



Verteilte Künstliche Intelligenz – Koordination II

VAK 03-710.03
Universität Bremen

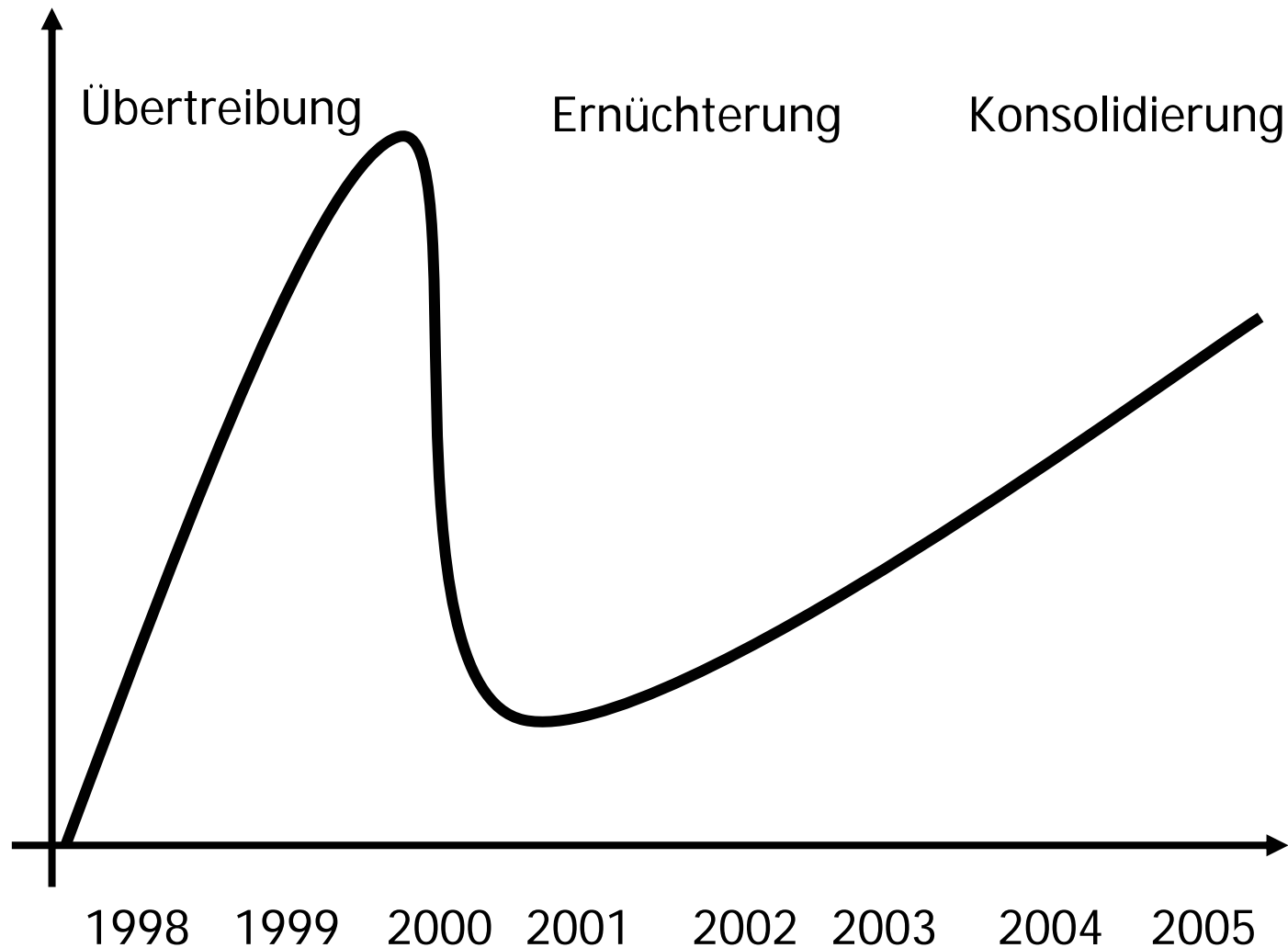
Ingo J. Timm, Jan D. Gehrke, Thorsten Scholz



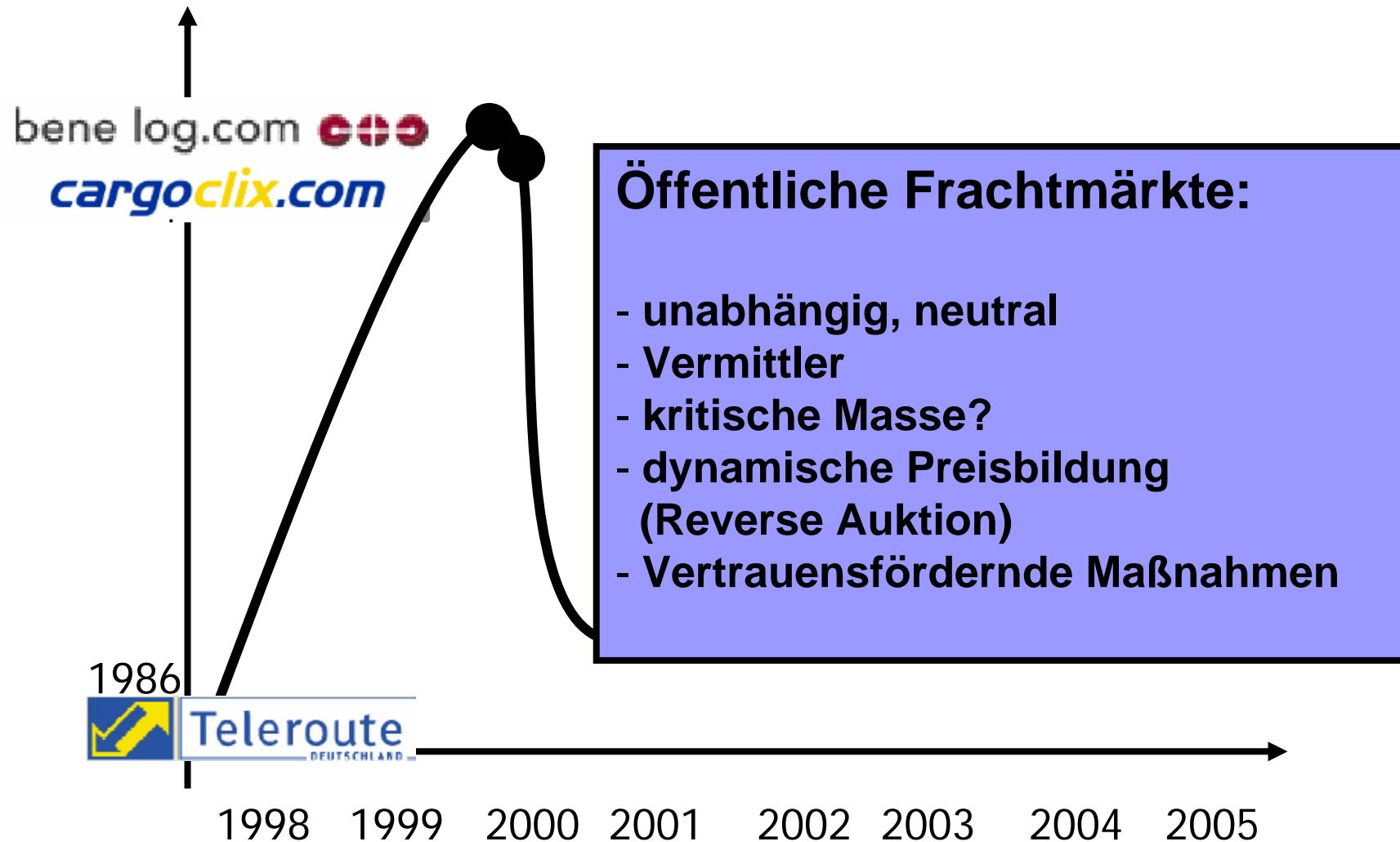
Elektronische Märkte

- Elektronische Märkte realisieren
 - Austauschbeziehungen zwischen potentiell gleichberechtigten Partnern,
 - ohne örtliche oder und zeitliche Präferenzen, wobei die
 - Interaktionsprozesse „digitalisiert“ werden.
 - Zugangsregelungen: öffentlich versus privat
- [Schmid 1993, 468]: Elektronische Märkte im engeren Sinne sind mit Hilfe der Telematik realisierte Marktplätze, d.h. Mechanismen des marktmäßigen Tausches von Gütern und Leistungen, die alle Phasen der Transaktion unterstützen.
- [Picot et al. 1996]: Elektronische Märkte sind Informations- und Kommunikationssysteme zur Unterstützung aller oder einzelner Phasen und Funktionen der marktmäßig organisierten Leistungskoordination.
- Elektronische Märkte wurden in den 90er Jahren zur Schlüsseltechnologie der Internet-Wirtschaft („Silver Bullet“)

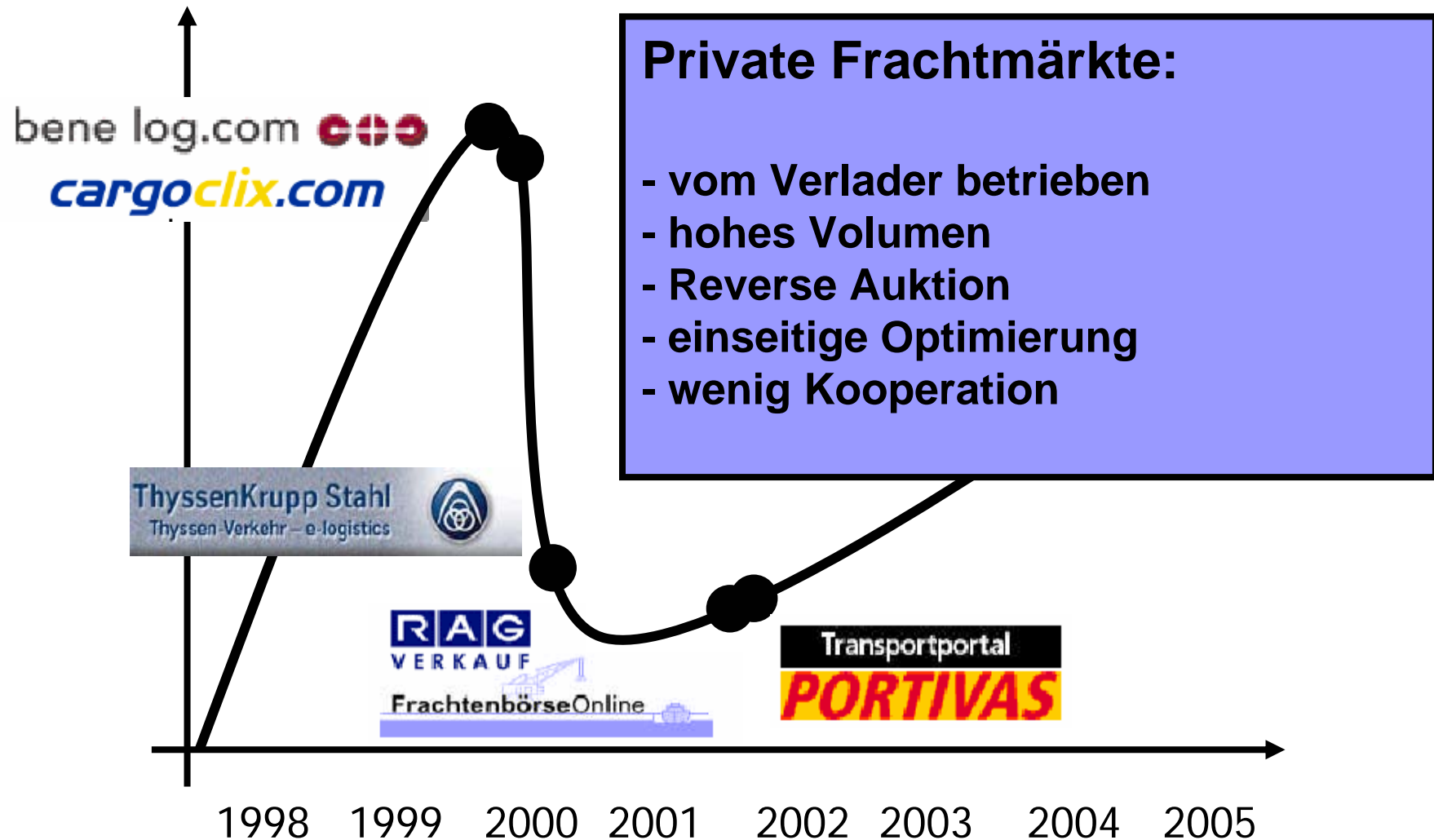
Die 3 Phasen der Internet-Wirtschaft



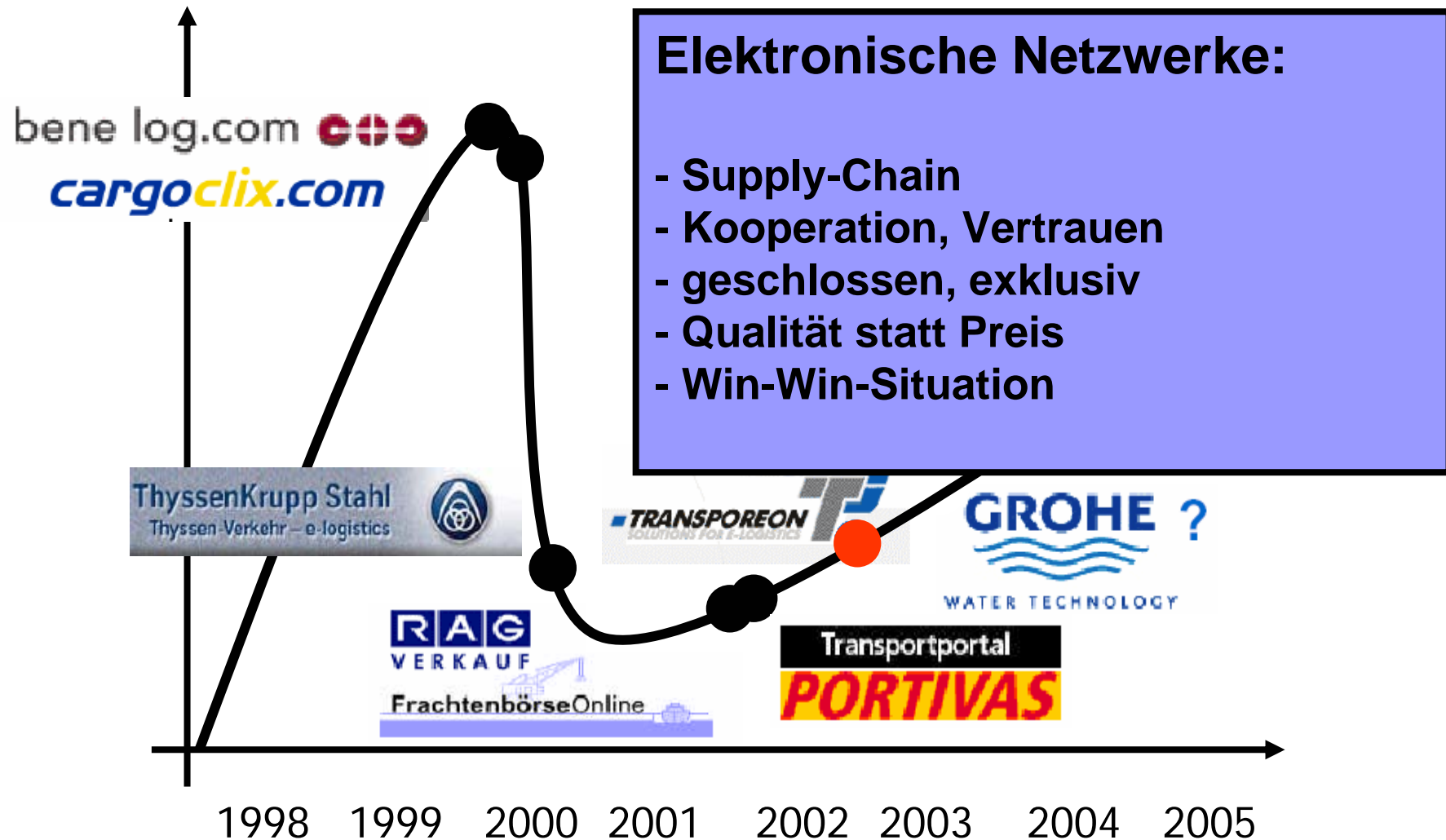
Elektronische Frachtmärkte



Elektronische Frachtmärkte



Elektronische Frachtmärkte





Markt-basierte Koordination



Gliederung

■ Koordination II

- Theoretische Grundlagen: Spieltheorie
- Evaluation von Interaktionsprotokollen

- Je Klasse von Interaktionsprotokollen
 - Ökonomische Performance
 - Stabilität – Manipulation von Interaktionsprotokollen
 - Abschließende Beurteilung

Koordinationsproblem in unterschiedlichen Domänen

- Aufgabenorientierte Domänen
 - Agenten versuchen Aufgaben zu erreichen
 - Alle Ressourcen sind ausreichend vorhanden
 - Aufgabenallokation, dabei wird kooperatives Verhalten vorausgesetzt
- Zustandsorientierte Domänen
 - Jeder Agent versucht die Welt von einem initialen Zustand in einen seiner Zielzustände zu überführen
 - Konflikt: Wettbewerb über Ressourcen, unterschiedliche Zielsetzungen
 - Begrenzte Ressourcen
- Wertorientierte Domänen
 - Zu jedem möglichen Zustand wird von jedem Agenten ein Wert zugewiesen
 - Durch zu Grunde liegende Bewertungsfunktionen wird Entscheidungstheorie / Spieltheorie nutzbar für Interaktion von Agenten
 - Verallgemeinerung der Zustandsorientierten Domäne: für die zustandsorientierte Domäne wird angenommen, dass Zustände, die keine Zielzustände sind, haben den Wert 0

Eigenschaften nach Rosenschein & Zlotkin

■ Effizienz

- ☐ Keine Verschwendung von Ressourcen („There should not be wasted utility when an agreement is reached.“) → Pareto-Effizienz
- ☐ Globale Optimalität (Summe der Erträge von Agenten ist maximal)
- ☐ Individuelle Optimalität: kein Agent will seinen Ertrag senken

■ Stabilität

- ☐ Kein Agent sollte einen Vorteil vom „Brechen“ von Vereinbarungen haben
- ☐ Manipulative Strategien

■ Einfachheit

- ☐ Geringe Berechnungskomplexität und geringer Kommunikationsoverhead

■ Verteilung

- ☐ Keine Notwendigkeit einer zentralen Entscheidungseinheit

■ Symmetrie

- ☐ Keine Benachteiligung einzelner Agenten



Effizienzkriterien in Anlehnung an Sandholm

- Ökonomie

- ☐ Effizienz aller Agenten (Social Welfare)
- ☐ Markteffizienz (Pareto Efficiency)
- ☐ Individuelle Effizienz (Individual Rationality)

- Stabilität

- Berechnungsaufwand

- Verteilung

- Kommunikation



Effizienz aller Agenten (Social Welfare)

- Wohlfahrtsökonomik (Bentham 1748-1832, Mill 1806-1873)
- *Greatest-Happiness-Principle*: „Das größtmögliche Glück für die größtmögliche Anzahl von Menschen“
- Wohlfahrt als aggregierter Output der Produktion
- Pigeou (1920): The Economics of Welfare
 - Wohlfahrt als Summe der individuellen Nutzen
 - **Interpersonelle Vergleichbarkeit**
 - Geld als „Nutzeneinheit“
- ... für Agenten heißt das, dass „... *Sum of all agents' payoff or utility in a given solution. It measures the global good of agents. ...*”



Markteffizient (Pareto Efficiency)

- Vilfredo Pareto (1848-1923)
- Eine gesellschaftliche Situation ist **pareto-optimal** (-effizient), wenn es nicht möglich ist, die Wohlfahrt eines Individuums durch eine Re-Allokation der Ressourcen zu erhöhen, ohne gleichzeitig die eines anderen Individuums zu verringern.
- *Bei jeder Konkurrenz und vollständigen Märkten ist jedes Marktgleichgewicht ein Pareto Optimum.*
 - Vollständige Konkurrenz, daher spiegelt Produzentenpreis tatsächliche Knappheit des Produktionsfaktors wider
 - Vollständige Märkte, also keine Externalitäten, öffentliche Güter, perfekte Eigentumsordnung, symmetrische Information (über bekannte Wahrscheinlichkeiten) und rationale (souveräne) Konsumenten



Markteffizient (Pareto Efficiency) (cont'd)

- Auf Agenten übertragen bedeutet das:
- Eine Lösung x ist pareto-effizient, falls es keine Lösung x' gibt, in der mindestens ein Agent besser gestellt ist UND KEIN Agent schlechter gestellt ist.
- Bewertung globaler Optimalität
- Keine Bewertung von fragwürdigen Nutzenfunktionen zwischen Agenten
- Wohlfahrtsansätze sind eine Teilmenge der pareto-effizienten
- Nach Maximierung der Erträge kann der Ertrag eines einzelnen Agenten nur noch durch die Reduktion mindestens eines fremden Ertrags erhöht werden



Das Pareto-Kriterium - weitere Formulierungen

- Ein Zustand x ist im Vergleich zu Zustand y **Pareto-superior**, wenn für alle Akteure $W_i(x) \geq W_i(y)$ und für mindestens einen Akteur $W_i(x) > W_i(y)$ gilt.
- Ein Zustand $x \in X$ ist **Pareto-effizient**, wenn es keinen anderen Zustand $z \in X$ gibt, der Pareto-superior zu x ist.
- Als Definition von „Effizienz“ universell anwendbar

Das Paretooptimum

Beispiel Fluggesellschaften

■ Situation:

- ☐ Fluggesellschaften wollen, dass ihre Flüge so vollbesetzt wie möglich sind.
- ☐ Einige der gebuchten Passagiere erscheinen oft nicht.
- ☐ Passagiere haben unterschiedliche Präferenzen.

■ Pareto-inferior:


- ☐ Nur so viele Tickets verkaufen, wie tatsächlich in den Flugzeugen zur Verfügung stehen.

■ Pareto-superior:

(Lufthansa)

- ☐ für die selbe Strecke über 20 verschiedene Tickets
- ☐ Sitzplatzreservierungen für einen festgelegten Flug
- ☐ Günstigere Tickets mit dem Recht auf einen freigeblieben Platz innerhalb eines bestimmten Zeitraums

■ Kriterien: Geld, Komfort, Planungssicherheit, Zeit, etc.



Individuelle Effizienz (Individual Rationality)

- *Agent's payoff in the negotiated solution is no less than the payoff that the agent would get by not participating in the negotiation*
- Jeder Agent muss davon profitieren, an der Lösung beteiligt zu sein.
- Ein Koordinationsmechanismus ist individually rational, gdw er für alle Agenten individually rational ist.

Stabilität / Robustheit

- Ziel eines Koordinationsmechanismus sollte es sein, stabil gegenüber Manipulation zu sein, d.h. jeder Agent sollte “motiviert” werden, sich in der geplanten Weise zu verhalten
- Lösungsansatz
 - Entwurf von Koordinationsmechanismen, die dominate Strategien beinhalten
 - Nash-Gleichgewicht

$S_A^* = \langle S_1^*, S_2^*, \dots, S_{|A|}^* \rangle$ is Nash equilibrium if $\forall i \in A: S_i^*$ is agent's best strategy
(given that the other agents choose strategies $\langle S_1^*, S_2^*, \dots, S_{i-1}^*, S_{i+1}^*, \dots, S_{|A|}^* \rangle$)
 - oder anders formuliert:

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*) \quad \forall i, \forall s_i \in S_i$$



Stabilität / Robustheit (cont'd)

- Zusammengefasst ist das Nash-Gleichgewicht eine Strategiekombination dominanter Strategien, die optimale Lösungen anstreben GEGEBEN die optimale Strategien der anderen Spieler
- Warum ist Nash-Gleichgewicht wichtig für dominante Strategie
 - Jeder Spieler verhält sich rational
 - Endpunkte eines dynamischen Anpassungsprozesses, in dessen Verlauf die Spieler aus *enttäuschten* Erwartungen, also Abweichungen vom Erwartungswert, lernen
- Probleme mit dem Nash-Gleichgewicht für Interaktionsprotokolle
 - In einigen Spielen / Situationen existiert kein Nash-Gleichgewicht
 - In einigen Spielen existieren mehrere Nash-Gleichgewichte
- Es gibt zahlreiche Erweiterungen
(mit ähnlichen Problemen bzgl. Eindeutigkeit und Existenz)

Beispiel: Gefangenendilemma

		Spieler 2	
		nicht gestehen	gestehen
Spieler 1	nicht gestehen	(12,12)	(120,3)
	Gestehen	(3,120)	(96,96)

Zwei Gefangene haben jeweils die Wahl zwischen den Strategien „gestehen“ und „nicht gestehen“. Hieraus ergeben sich die „Auszahlungen“ (payoff) als Tupel für (Spieler1, Spieler2). Die Auszahlung ist die Länge der Gefängnisstrafe in Monaten. Das Nash-Gleichgewicht findet sich im Zustand (96,96), da beide Spieler eine dominante Strategie „gestehen“ haben.



Berechnungsaufwand

- Mechanismen zur Koordination sollten so wenig Berechnungsaufwand wie möglich erfordern
- Klassische Mechanismen sind entworfen worden, um zu einer Lösung innerhalb der Domäne zu führen, die einigen der o.g. Effizienzkriterien genügt (Social Welfare, Pareto Efficiency, etc.)
- Bei vergleichbarer Qualität sollte so ein Mechanismus verwendet werden, der den geringsten Berechnungsaufwand benötigt
- Neuer Ansatz wäre es, die Kosten für Berechnung direkt in die Entwurfsphase explizit mit einzubeziehen



Verteilung und Kommunikation

- Verteilte Mechanismen sollten bevorzugt werden (Stabilität)
(Vermeidung von Performance Bottlenecks)
- Minimierung des Kommunikationsaufwands
- ... und nun zurück zu den Protokollen 😊



Voting - *social choice*

- All agents give input and accept the output as a solution
- Truthful Voters
 - Conditions (6, summarized)
 - Preference relation which: is defined for all $o \in O$ and every pair of $o, o' \in O$; and is asymmetric and transitive over O .
 - Outcome should be Pareto efficient, scheme should be independent of irrelevant alternatives and no agent should be a *dictator*
 - Arrow's impossibility theorem: no social choice rule satisfies all
 - Plurality protocol: majority, comparing all alternatives simultaneously
 - Binary protocol: pairwise voting (order has influence on outcome!)
 - Borda protocol (alternative to binary): assigning alternative points whenever it is highest in some agent's preference list, summed across voters



Strategic (Insincere) Voters

■ Motivation

- Problem with truthful voters: all preferences are known
- Using insincerely declaring for gaining benefit
- Need of motivating an agent to reveal his preference

■ Revelation principle

- If some protocol implements social choice function in Nash equilibrium (insincere) then it is implementable in Nash equilibrium via a single step protocol with agents revealing their preferences
- Problem: computational limited agents → uncoordinated strategies

■ Gibbard-Satterthwaite Impossibility Theorem

- No rank of order for preference, one agent can be dictatorial
- Circumventing: behavior rules like no agent should care how others divide payoffs among themselves, agent's valuation should not depend on the amount of money that the agent will have. (Agents that do not end up changing the outcome do not pay any tax)
- other ways: ex ante selection of dictator (hat election)



Bargaining

- Motivation

Agents can make a mutually beneficial agreement, but have a conflict of interest about which agreement to make

- Axiomatic Bargaining Theory

- No equilibrium approach

- Nash Bargaining Solution defined in axioms

- Invariance (strictly increasing linear function)
 - Anonymity (symmetry)
 - Independence of irrelevant alternatives
 - Pareto efficiency (it is not feasible to give both players higher utility than under Nash bargaining solution utility)



Bargaining (2)

■ Strategic Bargaining Theory

□ Motivation

- Bargaining situation modeled as a game (equilibrium approach)
- Sequential bargaining (infinite/finite number of offers, probable time discount) can lead to infinite game

□ Rubinstein bargaining solution

- Infinite games with discount can be solved as the subgame perfect Nash equilibrium outcome is unique and
- Agreement is reached in the first round

■ Computation in Bargaining

- Assumption: perfect rationality !
- Intra-agent deliberative search
- Inter-agent committal search



General Equilibrium Market Mechanisms

General equilibrium theory provides a distributed method for efficiently allocating goods and resources among agents based on market prices

■ General Definitions

- Consumers: utility, consumption, initial endowment
- Producer: production vector, production possibilities, profit

■ Properties of General Equilibrium

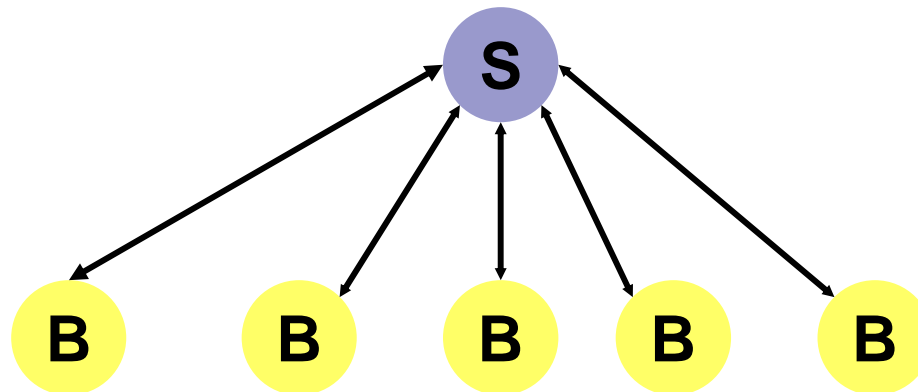
- Pareto efficiency
- Coalitional Stability (as long as there are no producers)
- Existence
- Uniqueness under gross substitutes

A general equilibrium is unique if the society-wide demand for each good is non-decreasing in the prices of the other goods

Auctions

Auction Settings

- Private value (agent's value is independent form other agents)
- Common value (agent's value is only given by other agents' value)
- Correlated value (agent's value depends partly on its own preferences and partly on others' values)





Auction Protocols

- English auction (first-price open-cry)
 - ☐ each bidder is free to raise his bid
 - ☐ until no bidder is willing to raise
 - ☐ highest bidder wins the item at the price of his bid
- First-price sealed-bid auction
 - ☐ each bidder submits one bid
 - ☐ highest bidder wins the item at the price of his bid
- Dutch auction (descending)
 - ☐ seller continuously lowers the price
 - ☐ until one of the bidders takes the item at the current price
- Vickrey (second-price sealed-bid)
 - ☐ each bidder submits one bid
 - ☐ highest bidder wins the item at the price of the second highest bid



English Auction

- English auction (first-price open-cry)
 - ☐ each bidder is free to raise his bid
 - ☐ until no bidder is willing to raise
 - ☐ highest bidder wins the item at the price of his bid

- Dominant Strategy
 - ☐ Bid small amount more than last bid
 - ☐ Stop when private value price has reached

- Erweiterung durch „*open exit*“



First-Price Sealed Bid Auction

- First-price sealed-bid auction

- ☐ each bidder submits one bid
- ☐ highest bidder wins the item at the price of his bid

- Dominant Strategy

- ☐ not available

- Strategy

- ☐ Bid less than private value
- ☐ Distance of private value and bid depends on experience / knowledge on other agents strategies



Dutch Auction

- Dutch auction (descending)
 - seller continuously lowers the price
 - until one of the bidders takes the item at the current price
- Dominant Strategy
 - not available
- Strategy
 - (comparable to first-price sealed-bid)
 - Bid less than private value
 - Distance of private value and bid depends on experience / knowledge on other agents strategies



Vickrey Auction

- Vickrey (second-price sealed-bid)
 - each bidder submits one bid
 - highest bidder wins the item at the price of the second highest bid
- Dominant Strategy
 - not available ?
- Strategy
 - Bid as a function of private value and prior belief's of others' valuations
- Theorem: A bidder's dominant strategy in a private value Vickrey auction is to bid his true valuation



Auctions (cont'd)

- Efficiency of the Resulting Allocation
 - All auction protocols are Pareto efficient in private or common value
 - Vickrey/English auction: high performance through dominant strategy
- Revenue Equivalence and Non-Equivalence (Auctioneer)
 - All auction protocols produce the same expected revenue in private value auctions (values independently distributed)
 - If bidders are risk averse: Dutch and first-price sealed bid protocols give higher expected revenue (private value auctions)
 - English auction is superior to Vickrey in non-private value auction
- Problems in Auctions
 - Bidder Collusion (Coordination of bids is possible)
 - Lying Auctioneer (esp. Vickrey auction)
 - Bidders Lying in Non-Private-Value Auctions
 - Undesirable Private Information Revelation (esp. Vickrey Auction)
- Roles of Computation in Auctions