Größen: Die Menge  $\mathcal{I}$  der Spieler, die Menge (der Raum)  $\mathcal{S}$  der Strategien der Spieler und ihre Auszahlungsfunktion (Präferenzordnungen)  $\$$ .

Ein Spiel  $\Gamma := (\mathcal{I}, \mathcal{S}, \$)$  in strategischer Form mit Auszahlung ist hinreichend definiert, wenn die folgenden drei Größen bekannt sind:

- Menge der Spieler:  $\mathcal{I} = \{1, 2, \dots, N\}$   
Die Menge der Spieler  $\mathcal{I}$  kann unter Umständen aus unterschiedlichen Teilmengen bestehen, die ihrerseits unterschiedliche Strategiemengen  $\mathcal{S}$  besitzen. In sozio-ökonomischen Netzwerken stellen die Spieler die jeweiligen Knoten des Netzwerkes dar (näheres siehe Teil II).
- Menge der reinen Strategien der Spieler:  $\mathcal{S} = \mathcal{S}^1 \times \mathcal{S}^2 \times \dots \times \mathcal{S}^N$   
Jeder Spieler  $\mu \in \mathcal{I}$  besitzt eine eigene Menge an reinen Strategien  $\mathcal{S}^\mu = \{s_1^\mu, s_2^\mu, \dots, s_{m_\mu}^\mu\}$ , wobei jede dieser  $m_\mu$  Strategien eine für ihn mögliche Entscheidung darstellt.
- Präferenzordnungen der Spieler, quantifiziert durch eine vektorwertige Auszahlungsfunktion:

$$\$ = (\$,^1, \$^2, \dots, \$^N) : \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^N$$

Nachdem jeder Spieler (ohne die Entscheidung seiner Mitspieler zu kennen) eine Strategie aus seiner Strategiemenge  $\mathcal{S}^\mu$  ausgewählt hat, beurteilt er die entstehende Strategienkombination  $\mathcal{S}$  entsprechend seiner Präferenzordnung (Auszahlungsfunktion)  $\$^\mu$ .

Um diese formale Definition im einzelnen zu erklären, beschränken sich die folgenden Darlegungen auf den einfachsten Fall des simultanen

# Spielbaum eines simultanen (2 Personen)-(2 Strategien) Spiels

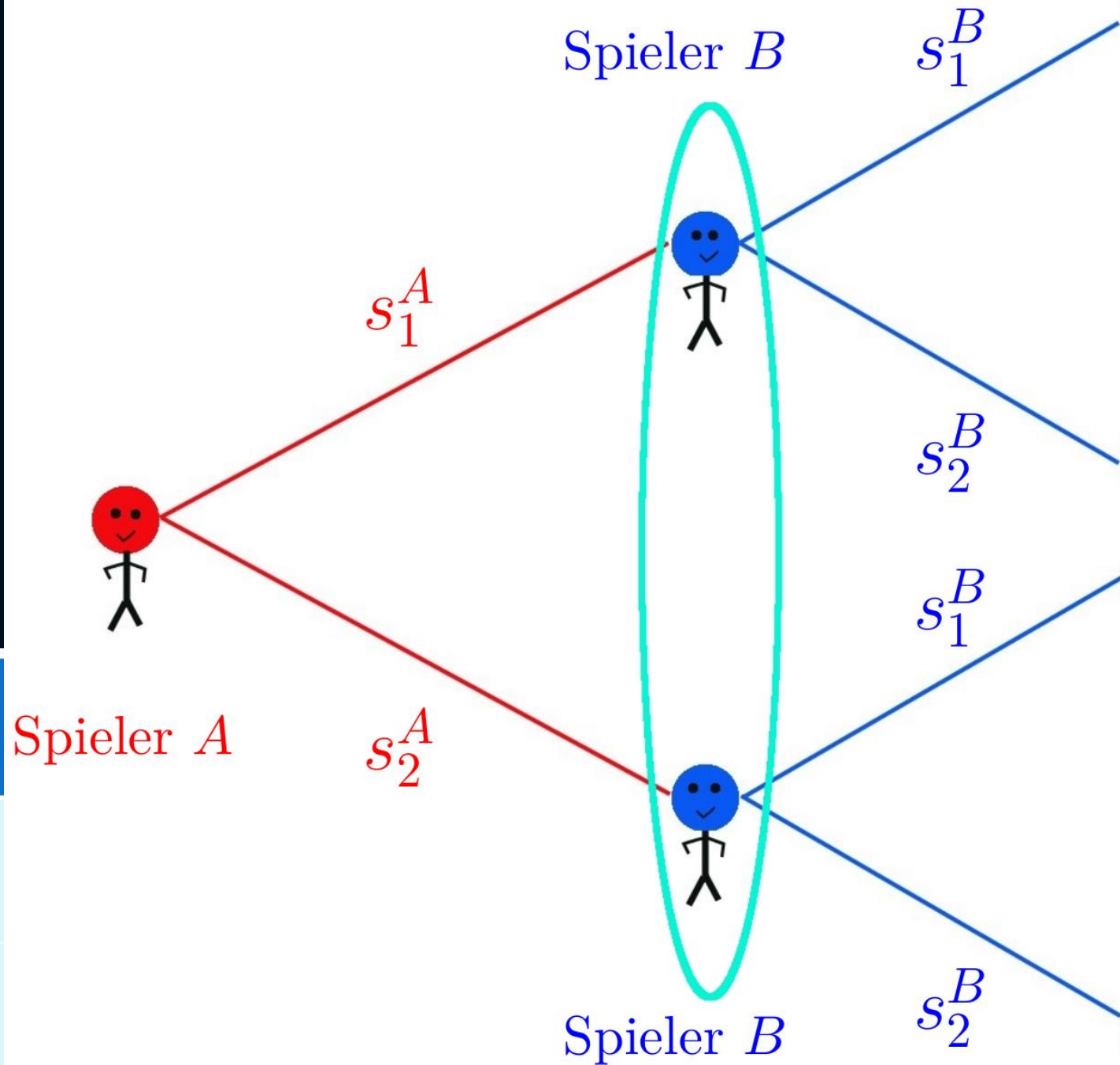
## Definition des Spiels:

Menge der Spieler: A und B

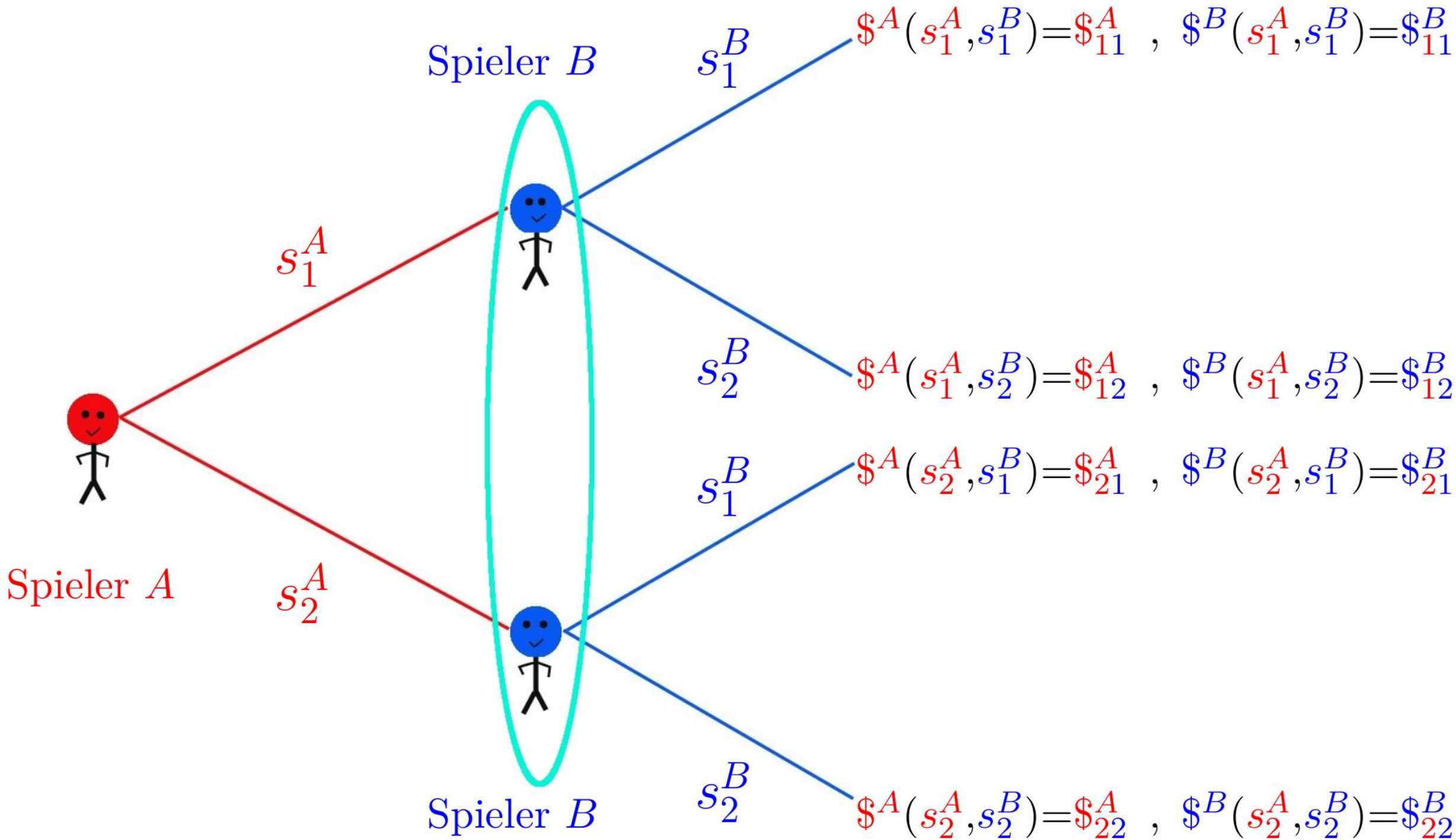
Menge der Strategien: 1 und 2

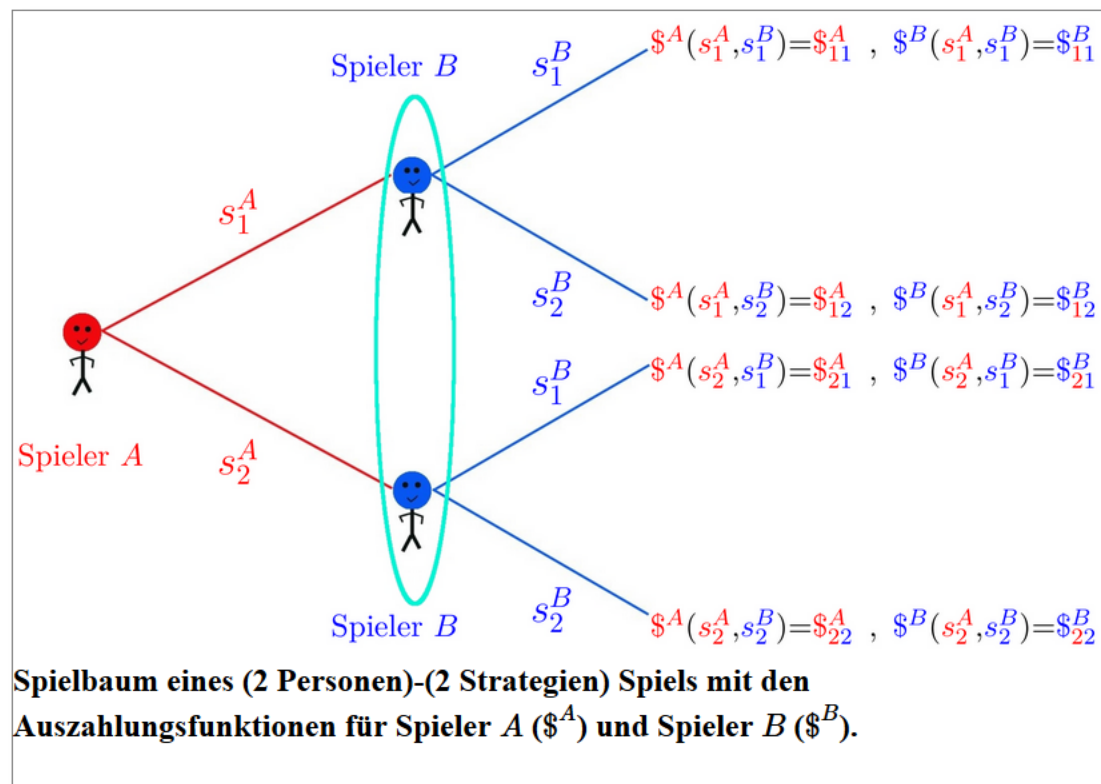
Auszahlungstabelle:

	Spieler B wählt Strategie 1	Spieler B wählt Strategie 2
Spieler A wählt Strategie 1	$(\$_{11}^A, \$_{11}^B)$	$(\$_{12}^A, \$_{12}^B)$
Spieler A wählt Strategie 2	$(\$_{21}^A, \$_{21}^B)$	$(\$_{22}^A, \$_{22}^B)$









Die nebenstehende Abbildung stellt den Spielbaum eines simultanen (2 Personen)-(2 Strategien) Spiels dar. Beide Spieler (Spieler A und Spieler B) treffen die Entscheidung, welche der beiden reinen Strategien ( $s_1$  und  $s_2$ ) sie auszuwählen gedenken, zur gleichen Zeit, d.h. beim Zeitpunkt der Entscheidung wissen beide Spieler nicht, welche der Strategien der andere Spieler auswählt.

$\$^\mu$  (mit  $\mu = A, B$ ) bezeichnet die Auszahlung, welche den Spielern nach Bekanntgabe ihrer Entscheidung ausgezahlt wird. Die Auszahlungen der vier möglichen Strategienkombinationen werden im folgenden durch die Auszahlungsmatrizen  $\hat{\$}^\mu$  angegeben. Die oben angegebene Definition vereinfacht sich in einem solchen ( $2 \times 2$ ) Spiel somit wie folgt:

( $2 \times 2$ ) Spiel:

$$\Gamma := \left( \{A, B\}, \mathcal{S}^A \times \mathcal{S}^B, (\hat{\$}^A, \hat{\$}^B) \right)$$

Menge der reinen Strategien des Spielers A und B:

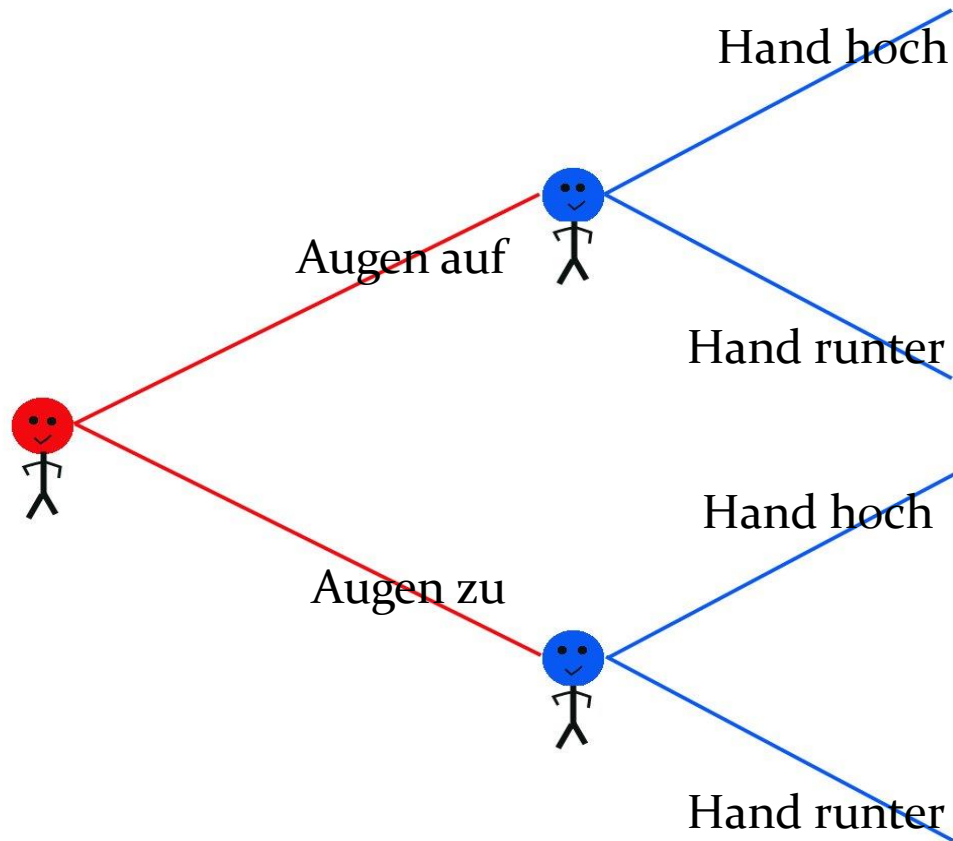
$$\mathcal{S}^A = \{s_1^A, s_2^A\}, \quad \mathcal{S}^B = \{s_1^B, s_2^B\}$$

Auszahlungsmatrix der Spieler A und B:

$$\hat{\$}^A = \begin{pmatrix} \$_{11}^A & \$_{12}^A \\ \$_{21}^A & \$_{22}^A \end{pmatrix}, \quad \hat{\$}^B = \begin{pmatrix} \$_{11}^B & \$_{12}^B \\ \$_{21}^B & \$_{22}^B \end{pmatrix}$$

Die nebenstehende Abbildung zeigt den Spielbaum eines simultanen (2 Personen)-(2 Strategien) Spiels. Die ovale, türkise Linie visualisiert den simultanen Charakter des Spiels; ohne diese, wäre der Spielablauf ein sequentieller und Spieler B wüste schon wie sich Spieler A entschieden hätte, bevor er seine Entscheidung trifft. Die vier möglichen Ausgänge des Spiels sind mit unterschiedlichen

# Einfaches Beispiel



	$s_1^2 \hat{=} Hh$	$s_1^2 \hat{=} Hr$
$s_1^1 \hat{=} Aa$	(10, 10)	(0, 0)
$s_2^1 \hat{=} Az$	(0, 0)	(0, 0)

(2 – Personen) – (2 – Strategien) – Spiel  $\Gamma$ :

$\Gamma := (A, (S^1, S^2), (\$^1, \$^2))$

Menge der Spieler :  $A = \{1, 2\} = \{\text{Alice, Bob}\}$

Strategienmenge des 1 - ten Spielers (Alice):

$S^1 = \{s_1^1, s_2^1\} = \{\text{Augen auf, Augen zu}\}$

Strategienmenge des 2 - ten Spielers :

$S^2 = \{s_1^2, s_2^2\} = \{\text{Hand hoch, Hand runter}\}$

Auszahlungsfunktion des 1 - ten Spielers :

$\$^1 : S^1 \times S^2 \rightarrow \mathfrak{R}$  mit

$\$^1(\text{Augen auf, Hand hoch}) = 10$

$\$^1(\text{Augen auf, Hand runter}) = 0$

$\$^1(\text{Augen zu, Hand hoch}) = 0$

$\$^1(\text{Augen zu, Hand runter}) = 0$

Auszahlungsfunktion des 2. Spielers wie 1.

# Beispiel Nr.1

	$s_1^2 \hat{=} Aa$	$s_1^2 \hat{=} Az$
$s_1^1 \hat{=} Aa$	(0, 0)	(2, -1)
$s_2^1 \hat{=} Az$	(-1, 2)	(1, 1)

(2 – Personen) – (2 – Strategien) – Spiel  $\Gamma$  :

$\Gamma := (A, (S^1, S^2), (\$^1, \$^2))$

Menge der Spieler :  $A = \{1, 2\} = \{\text{Alice}, \text{Bob}\}$

Strategienmenge des 1-ten Spielers (Alice):

$S^1 = \{s_1^1, s_2^1\} = \{\text{Augen auf}, \text{Augen zu}\} = \{Aa, Az\}$

Strategienmenge des 2-ten Spielers :

$S^2 = \{s_1^2, s_2^2\} = \{\text{Augen auf}, \text{Augen zu}\} = \{Aa, Az\}$

Auszahlungsfunktion des 1. und 2. Spielers :

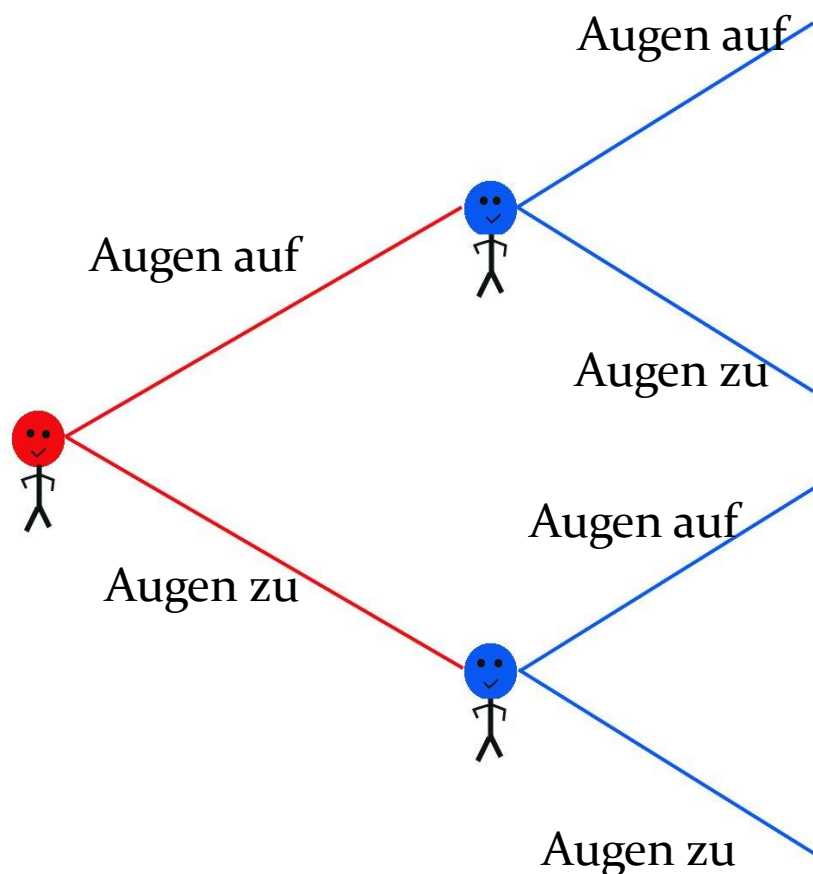
$\$^1 : S^1 \times S^2 \rightarrow \mathbb{R}$  und  $\$^2 : S^1 \times S^2 \rightarrow \mathbb{R}$  mit

$\$^1(Aa, Aa) = 0$  und  $\$^2(Aa, Aa) = 0$

$\$^1(Aa, Az) = 2$  und  $\$^2(Aa, Az) = -1$

$\$^1(Az, Aa) = -1$  und  $\$^2(Az, Aa) = 2$

$\$^1(Az, Az) = 1$  und  $\$^2(Az, Az) = 1$



# Wir spielen ein Spiel

Sie (Spieler A) und ihr Nebenmann/frau (Spieler B) spielen ein simultanes (2x2)-Spiel mit symmetrischer Auszahlungsmatrix (siehe Tabelle unten). Nehmen Sie an, dass die Auszahlungswerte in der Tabelle in Einheiten von Euro angegeben sind.

Schauen Sie in Richtung der Tafel, positionieren Sie ihre Hände als „Scheuklappen“ an ihre Schläfen (ihr Nebenmann/frau und die anderen Studenten dürfen ihre Entscheidung nicht sehen!).

Wenn der Spielleiter „Und jetzt bitte entscheiden.“ sagt, dann treffen Sie ihre Entscheidung und lassen entweder ihre Augen offen (Strategie 1) oder machen ihre beiden Augen zu (Strategie 2). Sie bleiben solange in diesem Zustand bis der Spielleiter „Fertig“ sagt.

Schreiben Sie ihre Entscheidung auf einen Zettel („auf“ oder „zu“) und zeigen diesen ihrem Spielpartner. Bitte versuchen Sie hierbei so still wie möglich zu sein und vermeiden Sie ebenfalls Gestiken/Mimiken die ihre Freude/Trauer über den Ausgang des Spiels zum Ausdruck bringen könnten.

Notieren Sie die Entscheidung ihres Spielpartners und ihren erzielten Euro-Betrag neben ihrer Entscheidung auf ihren Zettel.

Suchen Sie sich einen neuen Spielpartner und das nächste Spiel beginnt.

Spieler B	Strategie 1 Augen auf	Strategie 2 Augen zu
Spieler A		
Strategie 1 Augen auf	(0 , 0)	(2 , -1)
Strategie 2 Augen zu	(-1 , 2)	(1 , 1)

# Wir spielen ein Spiel (Spiel 1)

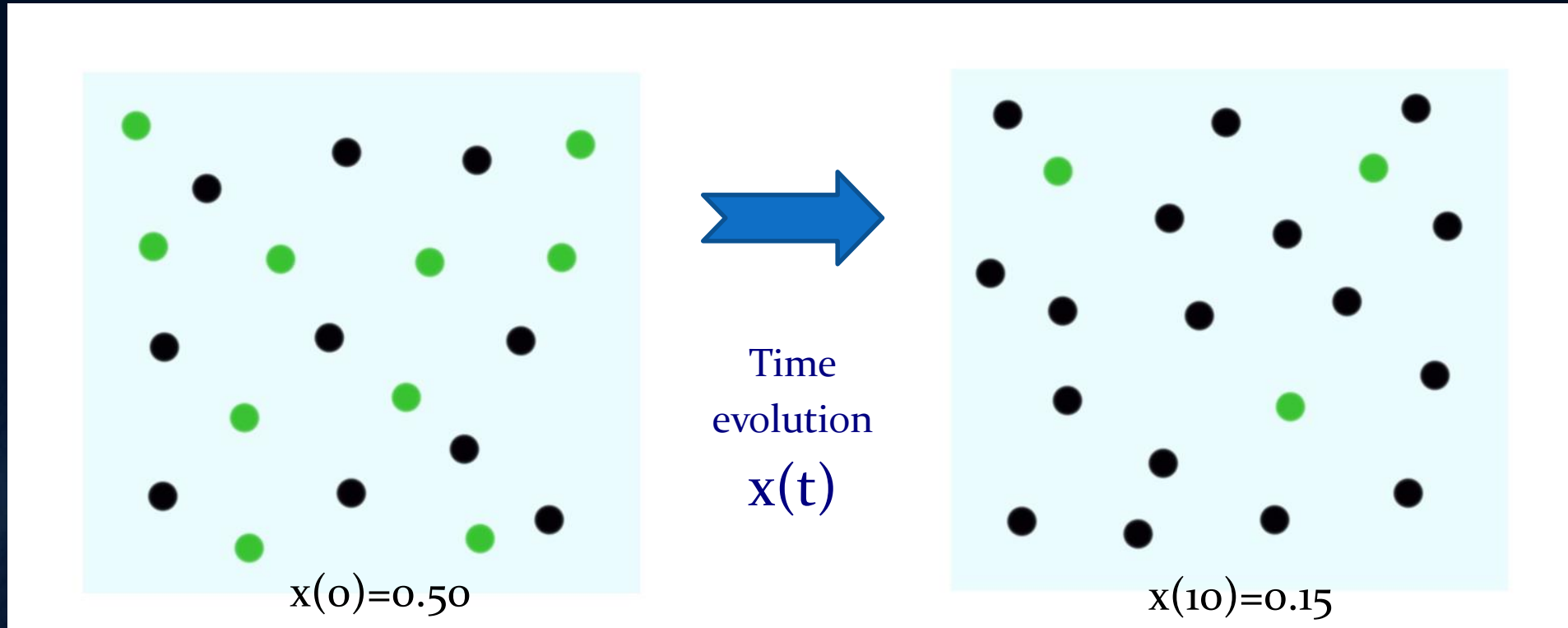
Spieler B Spieler A	Strategie 1 Augen auf	Strategie 2 Augen zu
Strategie 1 Augen auf	$(0, 0)$	$(2, -1)$
Strategie 2 Augen zu	$(-1, 2)$	$(1, 1)$

# Wir spielen ein Spiel (Spiel 2)

Spieler B Spieler A	Strategie 1 Augen auf	Strategie 2 Augen zu
Strategie 1 Augen auf	(2, 2)	(4, 0)
Strategie 2 Augen zu	(0, 4)	(5, 5)

# Evolutionäre Spieltheorie

Evolutionary game theory describes the dynamical evolution of the strategic behavior of an entire population of players.



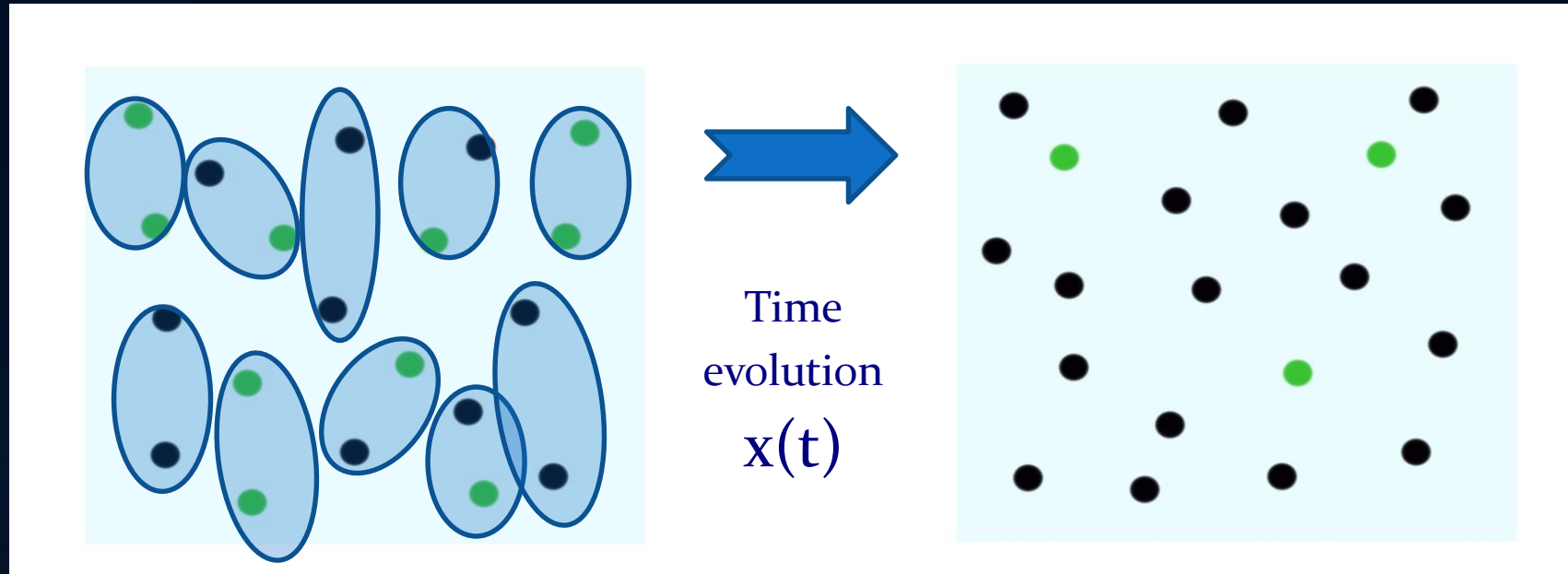
Strategien der Spieler: (Grün , Schwarz)

$x(t)$  : Anteil der Spieler die die Strategie „Grün“ zur Zeit  $t$  spielen.



# Evolutionäre Spieltheorie

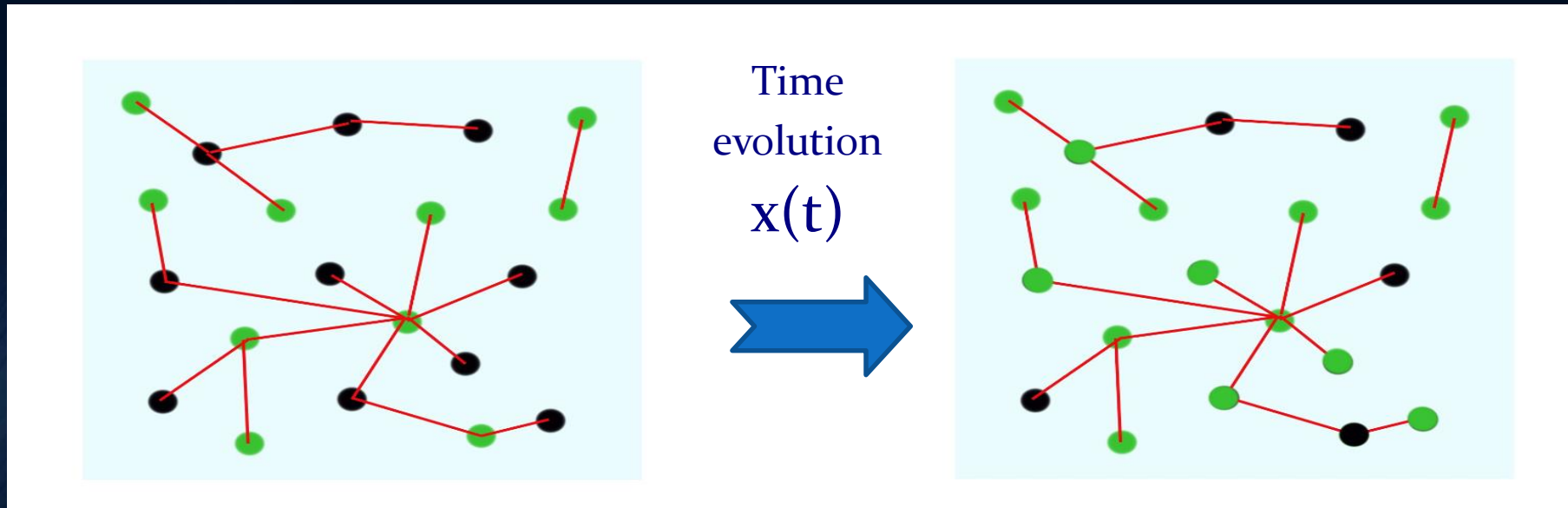
The individual actors within the considered population play a continuous repetition of the game with each other.



In each time step, two players meet randomly to play the game, they receive their payoffs and then move to the next game partner to play the same game in the next time step.

# Komplexe Netzwerke

In reality, the connections between the actors of biological and socio-economic systems often show non-trivial topological features. The population of the system can have group dependent sub-structures, clustering properties and the topology of underlying complex network can show simple random, small world or scale free properties. Such network properties are not implemented within classical evolutionary game theory.



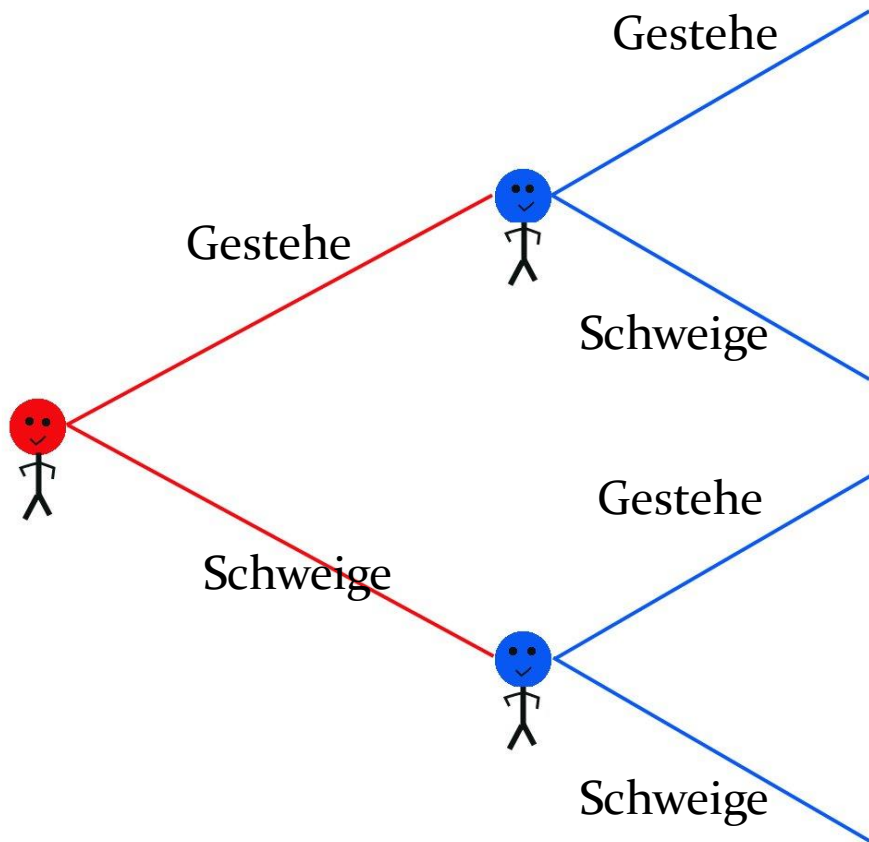
Strategies of each node (of each player): (green , black)

$x(t)$  : Fraction of player with strategy „green“ as a function of time  $t$

**Red lines** indicate the connections to potential game partners

# Das Gefangenendilemma

	G	S
G	$(-7, -7)$	$(-1, -9)$
S	$(-9, -1)$	$(-3, -3)$



Bonnie und Clyde werden nach einem missglückten Banküberfall geschnappt und in verschiedenen Zellen untergebracht. Wenn beide schweigen kann der Staatsanwalt sie nur wegen verbotenen Waffenbesitzes für drei Jahre hinter Gitter bringen. Verrät jedoch einer den anderen, dann bekommt der Geständige als Zeuge der Anklage nur für ein Jahr hinter Gitter – der Nichtgeständige muss dann aber für neun Jahre ins Gefängnis. Gestehen beide, so müssen sie sieben Jahre absitzen.

# Evolutionary Game Theory Applications

## Biology:

**Distribution of bacteria in organisms**

See for example: Kerr, Feldmann, Nature 2002

**Cooperation of virus populations**

See for example: Turner, Chao, Nature 1999

**Mating strategies of lizards**

See for example: Sinervo, Hazard, Nature 1996

**Evolutionary dynamics of macromolecules**

See for example: Eigen, Schuster, Naturwissenschaften 64, 1977

## Economics:

### "Public Goods" - Games

Elinor Ostrom, Trust in Private and Common Property Experiments

C. Clemens and T. M. Perfunke, Evolutionary Dynamics in Public Good Games, Computational Economics (2006) 28: 399-420

M. Kosfeld, A. Okada and A. Riedl, Institution Formation in Public Goods Games, American Economic Review, 2009, 99:4, 1335-1355

### Experimental economics

Elinor Ostrom et al., Cooperation in PD games: Fear, greed, and history of play, Public Choice 106: 137-155, 2001.

### Behavioral economics (altruism, empathy, ...)

See for example articles by Fehr et al.

### Evolution of information networks

S. Bernius, M. Hanauske, B. Dugall, W. König, Exploring the Effects of a Transition to Open Access, Journal of the American Society for Information Science and Technology, accepted for publication (2012)

## **Social science:**

### **Social learning, Cultural and moral evolution**

Evolution of social learning does not explain the origin of human cumulative culture, M. Enquist, S. Ghirlanda, *Journal of Theoretical Biology* 246 (2007)

Evolution of moral norms, W. Harms and B. Skyrms, *Oxford Handbook on the Philosophy of Biology*

### **Evolution of language**

Finite populations choose language at best, C. Pavlovich, *Journal of Theoretical Biology* 249 (2007) 606-616

### **Evolution of social norms**

Collective Action and the Evolution of Social Norms, E. Ostrom, *The Journal of Economic Perspectives*, vol 14, no. 3 ( 2000), p. 137-158

### **Evolution of social networks**

Governing Social-Ecological Systems, M. A. Janssen and E. Ostrom

A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems, E. Ostrom, et al., *Science* 325, 419 (2009)

# Das Nash-Gleichgewicht

Ein Nash-Gleichgewicht ist eine Strategienkombination, von der aus kein Spieler einen Vorteil erhalten würde, wenn er von seiner Strategie abweicht. Die Spieler würden keine größere Auszahlung erhalten.

Es gibt ein Nash-Gleichgewicht  
in diesem Spiel:

Strategienkombination:  
(Aa , Hh)=(Augen auf , Hand hoch)

	$s_1^2 \hat{=} Hh$	$s_1^2 \hat{=} Hr$
$s_1^1 \hat{=} Aa$	(10 , 10)	(0 , 0)
$s_2^1 \hat{=} Az$	(0 , 0)	(0 , 0)

# Das Nash-Gleichgewicht im Gefangenendilemma

	Spieler B Gestehe	Spieler B Gestehe nicht
Spieler A Gestehe	$(-7, -7)$	$(-1, -9)$
Spieler A Gestehe nicht	$(-9, -1)$	$(-3, -3)$

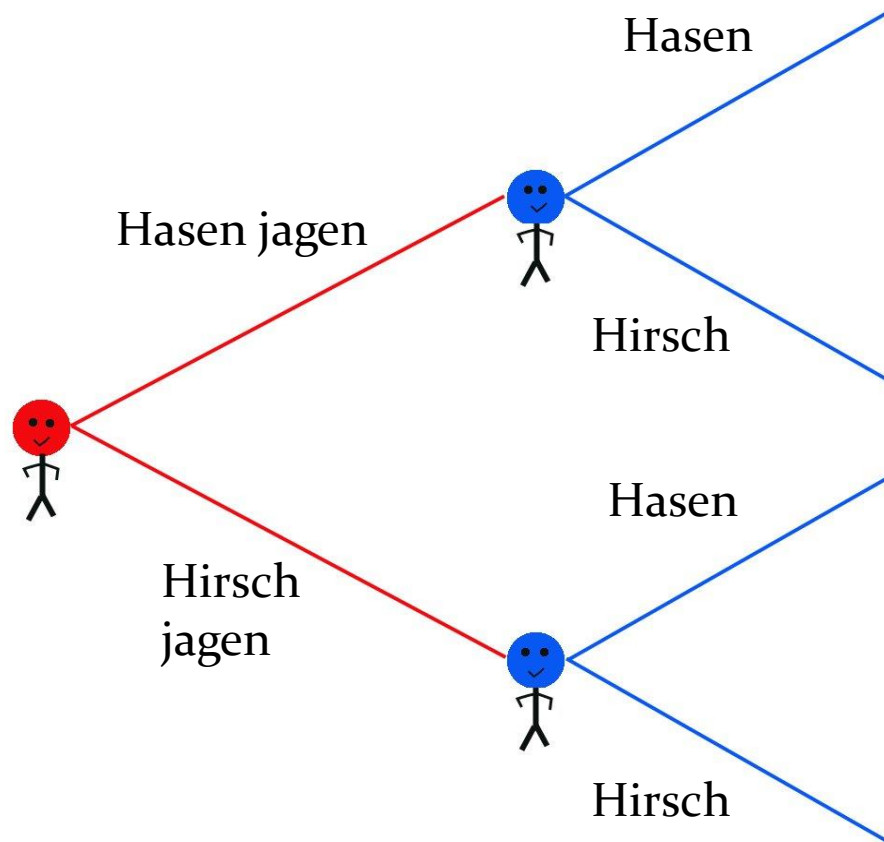


# Das Nash-Gleichgewicht im Gefangenendilemma

	Spieler B Gestehe	Spieler B Gestehe nicht
Spieler A Gestehe	$(-7, -7)$	$(-1, -9)$
Spieler A Gestehe nicht	$(-9, -1)$	$(-3, -3)$

# Rousseaus Hirschjagt - Spiel

	Hasen	Hirsch
Hasen	(2, 2)	(4, 0)
Hirsch	(0, 4)	(5, 5)



Zwei Jägern ist es im Laufe der Jagt gelungen einen Hirsch und vier Hasen einzukreisen. Die Jäger stehen nun vor der Entscheidung die Hasen entkommen zu lassen und gemeinsam den Hirsch zu erlegen oder sofort das Feuer auf die Hasen zu eröffnen. Entscheiden sich beide dafür den Hirsch zu erlegen, dann hat der Hirsch keine Chance. Einen Hirsch kann man für 10 Goldmünzen verkaufen. Entscheiden sich beide für die Hasenjagt, dann erschießt jeder Jäger zwei Hasen, für die man jeweils eine Goldmünze bekommt. Entscheidet sich jedoch nur einer für die Hirschjagt, so kann der Hirsch entkommen und derjenige der sich für die Hasenjagt entschieden hat kann alle vier Hasen erlegen.

# Nash-Gleichgewichte im Hirschjagt-Spiel

	Spieler B Hasen jagen	Spieler B Hirsch jagen
Spieler A Hasen jagen	$(2, 2)$	$(4, 0)$
Spieler A Hirsch jagen	$(0, 4)$	$(5, 5)$

# Beispiel eines (2 Personen)-(3 Strategien) Spiels:

## *Schere-Stein-Papier*

(2 – Personen) – (3 – Strategien) – Spiel  $\Gamma$  :

$\Gamma := (A, (S^1, S^2), (\$^1, \$^2))$

Menge der Spieler :  $A = \{1, 2\} = \{\text{Alice}, \text{Bob}\}$

Strategienmenge des 1 - ten Spielers (Alice):

$S^1 = \{s_1^1, s_2^1, s_3^1\} = \{\text{Stein}, \text{Schere}, \text{Papier}\}$

Strategienmenge des 2 - ten Spielers :

$S^2 = \{s_1^2, s_2^2, s_3^2\} = \{\text{Stein}, \text{Schere}, \text{Papier}\}$

Auszahlungsfunktion des 1. und 2. Spielers :

$\$^1 : S^1 \times S^2 \rightarrow \mathbb{R}$  und  $\$^2 : S^1 \times S^2 \rightarrow \mathbb{R}$  mit

$\$^1(\text{Stein}, \text{Stein}) = 0$  und  $\$^2(\text{Stein}, \text{Stein}) = 0$

$\$^1(\text{Stein}, \text{Schere}) = 1$  und  $\$^2(\text{Stein}, \text{Schere}) = -1$

$\$^1(\text{Stein}, \text{Papier}) = -1$  und  $\$^2(\text{Stein}, \text{Papier}) = 1$

...

	Stein	Schere	Papier
Stein	(0,0)	(1,-1)	(-1,1)
Schere	(-1,1)	(0,0)	(1,-1)
Papier	(1,-1)	(-1,1)	(0,0)

Physik der sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer von Dr.phil.nat.Dr.rer.pol. Matthias Hanauske

[Home](#) [Research](#) [Contact](#)

[Einführung](#)

[Teil I](#)

[Teil II](#)

[Teil III](#)

[E-Learning](#)

## **E-Learning**

### **Zusatzmaterial auf der Online-Lernplattform Lon Capa**

Zusätzlich zu den Informationen aus dieser Internetseite wurde ein separater Kurs auf der Online-Lernplattform Lon Capa erstellt. Er beinhaltet neben den hier dargestellten Informationen zusätzliche Erläuterungen, diverse interaktive Übungsaufgaben, Feedbackmöglichkeiten und Probeklausuren. Falls Sie schon einen Lon Capa Account besitzen können Sie sich einfach mit diesem unter dem unten angegebenen Link einloggen. Falls Sie Student der Universität Frankfurt sind, können Sie sich mit Ihrem HRZ-Account einloggen. Anderenfalls kontaktieren Sie bitte per E-Mail und ich werde für Sie einen Account für die Lernplattform erstellen.

[Hier gehts zu Lon Capa](#)