Universität Bielefeld

5 Kommunizierende Agenten

14. Vorlesung: Multiagentensysteme:
Kooperation durch Kommunikation

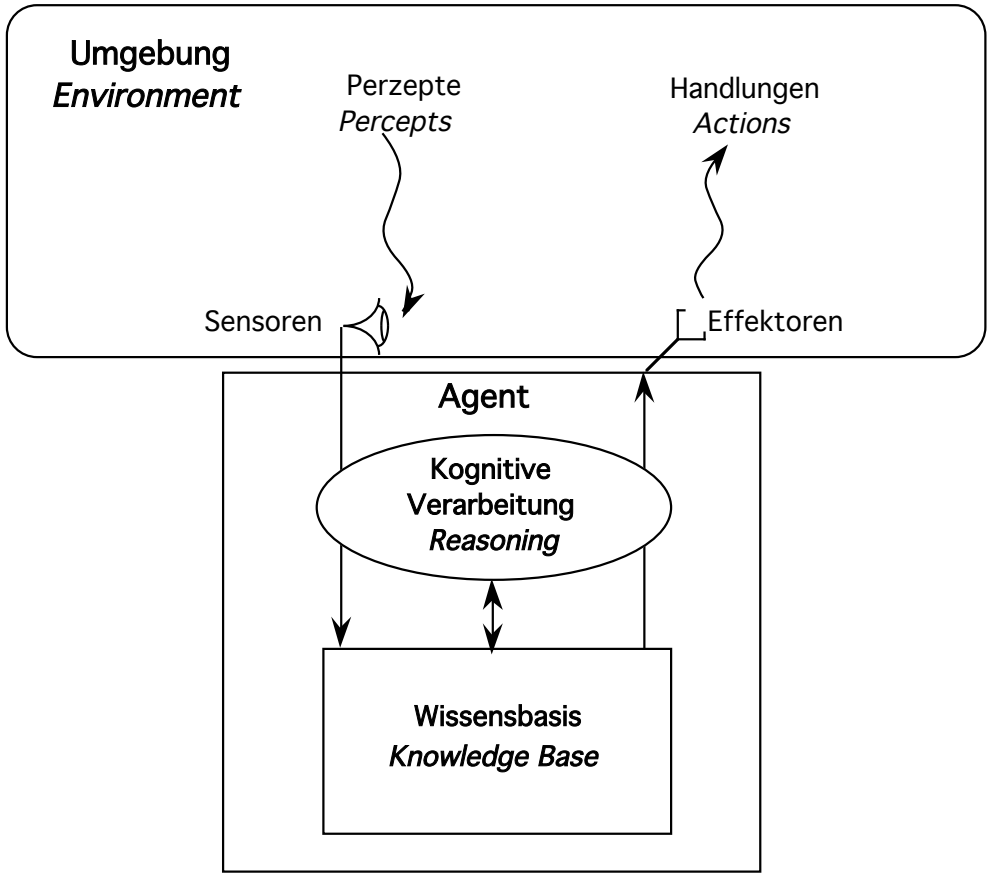
Methoden der Künstlichen Intelligenz

Ipke Wachsmuth WS 2008/2009

„Intelligenter Agent“ (Modell)

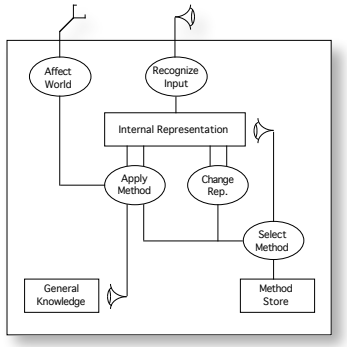
(siehe 1. Vorlesung)

- Agenten sind Systeme, die ihre Umgebung wahrnehmen (PERCEIVE) und in ihr handeln (ACT).
- Über Sensoren und Effektoren sind Agenten in ihre Umgebung gekoppelt.
- „Deliberative“ Agenten denken vor dem Handeln nach (REASON), „reaktive“ handeln als Reflex.



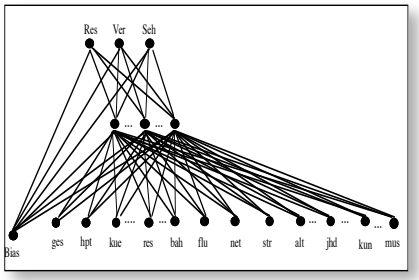
(„deliberativ“: intentional, überlegt)

Intelligenz-Modelle: Spektrum



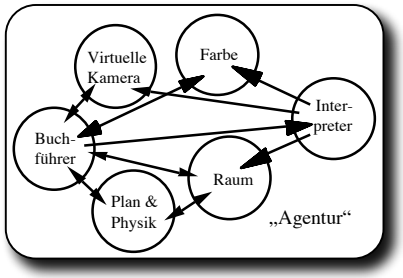
General Intelligent Agent

- **konzipiert: in den 70er Jahren (des vorigen Jahrhunderts :)**
- **Idee: funktionale Charakterisierung intelligenter Fähigkeiten auf Grundlage von Wissen, rekonstruiert mit den Mitteln der Logik**



Künstliche neuronale Netze

- **konzipiert: bereits in den 40er/50er Jahren; Revival in den 80ern**
- **Idee: Miteinander gekoppelte Prozessorknoten bestimmen durch Gewichte "synaptischer" Verbindungen ein Gesamtverhalten**



Multiagentensysteme

- **konzipiert: in den 80er/90er Jahren**
- **Idee: Verteilung von Intelligenz-Teilfähigkeiten auf interagierende (kooperierende/wettbewerbende) kleinere Systeme**

Unterschiedliche Paradigmen

Intelligenter Agent

- logisch motivierter Ansatz
- rationales Denken und Handeln
- „single-agent“-Architektur
- symbolische Repräsentation
- Suchen, Planen, Schlussfolgern

Autonomer Agent

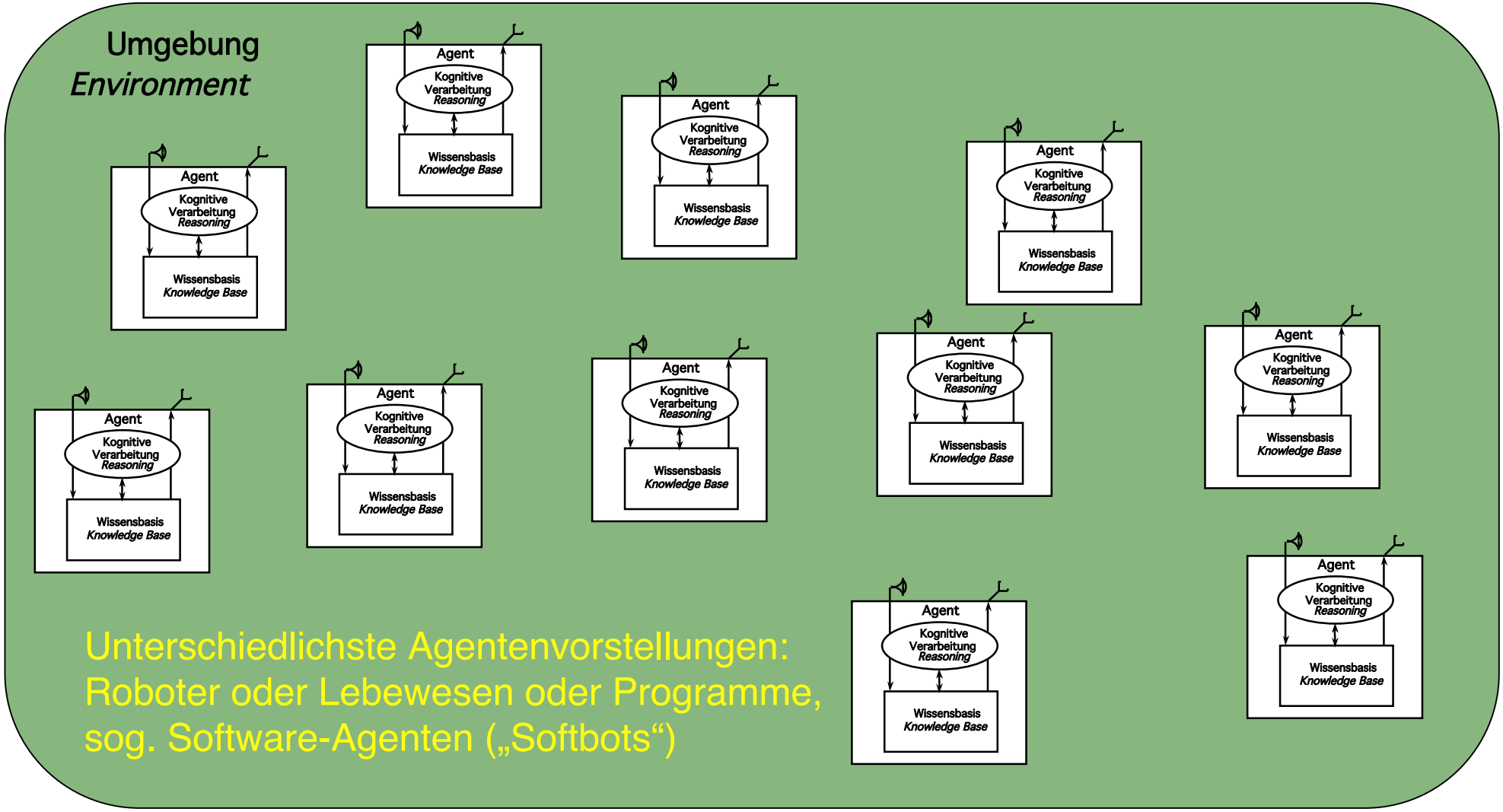
- z.Tl. biologisch motiviert
- reflexhaftes bis zielstrebiges Handeln
- Multiagentensysteme
- heterogene, verteilte Repräsentation
- Kooperation und Wettbewerb

Merkmale autonomer Agenten

(nach Wooldridge & Jennings)

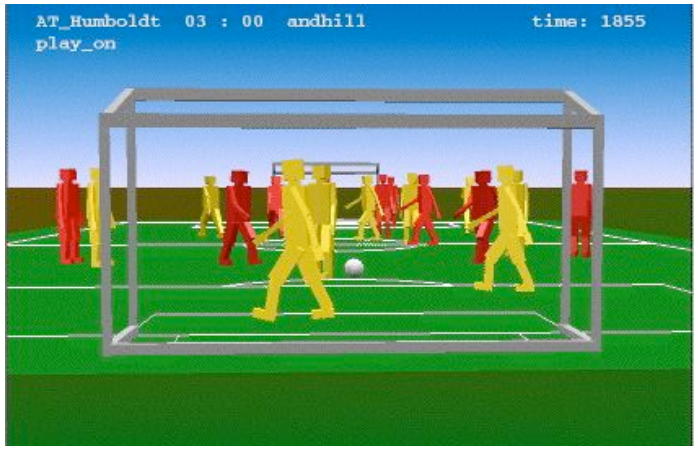
- **Autonomie:** Agenten operieren ohne direkten Eingriff durch Benutzer oder äußere Steuerung, haben selbst Kontrolle über ihre Aktionen.
- **Soziale Fähigkeiten:** Agenten interagieren mit anderen Agenten (mittels irgendeiner Form von Agenten-Kommunikationssprache).
- **Reaktivität:** Agenten nehmen ihre Umgebung wahr und reagieren darauf.
- **Proaktivität:** Agenten können zielorientiertes Verhalten zeigen und Initiative übernehmen.

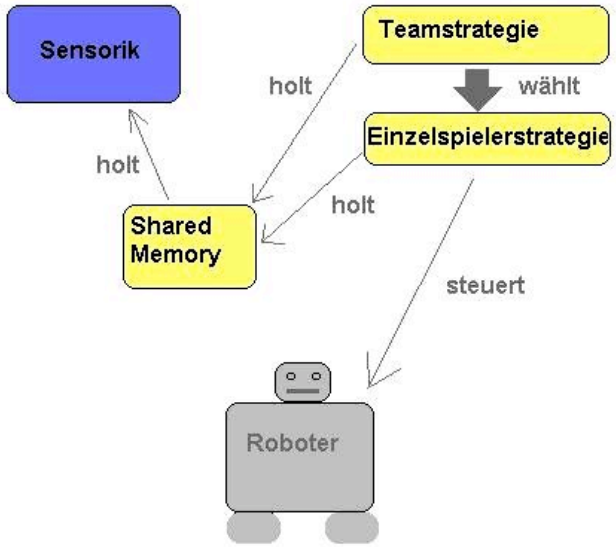
Multi-Agenten-Systeme (MAS)



Unterschiedlichste Agentenvorstellungen:
Roboter oder Lebewesen oder Programme,
sog. Software-Agenten („Softbots“)

Beispiel 1: RoboCup-Fußball

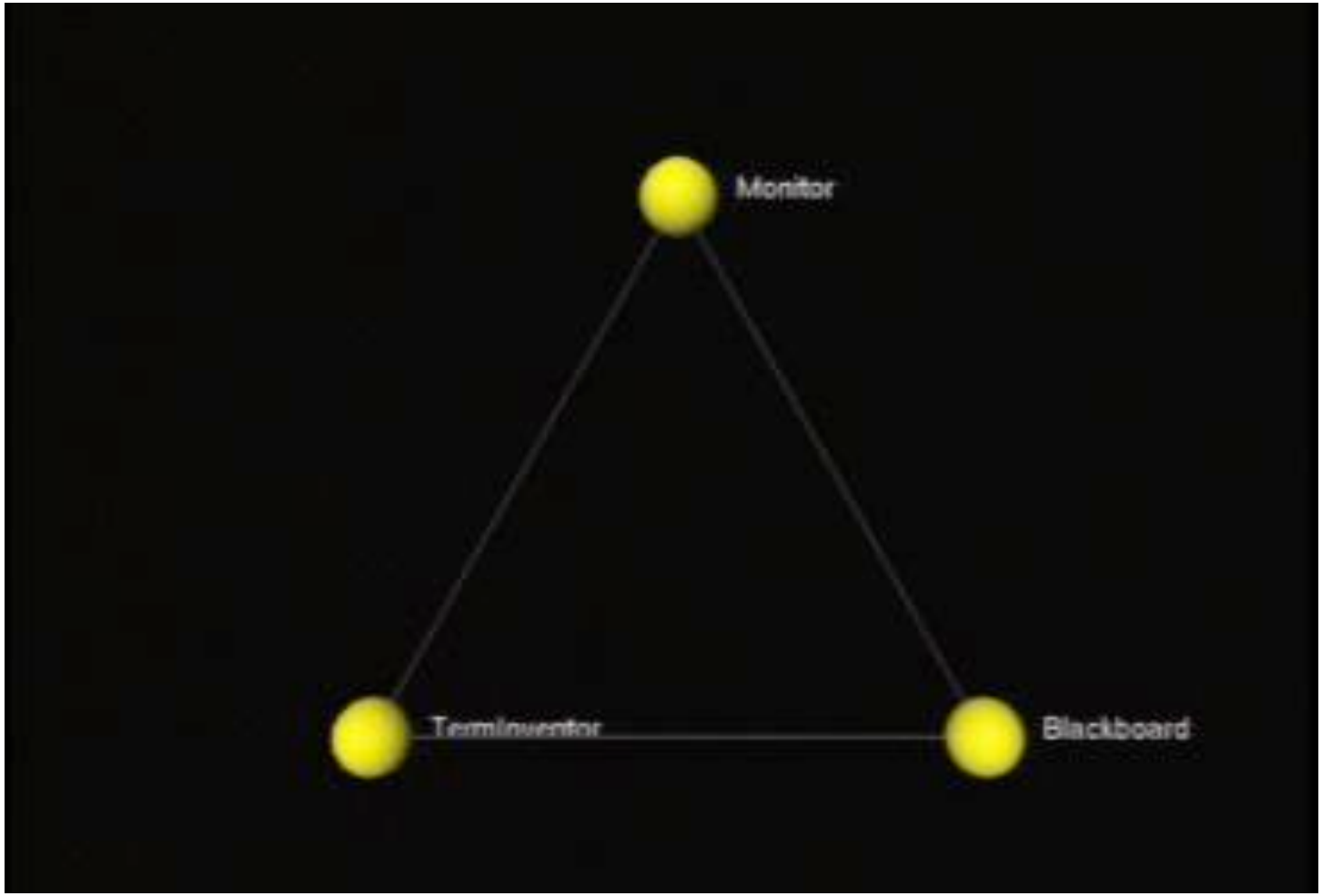




Beispiel 2: Verteiltes Rechnen

Laufbeispiel für eine über ein Blackboard gesteuerte Kooperation/ Kommunikation (visualisiert mit WBS AgentVis)

Algebraische Terme werden über hinzugezogene „Spezialisten“ ausgerechnet.



Software-Agent („Softbot“)

- Ein Programm, das in Interaktion mit einer digitalen Umwelt eigenständig Aufträge erledigt oder Ziele verfolgt
- benötigt:
  - Fähigkeiten der Wahrnehmung (z.B. Eingaben)
  - des Handelns (Aktionen)
  - der Kommunikation (über Nachrichten) und Kooperation
- Anwendungsfelder z.B:
  - verteilte Systeme
  - Netzwerke (Internet)
  - Mensch-Maschine-Schnittstellen
    (Stichwort: Interface-Agenten)

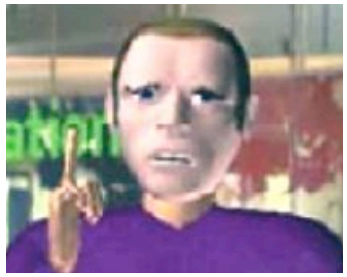
Weitergehende Eigenschaften

- „Mentalistische“ Eigenschaften:
  - Wissen/Überzeugungen
  - Motivationen/Wünsche
  - Intentionen
  - Verpflichtungen...

  Beispiel: BDI-Architektur
  (Beliefs - Desires - Intentions)

- Lernfähigkeiten
  - in einzelnen Agenten
  - in Multiagentensystemen

- Sichtbare Erscheinung
  (z.B. anthropomorphe Agenten)
  - Persönlichkeit
  - Gesichtsausdrücke
  - Gesten
  - gesprochene Sprache
  - Ausdruck von Emotion



Nicht alle genannten Eigenschaften müssen immer einbezogen sein.

Kooperierende Agenten

Interaktion mehrerer Agenten mit einfachem Verhalten kann genutzt werden, um komplexe Aufgaben zu lösen.

„Verteilte KI“ (VKI)

- Rüste autonome Problemlöser mit Spezialistenwissen für Teilaufgaben aus und füge sie „im Team“ zusammen
- Idee: Jeder Agent hat gerade soviel Wissen, wie nötig ist, um seine Spezialaufgabe zu lösen
- Kein Agent hat Überblick über das zu lösende Gesamtproblem (keine zentrale Kontrolle)

Agenten haben

- Basisfunktionalität (können bestimmte, ihnen zugeteilte Aufgaben lösen)
- kooperativen Überbau (zur Teilnahme an Kooperationsverfahren mit anderen Agenten)
- Kommunikationsfähigkeit (durch Zugriff auf Kommunikationskanäle zu anderen Agenten)

Agentensystem-Konstruktion

- „Mikro-Aspekt“:

  Wie entwirft und baut man einen Agenten, der die Fähigkeit zum autonomen Handeln hat?

- „Makro-Aspekt“:

  Wie erzielt man effektiv eine Kooperation einer Agentengemeinschaft?

  – Kommunikationssprachen und -protokolle
  – Kooperationsverfahren und -protokolle

Agenten-Kommunikation

Nachrichtentransport:

- Wie ist die Kommunikation technisch realisiert?

(Formale) Sprache:

- Wie sind Nachrichten aufgebaut (Syntax)?
- Was bedeuten die Nachrichten (Semantik)?

Abwicklung:

- Welchem Schema folgt der Ablauf der Kommunikation?

Systemarchitektur:

- Wie ist das gesamte System strukturiert?

Quasistandard KQML

"Knowledge Query and Manipulation Language"

- KQML ist eine Kommunikationssprache *und* ein Protokoll für den Austausch von Informationen
- KQML ist keine Wissensrepräsentationssprache
- KQML kann beliebige Informationen so „verpacken“, dass jeder Agent von außen als eine Wissensbasis mit einheitlicher Schnittstelle gesehen werden kann
- KQML besitzt eine erweiterbare Menge von Kommunikationsprimitiven *(Performatives)* mit definierter Semantik (–> Sprechakt-Theorie!)

Nachrichten in KQML

- **Syntax** (vereinfacht):

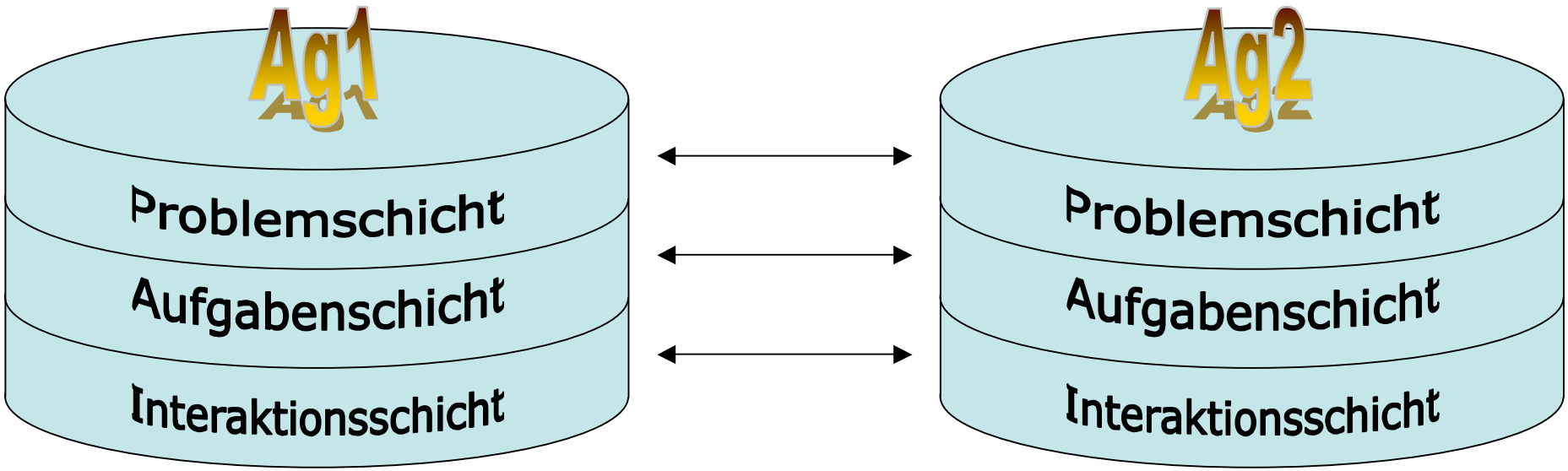
```
<KQML-Message> ::= (<Performative> <Attribute-Value-Pairs>)
<Performative> ::= ask | tell | achieve | reply | monitor | forward |
                   subscribe | evaluate | ...
<Attribute-Value-Pairs> ::= <Attribute> <Value> |
                            <Attribute> <Value> <Attribute-Value-Pairs>
<Attribute> ::=  :content |  :language |  :topic |  :ontology |  :sender |
                 :receiver |  :reply-with |  :label |  :from |  :to |  :aspect |
                 :in-reply-to | ...
<Value> ::=  (beliebiger string mit passender Klammerung)
```

- **Semantik**: logikartige Beschreibung der Vor-, Nach- und Erfüllbarkeits-bedingungen für Performatives

Funktionale Schichten

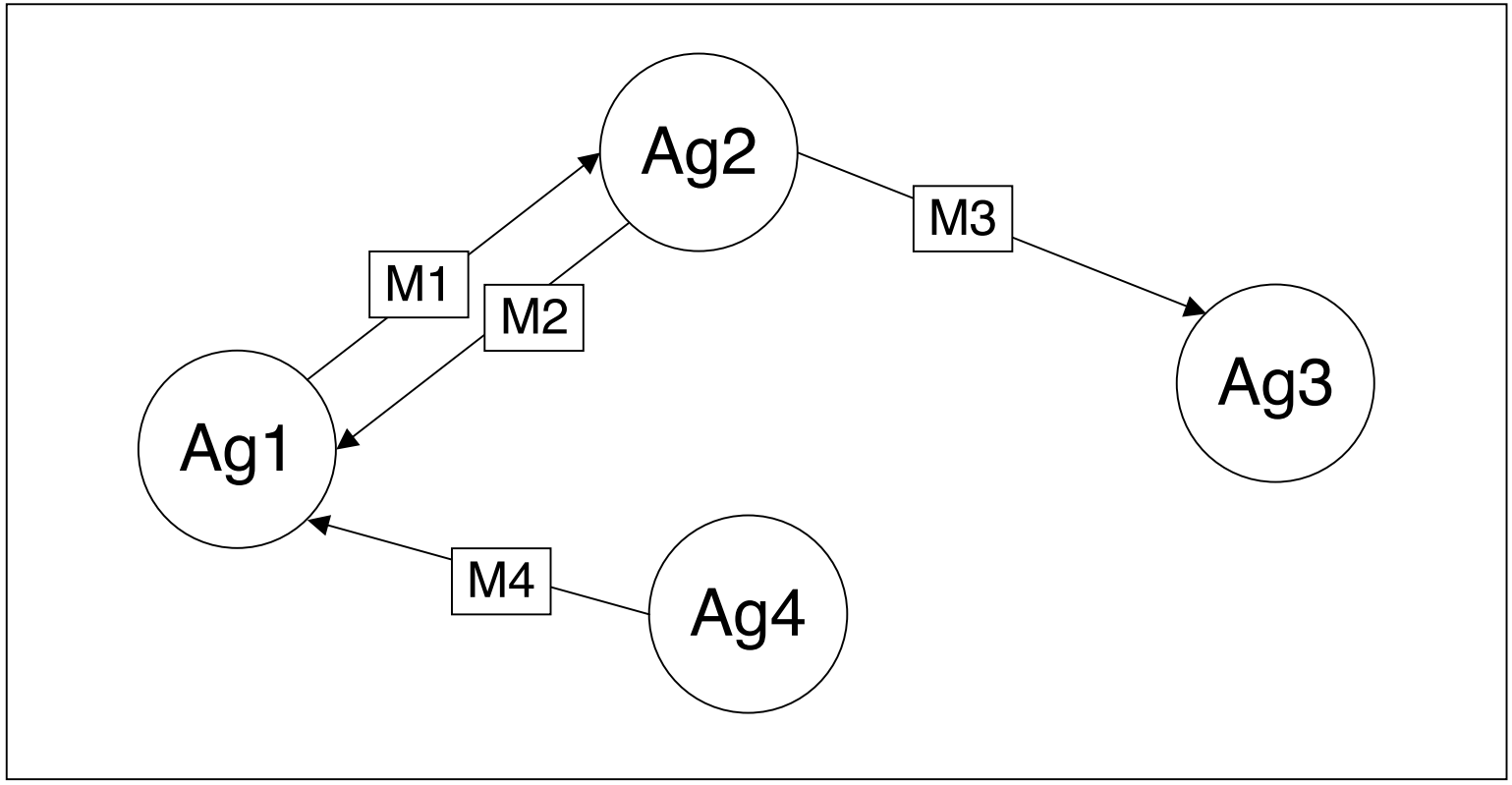
Realisierungsvorschlag nach

- von Bechtolsheim, 1993: Agentensysteme (Vieweg)



Interaktionsschicht

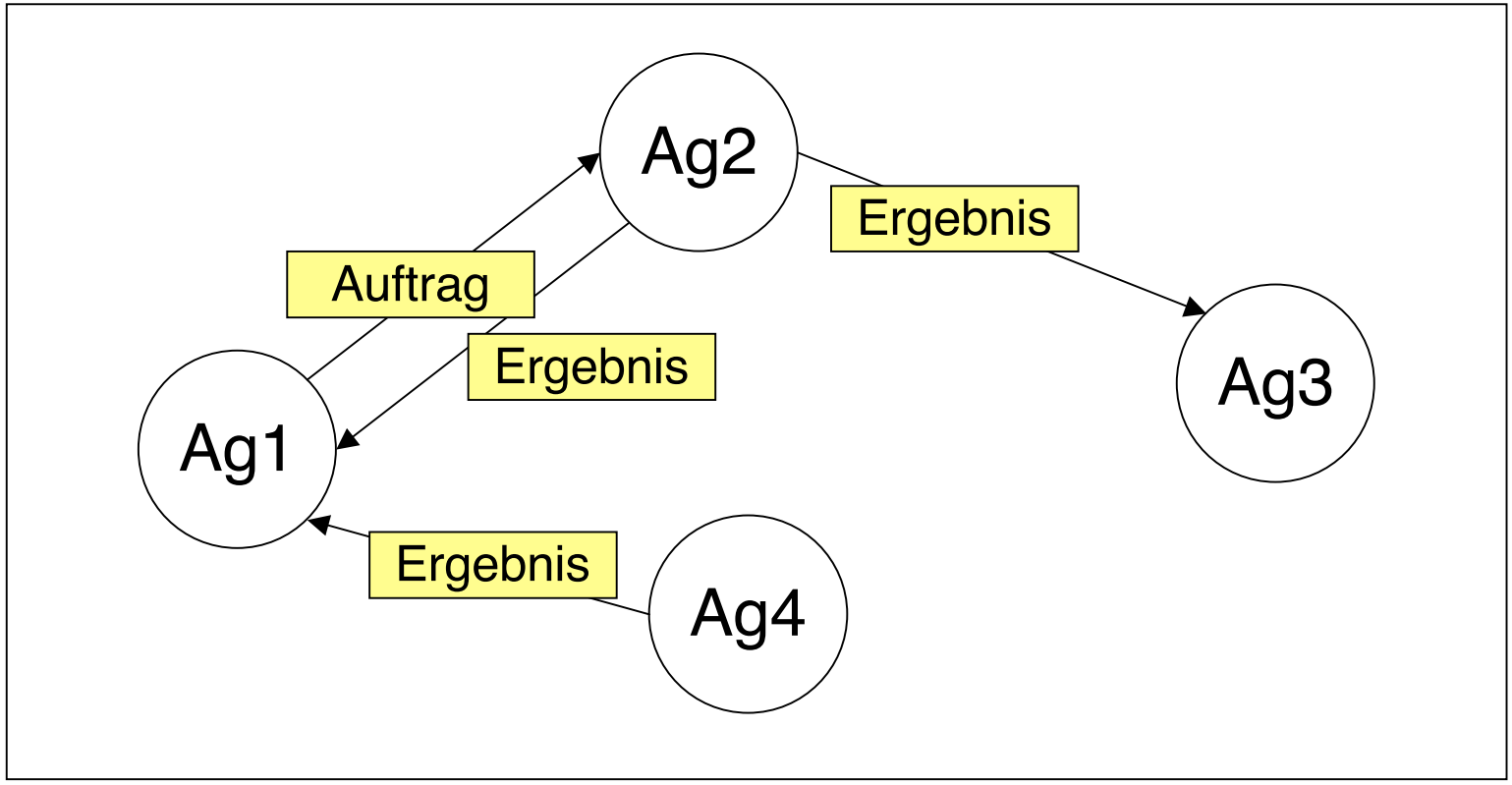
(nach: von Bechtolsheim 1993)



Agentensystem definiert als endliche Menge aktiver nebenläufiger Prozesse, die über ein Nachrichtentransportsystem kommunizieren

Aufgabenschicht

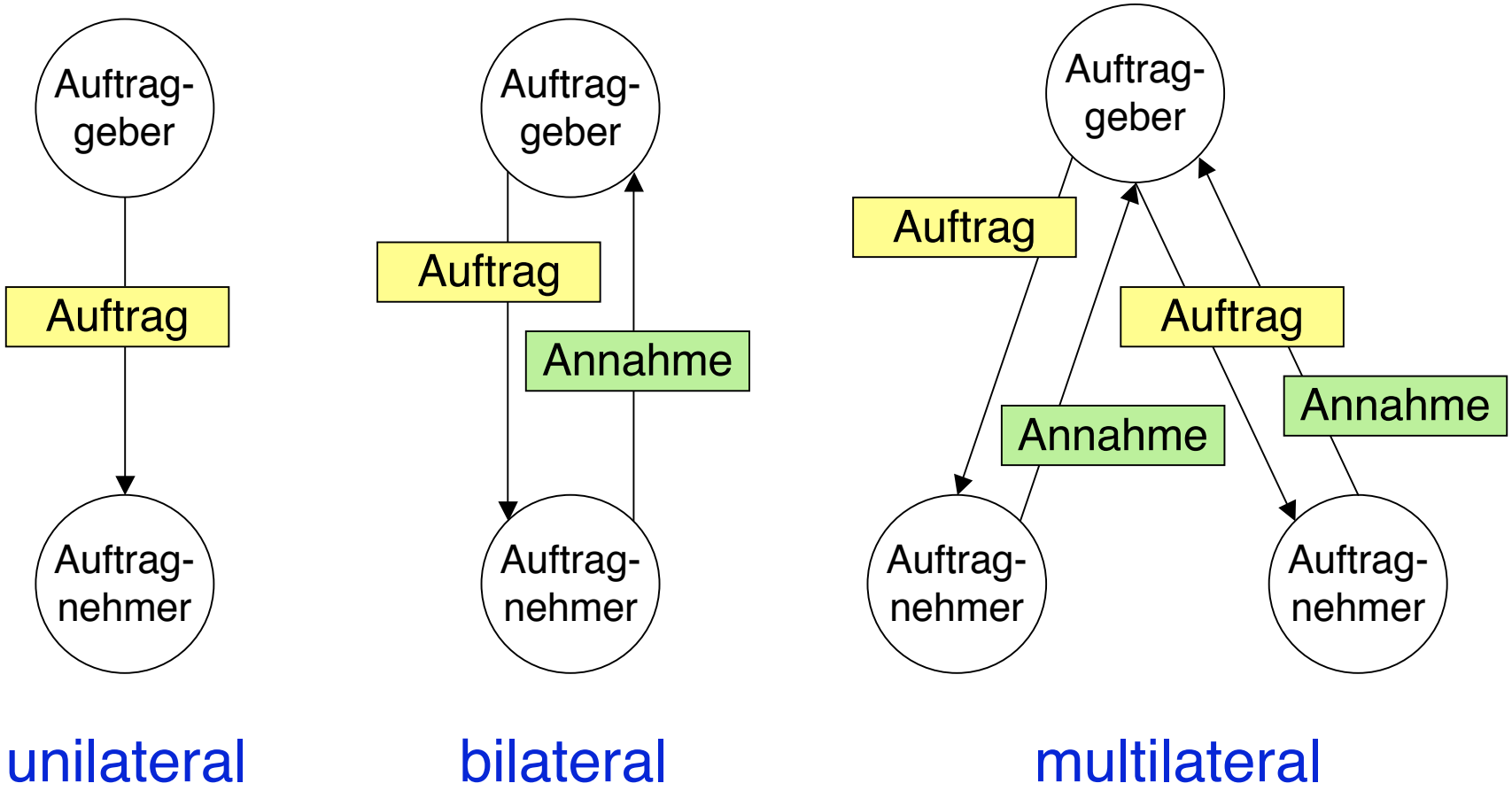
(nach: von Bechtolsheim 1993)



Verteilung von (Teil-)Aufträgen an andere Agenten, Synthese von (Teil-) Ergebnissen. Empfänger können auch ohne Auftrag Ergebnisse erhalten.

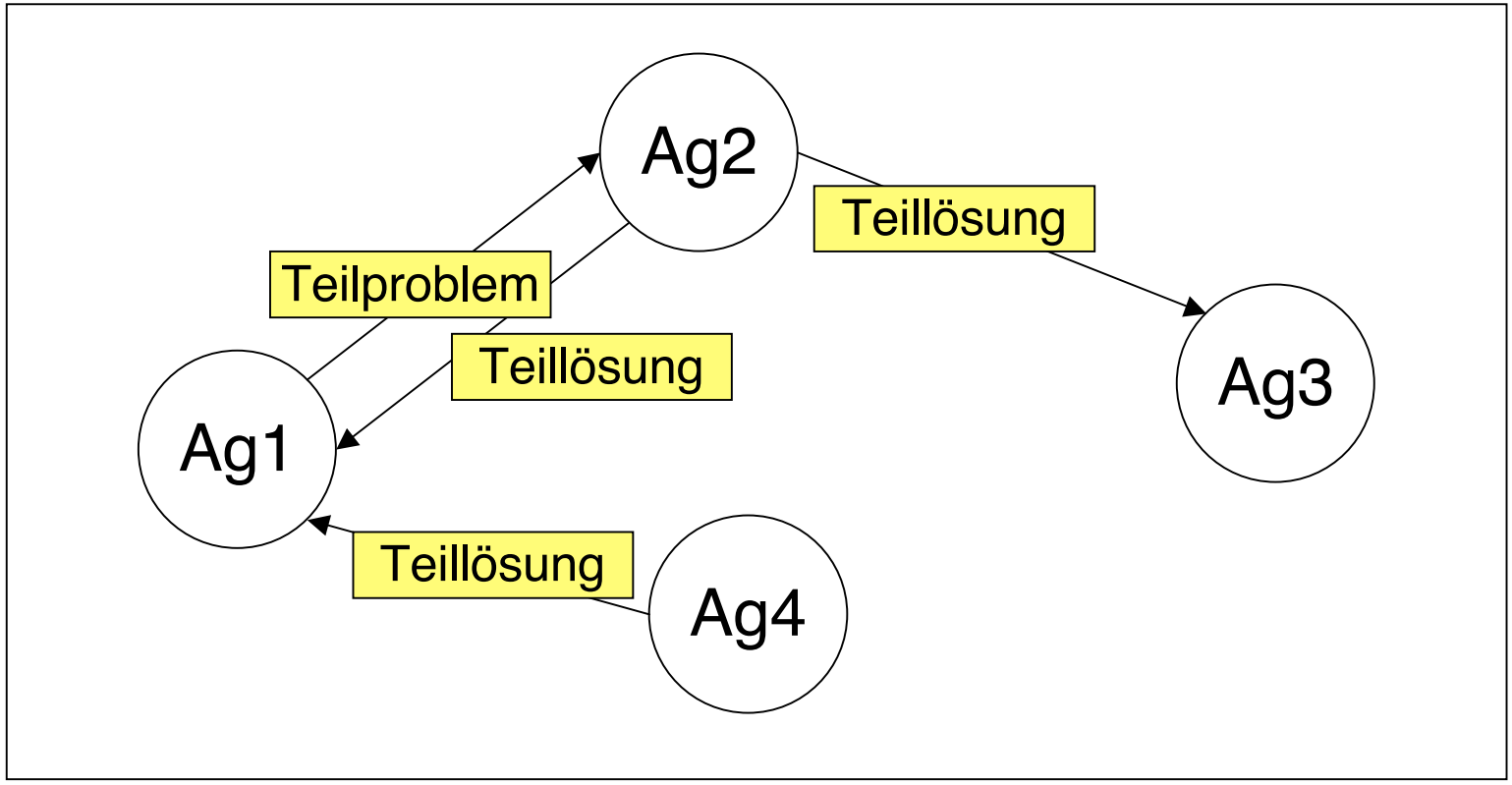
Alternative Abstimmungstypen

(nach: von Bechtolsheim 1993)



Problemschicht

(nach: von Bechtolsheim 1993)



Verteilter Problemlösungsprozess stellt sich im Agentensystem als ein Austausch von Teilproblemen und Teillösungen dar.

Kooperationsverfahren

- Master-Slave
  - ein zugeteilter Auftrag ist auszuführen
- Contract-Net (Vertrags-Verhandlung)
  - Aufträge werden von Auftraggeber-Agenten ausgeschrieben
  - Auftragnehmer-Agenten machen Angebote
  - Angebote können abgelehnt oder zugeteilt werden
  - Auftragsergebnis ist zurückzuliefern bzw. auszuführen

Abwicklung

- z.B. über unilateralen, bilateralen oder multilateralen Nachrichtenaustausch oder auch global („Blackboard“)

Multiagenten-Lernverfahren

(„bottom-up“ approach)

Idee: Einzelne Agenten in einem MAS qualifizieren sich im Verlauf von Auftrags-abwicklungen durch Erfolg und Misserfolg.

Hierdurch spielt sich das Agenten-“Team” auf angepasste Funktionen ein.

Das „Wissen“ über optimale Funktionen emergiert und ist im Team verteilt
=> keine expliziten Wissensmodelle!

Verschiedene Agentenbegriffe

(keine disjunkte Einteilung!)

- **„General Intelligent Agent“**
  Rationalität: Hat ein Agent Wissen darüber, dass eine seiner Aktionen zu einem seiner Ziele beiträgt, dann wird er diese Aktion wählen.
- **„Society of Mind“** (MINSKY)
  Ein Agent ist ein einfacher Prozess, der andere Agenten an-/abstellt. Betrachtet als "Agentur" kann er gerade das ausführen, was seine "Unteragenten" zustandebringen.
- **Situierter Agent**
  Ein System, das in seine umgebende Situation gekoppelt ist und sie als Informationsquelle ausnutzt.
- **Softwareagent**
  Ein Programm, das in Interaktion mit einer digitalen Umwelt eigenständig Aufträge erledigt oder Ziele verfolgt.
- **Interface-Agent**
  Ein System zur Unterstützung von Benutzern im Umgang mit Computer-Anwendungen.
- **Conversational Agent**
  Ein System, das ähnliche Eigenschaften wie der Mensch in „face-to-face“-Konversationen aufweist, inkl. Fähigkeiten verbaler und nonverbaler Kommunikation.

Abschlussbemerkungen

- Realisierung komplexer heterogener Systeme durch ein System kooperierender Agenten ist transparent und konzeptionell vorteilhaft
- Komplexe Agenten können als „Agenturen“ konzipiert und als Multiagentensystem realisiert werden
- Einzelnen Komponenten können aktive Rollen zugewiesen werden, Interaktionen sind intuitiv modellierbar

zur Ergänzung:

- Russell & Norvig, Kap.22, in Auszügen

zu Software-Agenten:

- Kap. 24 in Görz et al. „Handbuch der KI“