

# Algorithmic Mechanism Design

## Distributed Intelligence in Computing

*Raphael Eidenbenz*  
*ETH Zurich, Switzerland*

*(some slides by Yvonne-Anne Pignolet, Michael Kuhn, ETH Zurich  
or Stefan Schmid, TU Munich)*



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# Übersicht

---

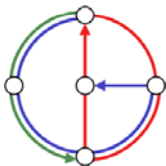
## **Verteilte Intelligenz**

- **Schwarmintelligenz, Small World Phenomenon, Greedy Routing**
- **Peer-To-Peer Computing**

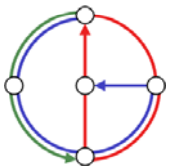
## **Mechanismusdesign**

- **Effizienzverlust durch Eigennützigkeit**
- **Anreizkompatibilität**
- **Free Riding in Peer-To-Peer Computing**

Fragen, wenn etwas unklar ist!



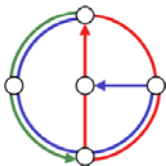
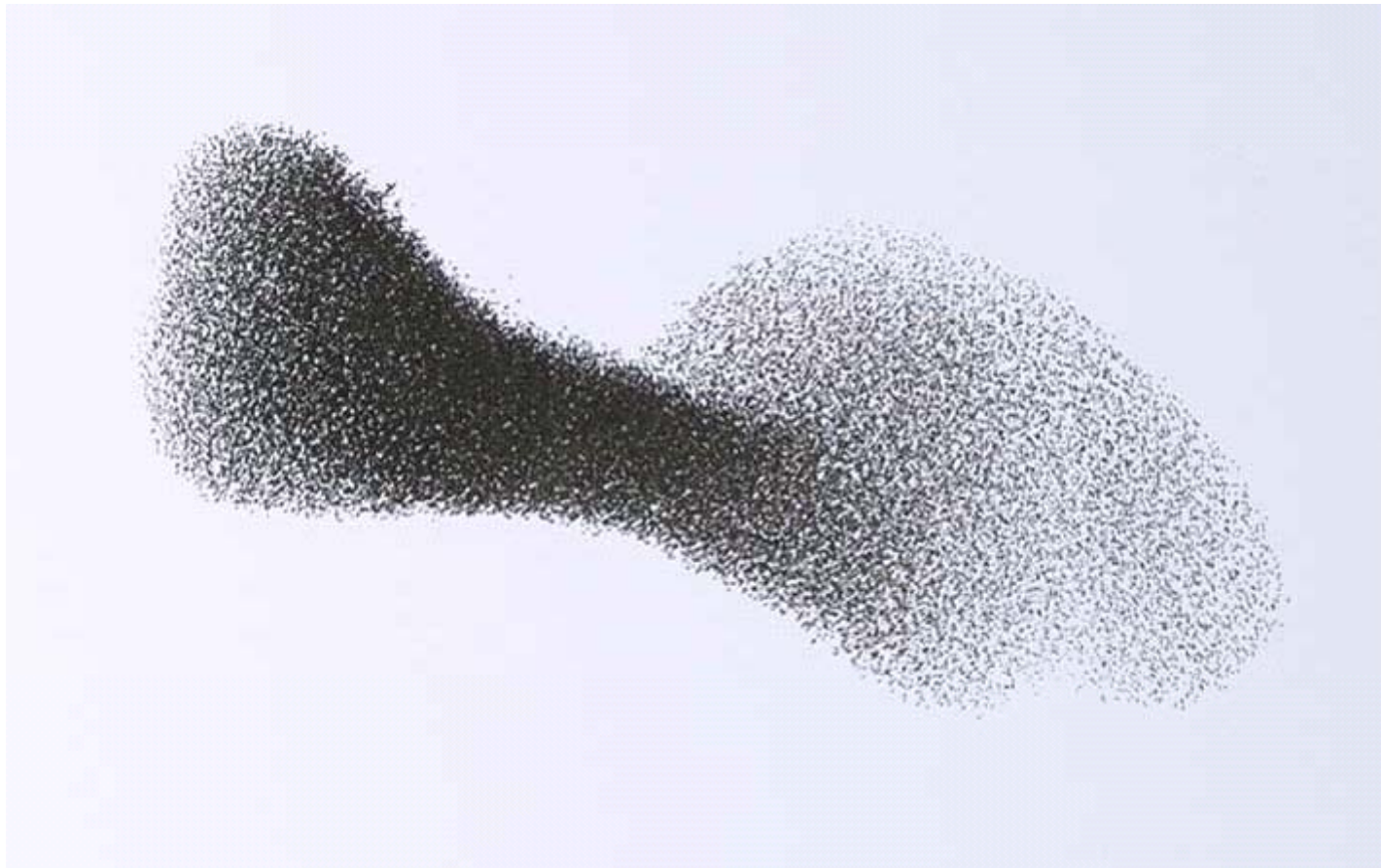
# Verteilte Intelligenz



# Schwarmverhalten

---

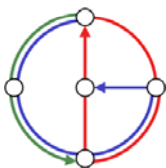
- “The ability of animal groups—such as this flock of starlings—to shift shape as one, even when they have no leader, reflects the genius of collective behavior—something scientists are now tapping to solve human problems.”  
[<http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/swarms-photography>]



# Schwarmintelligenz

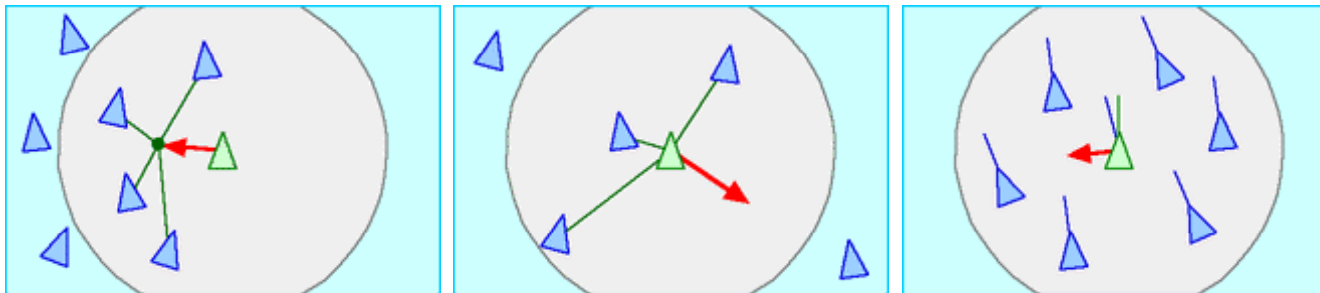
---

- “Even complex behavior may be coordinated by relatively simple interactions.”
- “Simple creatures following simple rules, each one acting on local information. No individual sees the big picture.”
  - [<http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/swarms-photography>]

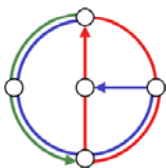
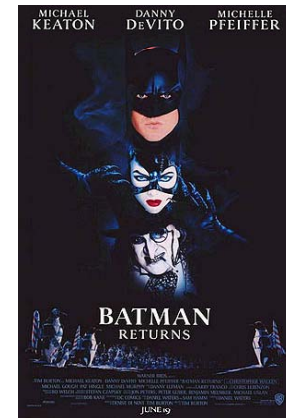


# Schwarm-Modellierung

- Schwärme lassen sich mit drei simplen Regeln auf **individueller** Ebene simulieren. [Reynolds 1986]
  - Jeder einzelne Agent soll folgenden Regeln folgen:
    - Bewege dich in Richtung des Mittelpunkts derer, die du in deinem Umfeld siehst.
    - Bewege dich weg, sobald dir jemand zu nahe kommt.
    - Bewege dich in etwa in dieselbe Richtung wie deine Nachbarn.



- Eingesetzt in Animationen
  - Batman Returns (1992), Lion King (1994), ...

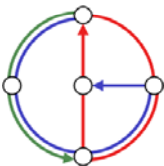




# Small World Phenomenon

---

- Experiment von Stanley Milgram 1967:
  - 60 zufällige Personen in der USA senden ein Paket über **persönliche** Kontakte an eine bestimmte Person in Boston
  - Resultat:
    - Durchschnittliche Pfadlänge bei ~6 Kontakten
    - Pfad wurde gefunden mit lokalen Kenntnissen (geographisch, sozial)
    - Seine Hypothese:
      - Jeder Mensch ist über eine kurze Kette von Kontakten mit allen anderen verbunden
      - Soziale Netzwerke haben kleinen Durchmesser
  - Hypothese Milgram's wurde in einigen Experimenten bestätigt
    - Zuletzt in einer Microsoft Studie eines Instant Messenger-Netzwerkes mit 9,1 Milliarden Kontakten. [Leskovec und Hirvitz 2008]



# Small World Graph [Watts&Strogatz 1998, Kleinberg 2000]

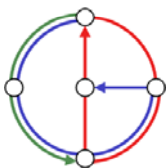
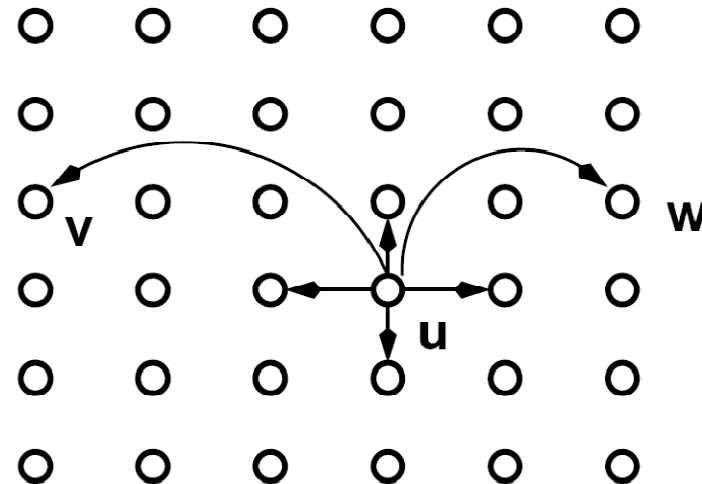
- Netzwerk in einem metrischen Raum
  - Distanz zw. Knoten  $u$  und  $v$  messbar. Distanzfunktion  $d(u,v)$ .
- Kontaktwahrscheinlichkeit nimmt mit steigender Entfernung ab
  - $Pr[\text{Kontakt } u,v] \sim d(u,v)^{-r}$

Bsp. Kontakte eines Knotens in einem Gitternetzwerk mit  $r=2$ .

$Pr[\text{Kontakt zu direkten Nachbarn}] = 1^{-r} = 1$

$Pr[\text{Kontakt } u,v] = 4^{-r} = 1/16$

$Pr[\text{Kontakt } u,w] = 3^{-r} = 1/9$



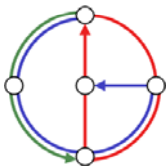


# Routing in a Small World Graph

---

- Eigenschaften des SWG
  - Kleiner Durchmesser (Durchmesser = längster kürzester Pfad)
    - $O(\log n)$  im Erwartungswert
  - Robust (kein Bottleneck)
- Wie findet das Paket seinen Weg?
  - Ein Knoten hat nur lokale Kenntnisse. Er kennt
    - seine Kontakte,
    - deren Position im metrischen Raum
    - die Position des Zielknotens
- Greedy Routing liefert einen Pfad von  $O(\log^2 n)$  Länge in Erwartung.

Lokaler „Greedy“ Algorithmus:  
Wähle einen Kontakt der so nah wie möglich am Ziel ist.



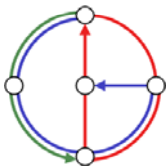
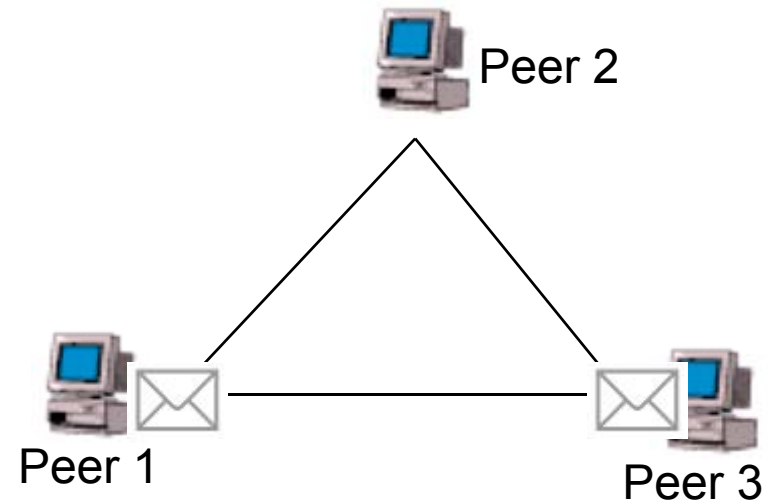
# Peer-To-Peer (P2P) Computing

---

- Traditionelle Internetanwendungen
  - Client-Server Struktur
  - Request - Answer

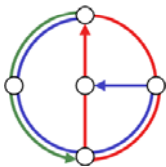
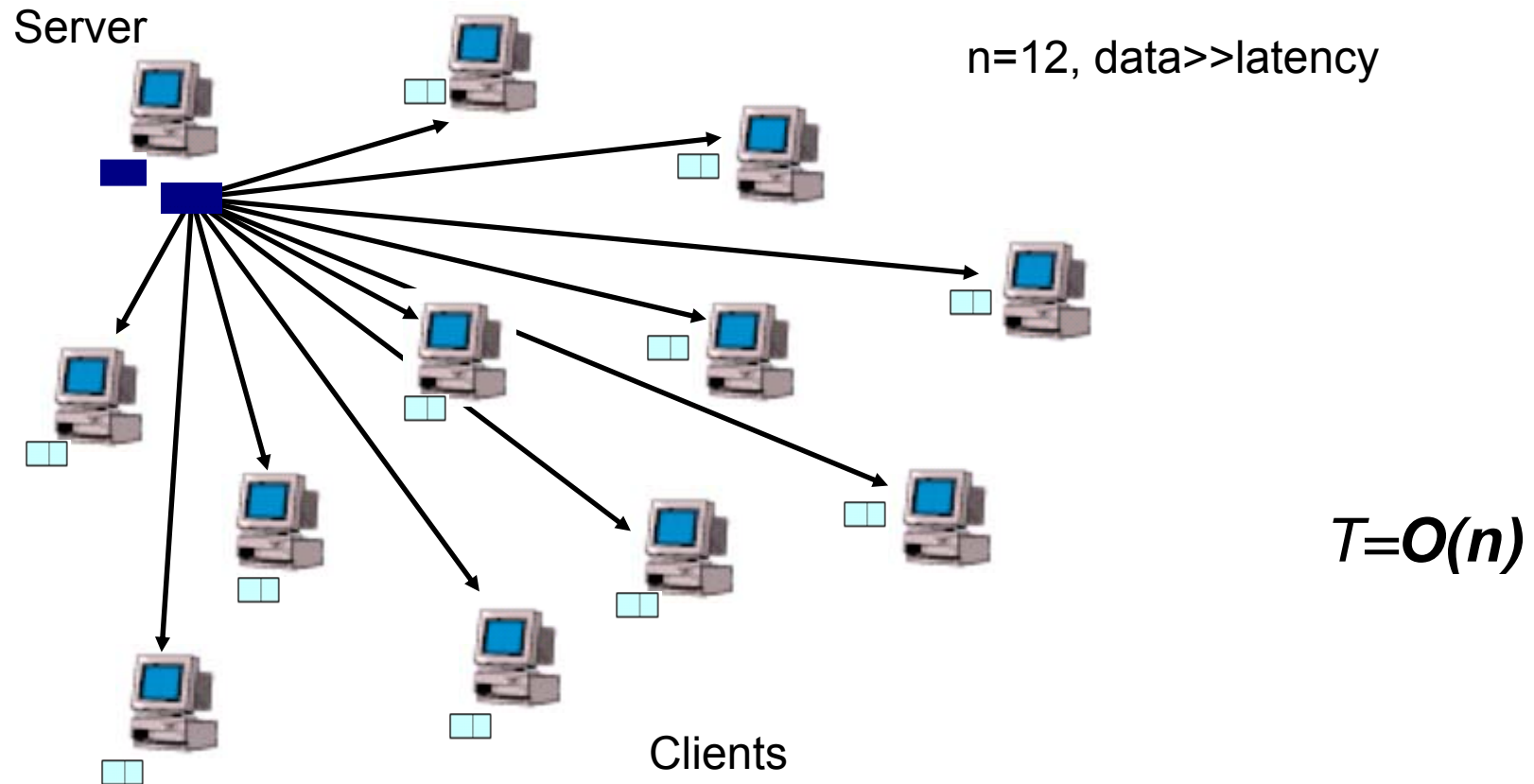


- Peer-To-Peer Anwendungen
  - Peers sind Clients und Servers
  - Dezentral organisiert
    - Es gibt keinen zentralen Koordinator

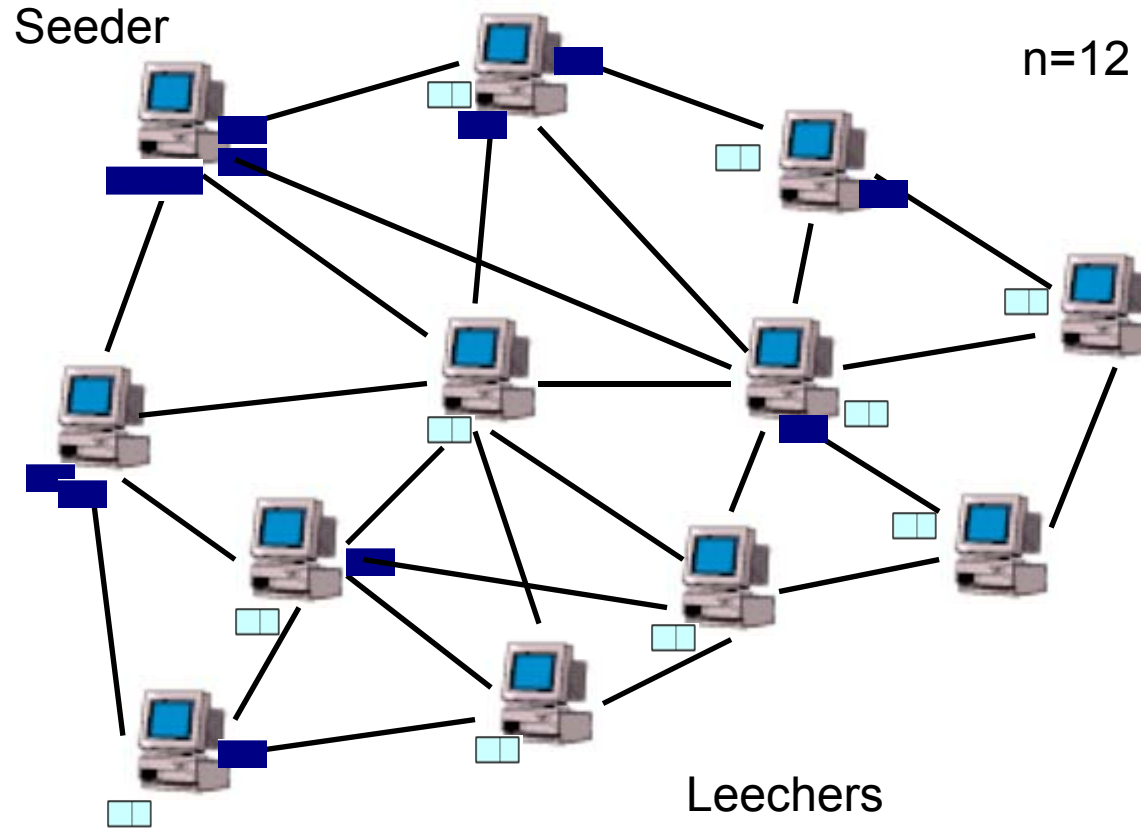


# Broadcast Client-Server

- Broadcast: 1 Computer sendet dasselbe File an n-1 Interessenten



# Broadcast P2P



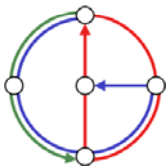
Anfang: 1 Seeder

1.Schritt: 2

2.Schritt: 4

$i$ .Schritt:  $2^i$  Seeders

$$2^{\log n} = n \rightarrow T = O(\log n)$$



# Zusammenfassung Verteilte Intelligenz

---

- Lokale Entscheidungen führen zu globalen Phänomenen
  - Schwärme
  - Internet Routing
  - Netzwerkbildung
- Verteilte Algorithmen
  - Divide and Conquer
  - Grid Computing
  - Peer-to-Peer

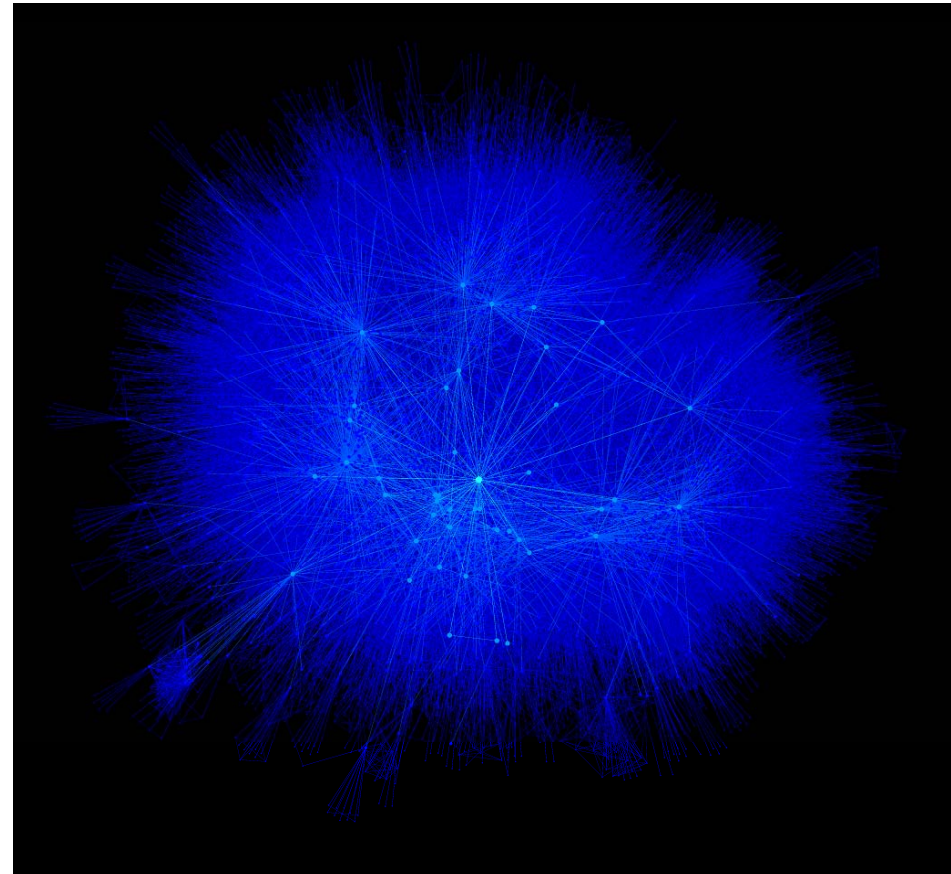
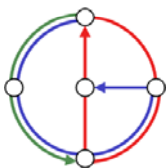


Image from: [datamining.typepad.com](http://datamining.typepad.com)

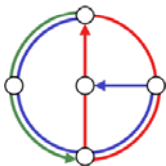


## ...Friede, Freude, Eierkuchen?

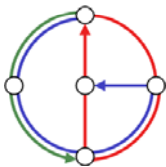
---

- Nein!
  - Wieso soll ich mir die Mühe machen, ein Paket für einen Fremden zu verschicken?
  - Wieso soll ich ein File seeden, wenn ich es bereits vollständig heruntergeladen habe?

„Machts gut, ihr ...!“



# Rechnen in Eigennütziger Umgebung

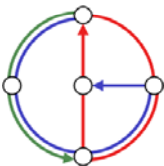




# Algorithmic Mechanism Design

---

- Problem: Eigennützigkeit beeinträchtigt die Effizienz
  - Das Internet ist eine eigennützige Umgebung
- Idee: Mach gewünschtes Verhalten anreizkompatibel!
- Mechanism Design  $\approx$  „inverse“ Spieltheorie
  - **Spieltheorie** beschreibt bestehende Systeme
    - Erklärt Verhalten mittels Lösungskonzepten
  - **Mechanism Design** kreiert Spiele, bei denen das erwünschte Verhalten für die Agenten die „rational beste“ Strategie ist.
    - In einem anreizkompatiblen Mechanismus soll es sich nicht lohnen zu betrügen
    - Populärstes Lösungskonzept: Dominante Strategien



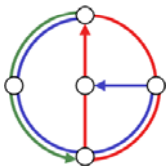
# Free-Riding in P2P Computing

---

- Peer-to-peer Systeme basieren auf **Beiträgen** der Agenten
  - „Tauschbörsen“



- Peer-to-peer Interaktionen sind unverbindlich
  - Agenten sind **anonym** und treffen sich vermutlich nie wieder
  - IP-Adresse als einzige Identifikation
    - Ist nicht eindeutig
    - Kann geändert werden
- **Dezentral** organisiert
- Free-Riding ist einfach!
  - Nehmen macht seliger denn geben

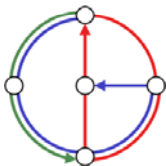


# Free-Riding in P2P: Lösungen

- Lösungen?
- Naiv: **Kazaa**
  - Client überwacht contributions
  - In **Kazaa lite** Client ist max hart codiert

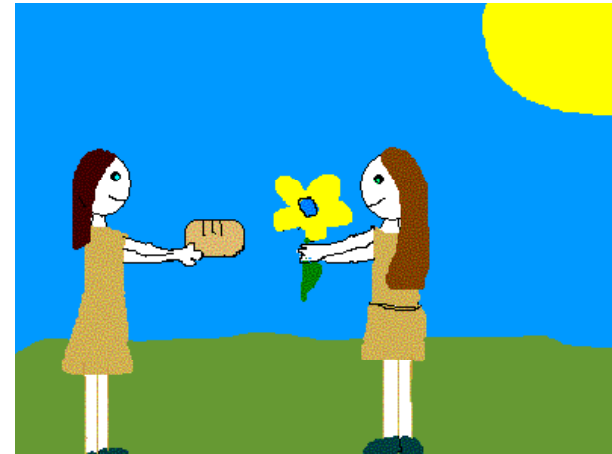


- Idee: Beispiel **reale Wirtschaft!**
  - Virtuelles Geld
  - Aber: keine Zentralbank
- Andere Idee: **Reputation**-basiert!
  - White-washing



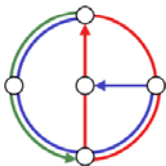
# Free-Riding in P2P: Lösungen (2)

- Altmodische Idee: **Tauschgeschäfte**  
Wie finde ich einen Tauschpartner?  
Was, wenn ich noch nichts zu tauschen habe?



- **Bram Cohen** läutet Paradigmenwechsel ein
  - Files sind typischerweise gross, mehrere gleichzeitige Interessenten
  - Tauschhandel ist möglich für ein **einzelnes File!**

- BitTorrent braucht **Tit-for-Tat Mechanismus** auf File-Blöcken  
- Bootstrap Problem gelöst durch **Optimistic Unchoking**



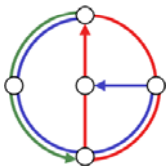
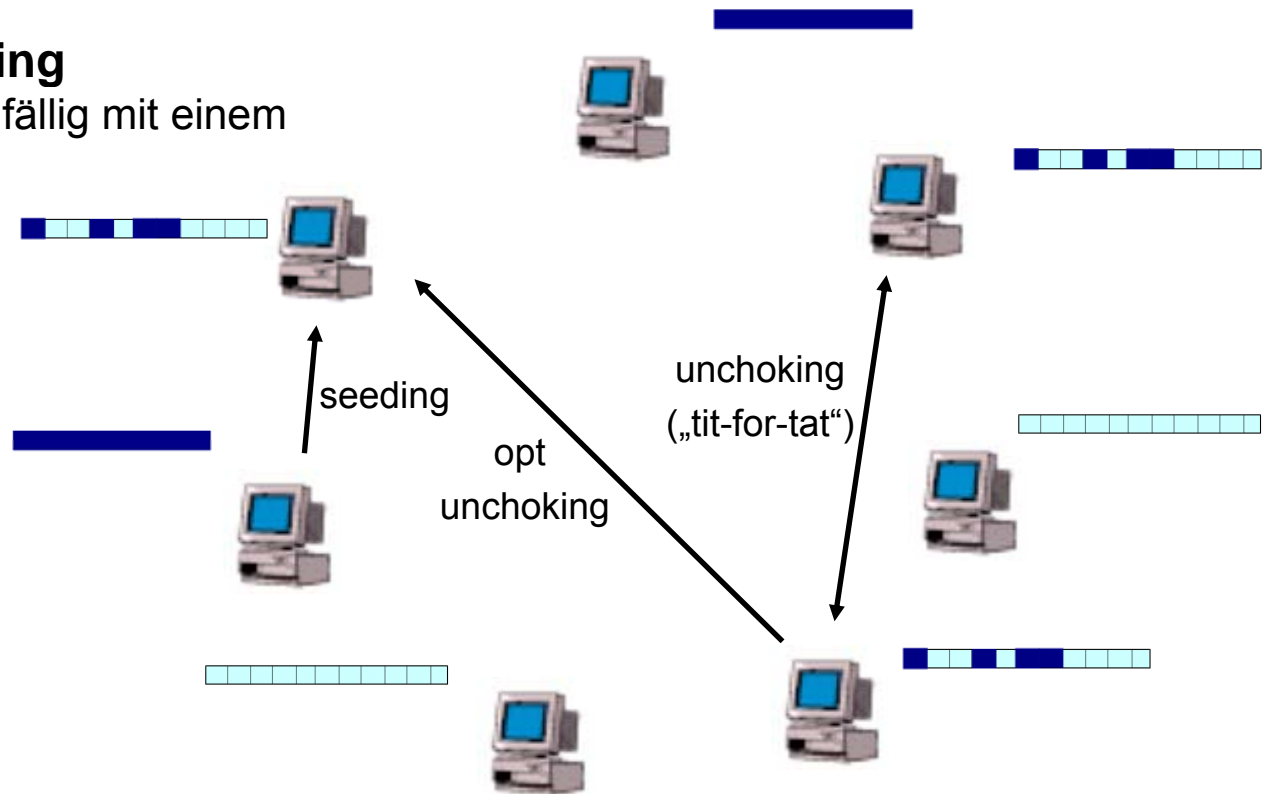
# Bittorrent

## Tit-for-Tat Mechanismus (repeated Game) für 1 File, n interessierte Peers

- Blockvielfalt wird hoch gehalten
  - Peers können tauschen
- Peers passen QoS an

## Optimistic Unchoking

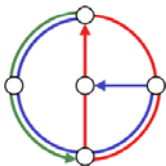
- Ab und zu wird zufällig mit einem Peer getauscht.



# Free-Riding in Bittorrent is cheap

---

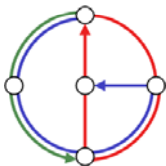
- Auch BitTorrent ist nicht cheating-proof
  - Bootstrappproblem nicht 100%-ig gelöst
  - Optimistic Unchoking kann ausgenutzt werden
  - [Locher et al. 2006]: BitThief-Client
    - <http://dcg.ethz.ch/projects/bitthief/>



# Konklusion

---

- Verteilte Intelligenz
  - Lokales Handeln basierend auf lokaler Information kann zu makroskopisch guten Lösungen führen
    - Greedy Routing
- Algorithmic Mechanism Design
  - Fehlende Anreizkompatibilität führt in verteilten Computersystemen mit eigennützigen Agenten als Akteuren (z.B. Internet) zu Effizienzverlust
    - Neue Herausforderung in der Informatik: Anreize analysieren und kompatible, trotzdem effiziente Protokolle designen
    - Überschneidung mit der Soziologie, Ökonomie und Politologie





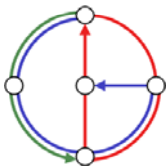
# P2P: Ungelöste Probleme

---

- Gibt es eigennütziges Seeding?
  - Persistenz der Files könnte erhöht werden
  - Tauschhandel über File-Grenzen hinweg
- Wieso funktioniert trotzdem ganz gut?
  - Altruistische Seeder: Was treibt sie an?
  - Geringe Kosten
    - Down-/Uploadkapazitäten nicht erschöpft, keine Limiten
  - Agent  $\neq$  Mensch
    - Strategie nur von Programmierer frei wählbar

**THANK**

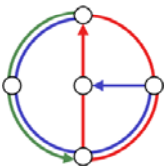
**YOU!**



# Bibliographie

---

- [Leskovec und Hirvitz 2008]: [\*Planetary-Scale Views on a Large Instant-Messaging Network\*](#). Microsoft-Studie, WWW 2008.
- [Jon Kleinberg 2000]: *The Small-World Phenomenon: An Algorithmic Perspective*. STOC 2000.
- [Watts and Strogatz 1998]: *Collective Dynamics of Small-World Networks*. Nature 393,440 (1998).
- [Reynolds 1986] <http://www.red3d.com>



# Internet = Selfish Environment

---

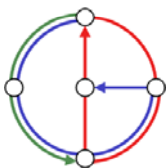
- Das Internet ist eine eigennützige Umgebung
- Verteilte Algorithmen basieren auf Kooperation
  - Eigennütziges Verhalten schadet oder verunmöglicht Mechanismen
  - Bsp. ISPs, P2P

„The Internet is unique among all computer systems in that it is **built, operated, and used** by a multitude of diverse **economic interests**, in varying relationships of collaboration and competition with each other.“

„This suggests that the mathematical tools and insights most appropriate for understanding the Internet may come from a fusion of algorithmic ideas with concepts and techniques from **Mathematical Economics and Game Theory**.“

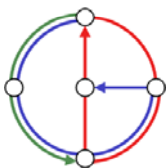
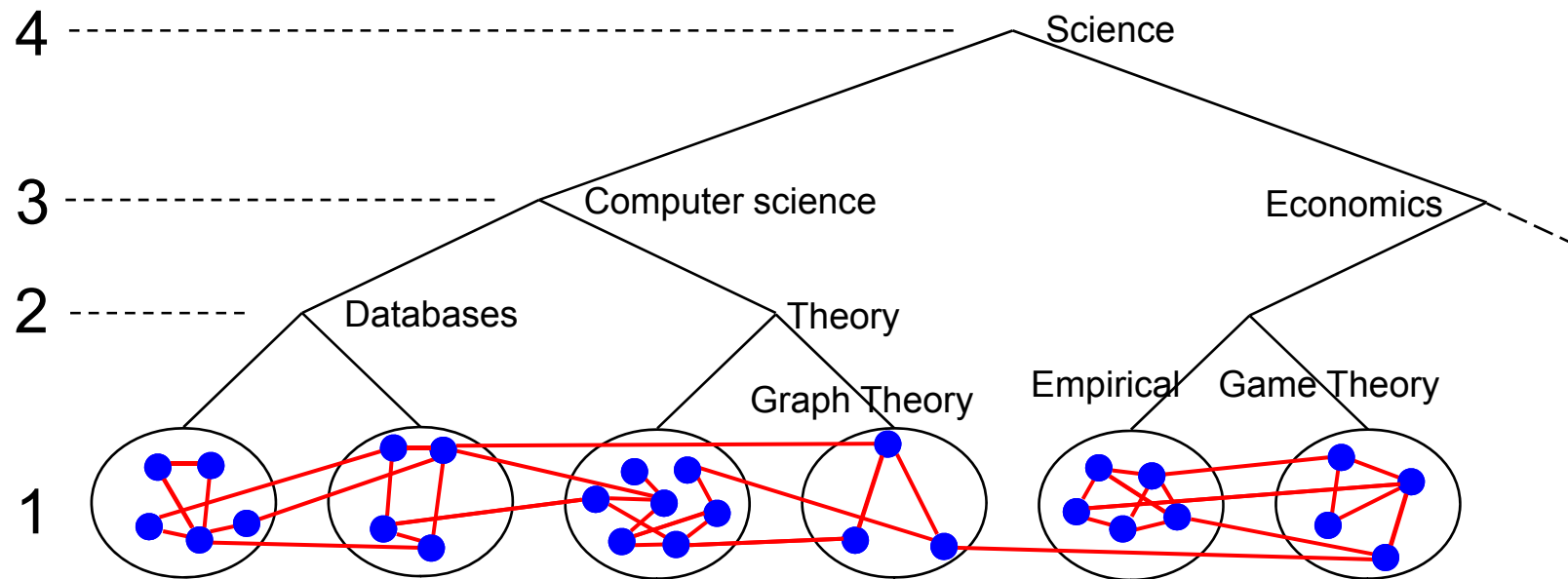


Christos Papadimitriou bei STOC 2001



# Hierarchisches Netzwerkmodell

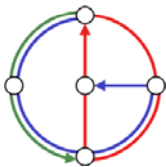
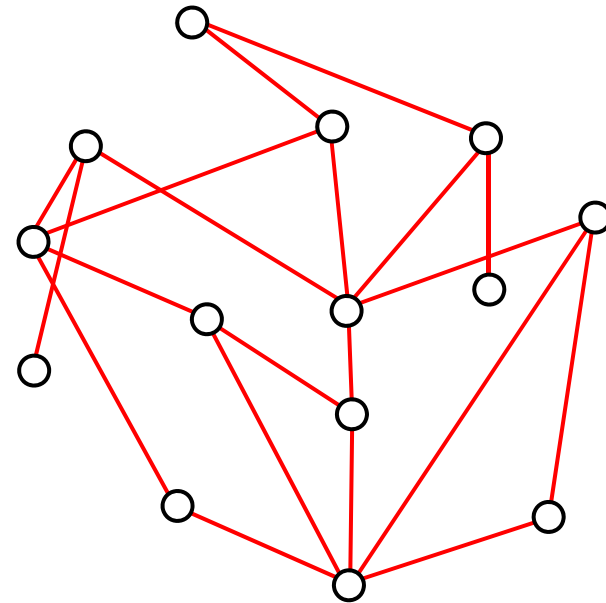
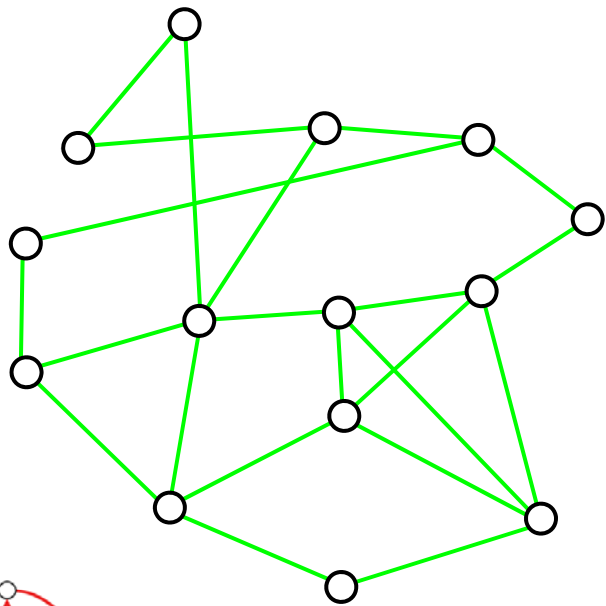
- “Small-world phenomena and the dynamics of information”
  - [Kleinberg 2002]
- Oft können Knoten hierarchisch klassifiziert werden
  - Knoten die in der Hierarchie nahe beieinander sind haben mit grösserer Wahrscheinlichkeit Kontakt als andere



# Layer Modell

---

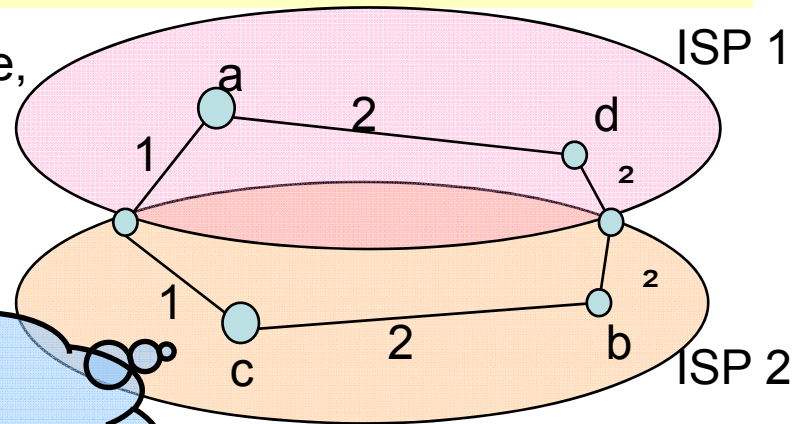
- Häufig verschiedene Typen von Hierarchien
  - Geographie, Beruf, Interessen, Sprache, etc.
  - Aus welchem Grund besteht Kontakt?
- Layers
  - Mehr als eine Hierarchie pro Netzwerk
  - Jeder Kontakt gehört zu mindestens einem Layer



# What is Game Theory About?

## Theory of rational behaviours in competitive and collaborative settings.

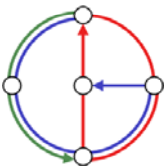
- network with transmission cost for each edge, ISP pays for transmissions in its range
- ISP 1: wants to send packet from a to b
- use cheap or expensive edge for first forwarding step?



What if ISP 2 wants to send a packet from c to d?

### Typical scenario for game theory

- Lack of central control
- Rational and/or selfish participants
- global objective: reduce cost



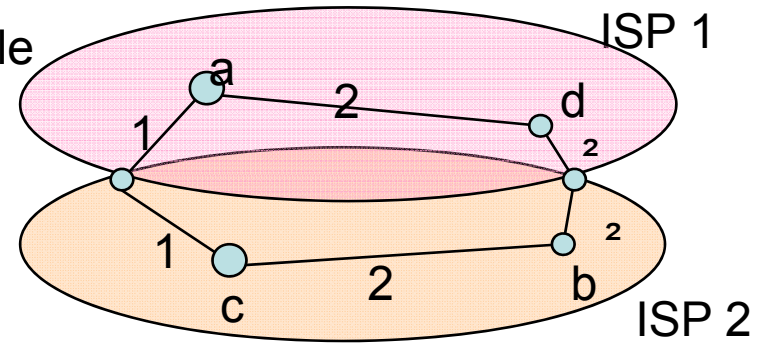
# What is a Game?

## Game

- n players
- strategies  $a_i \in A_i, i=1..n$
- outcomes  $a \in A = A_1 \times A_2 \dots \times A_n$
- utilities  $u_i: A \rightarrow R, i=1..n$

- **Player is general entity**  
individual, company, nation, protocol, animal, etc
- **Strategies**  
actions a player can choose
- **Outcome**  
determined by mutual choice of strategies
- **Utility**  
depends on outcome, payoff or cost

Example



ISPs



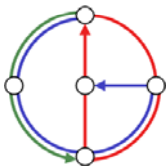
first forwarding edge



traffic on edges



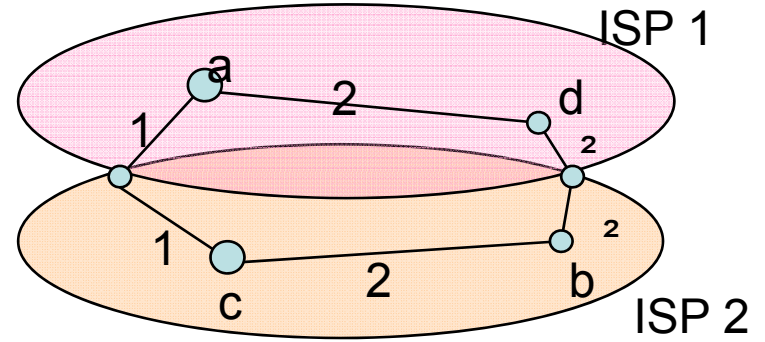
cost for traffic





# Representation in Normal Form (Matrix)

		ISP 2	
		Cooperate	Defect
ISP 1	Cooperate	2,2	5,1
	Defect	1,5	4,4



Cooperate = choose edge with cost 2  
 Defect = choose edge with cost 1

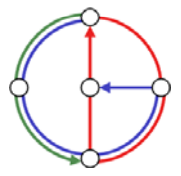
**Dilemma:**

- given other's choice it's better to **defect**  
 → rationality leads to equilibrium
- if both defect they pay too much..  
 → global situation **could be better**

		Henry	
		Not Guilty	Guilty
Dave	Not Guilty	2 Years	5 Years, 1 Yr.
	Guilty	5 Years, 1 Yr.	3 Years

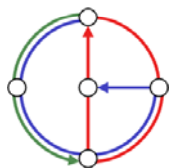
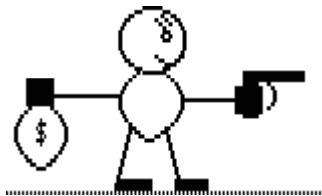
Copyright 2005 - Investopedia.com

similar to famous Prisoner's Dilemma!



# Prisoner's Dilemma

- two suspects
- police has insufficient evidence for conviction (video tape, no DNA)
- interrogate suspects independently, offer a deal
  1. testify for prosecution of other
  2. remain silent
- deal details:
  - both testify → both 3 years in jail
  - one testifies → betrayer 1 year in jail, accomplice 5 years in jail
  - both silent → both 2 years in jail



		Henry	
		Not Guilty	Guilty
Dave	Not Guilty	 2 Years	 5 Years      1 Yr.
	Guilty	 5 Years      1 Yr.	 3 Years

Copyright 2005 - Investopedia.com