

Logische Grundlagen – Formale Spezifikation und Verifikation von Multiagenten-Systemen

Referent: Felix-Alexander Döppers (inf7340)

Veranstaltung: KI Seminar von Prof. Dr. Sebastian Iwanowski

Agenda

- **Einleitung**
- **Grundlagen**
 - **Multiagenten-Systeme**
 - **Formale Spezifikation und Verifikation**
 - **Mögliche Welten-Semantik**
 - **Modal Logik**
- **Logik**
 - **Erkenntnistheoretische Logik**
 - **Mentale Zustände Logik**
 - **Kooperations Logik**
 - **Logik zur Spezifikation von Multiagenten-Systemen**
- **Verifikation und Spezifikationen von Multiagenten-Systemen**
 - **Spezifikationen von Multiagenten-Systemen**
 - **Implementierung von Multiagenten-Systemen**
 - **Verifikation von Multiagenten-Systemen**
- **Zusammenfassung**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Motivation**
 - **Qualitätssicherungsmethoden**
 - **Umgangssprachliche und informelle Notationsmethoden nicht ausreichend**
 - **Verifikation und Spezifikationsmethoden bieten eine mathematische präzise Beschreibung**
- **Ziele des Vortrags**
 - **Folgende Fragestellungen sollen beantwortet werden**
 - **Gibt es mathematische Beschreibungen, die Zustände und Eigenschaften von Multiagenten-Systemen beschreiben können?**
 - **Können Multiagenten-Systeme mit Hilfe von Verifikation und Spezifikationstechniken erstellt werden ?**
 - **Können gängige Konzepte der Verifikation und Spezifikationstechnik im Multiagentenkontext genutzt werden?**

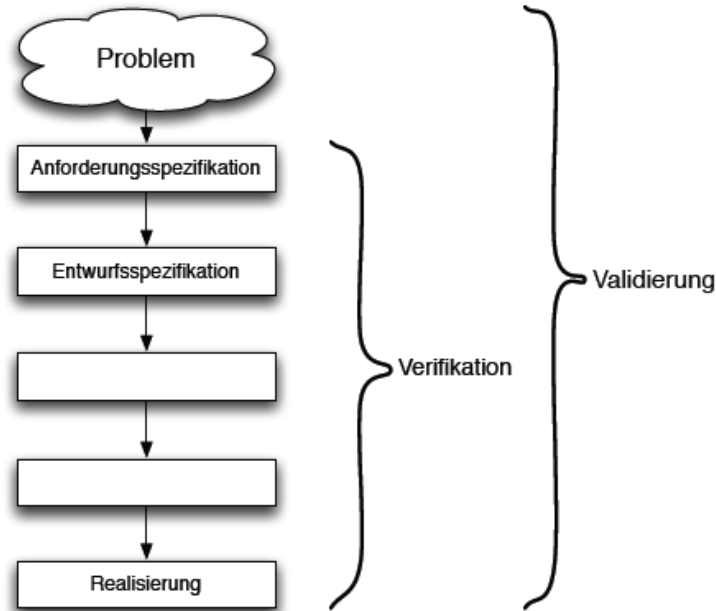
- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Definition Agent:**
 - „Ein Agent ist ein Objekt, welches in einer Umwelt eingebettet ist. Ein Agent besitzt die Fähigkeit auf Einwirkung der Umwelt mit Hilfe von autonomen Operationen zu reagieren.“
- **Eigenschaften von einem Agenten**
 - **Autonom**
 - **Reaktiv**
 - **Proaktiv**
 - **Soziale Kompetenz**
- **Reaktionen auf Umwelteinwirkung**
 - **Empfindung**
 - **Entscheidungsfindung**
 - **Aktion**
- **Multiagenten-System**
 - **Zusammenschluss von vielen Agenten**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation**
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Formale Spezifikation und Verifikation**
 - **Maßnahme zur Qualitätssicherung**
 - **Nachweis von Eigenschaften eines Systems**
- **Spezifikation**
 - **Formulierung von Anforderungen und Eigenschaften**
 - **Beschreibung in einer exakten mathematischen Notation**
- **Verifikation**
 - **Anfertigung einer Spezifikation**
 - **Verfeinerung der Spezifikation**
 - **Korrektheitsbeweis durchführen**
- **Einsatzgebiete**
 - **In kritischen Bereichen**
 - **Hardwareentwicklung**
 - **Meistens Beschränkung auf einen kritischen Kern**

■ Darstellung eines Entwicklungsprozesses



Darstellung eines Entwicklungsprozess Quelle [4]

■ Form von Spezifikationen

- Algebraische / Axiomatische
- Modellorientiert

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation**
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Algebraische Spezifikationen**
 - **Besondere Eignung für Modul- und Klassen-Schnittstellen**
 - **Beschreibung von Operationen**
 - **Beschreibung von Axiomen**
 - **Implementierung kann frei gewählt werden**
 - **Verifikation**
 - **Sind alle Operationen vorhanden**
 - **Sind alle Axiome erfüllt**
- **Beispiel Spezifikation in OBJ3**

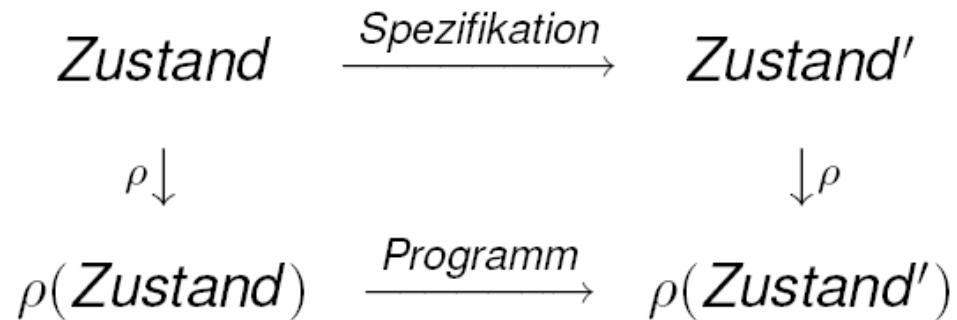
```

obj STACK-OF-NAT is
  sorts Stack .
  protecting NAT .
  op empty : -> Stack .
  op push : Element Stack -> Stack
  op pop : Stack -> Stack .
  op top : Stack -> Element .
  var S : Stack .
  var X : Element .
  eq pop(push(X,S)) = S .
  eq top(push(X,S)) = X .
endo
  
```

Darstellung einer Beispiel Algebraischen Spezifikation in OBJ3 s Quelle [4]

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation**
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Modellorientierte Spezifikation**
 - **Spezifikation von Eigenschaften des Systemes durch Zustände und mögliche Zustandsübergänge**
 - **Beschreibung der Zustände durch Prädikaten-Logik**
 - **Spezifikation manchmal ausführbar**
 - **Automatische Testdatengenerierung**
 - **Einsatz von Beweissystemen**
 - **Verifikation**
 - **Programm(p(Zustand)) == p(Spezifikation(Zustand))**



Darstellung des Verifikationsvorgang Quelle [4]

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik**
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Zielstellung**
 - **Modellierung von Annahmen**
- **Entwickelt von Hintikka im Jahre 1962**
 - **Annahmen und Wissen in einer Menge von möglichen Welten zu charakterisieren**
- **Mögliche Welt**
 - **Menge von gültigen Annahmen**
- **Begriffstrennung von Wissen und Annahmen**
 - **Wissen sind Annahmen die in allen möglichen Welten gelten**
- **Der „Wissensstand“ einer Person kann durch Annahmen und Wissen dargestellt werden**
- **Beispiel: 3 Personen spielen Skat**
- **Vorteil**
 - **Beschreibung verhält sich neutral auf die Wahrnehmung**
 - **Eine mathematische Beschreibung der Welten ist möglich**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik**
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Zielstellung**
 - **Darstellungsform für notwendige wahre und bedingt wahre Aussagen**
- **Entwickelt von Philosophen**
- **Wiederverwendung der Logik in anderen Kontexten**
- **Begriffserklärung**
 - **Syntax**
 - **Semantik**
- **Es folgt eine Syntax- und Semantik-Definition nach Saul Kripke**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
- Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

■ Syntaxdefinition der Modal Logik

Es gibt eine abzählbare Menge Prop von Aussagen

$\text{Prop} = \{p, q, \dots\}$

Folgende Syntaktische Regeln

1. Wenn $p \in \text{Prop}$, dann ist p eine Formel

2. Wenn φ, ψ Formeln sind, dann sind es auch

„true“ „ $\neg \varphi$ “ „ $\varphi \vee \psi$ “

3. Wenn φ eine Formel ist, dann sind es auch

„ $\Box \varphi$ “ „ $\Diamond \varphi$ “

- **Semantik Definition der Modal- Logik**
 - **Definition der wörtlichen Bedeutung von Modal- Logik**

Syntaktisches Zeichen	Bedeutung
$\neg a$	NOT a
$a \vee b$	a OR b
true	Konstante Wahr
$\Box \varphi$	Notwendig Wahr φ
$\Diamond \varphi$	Bedingt Wahr φ

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik**
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Definition eines Modells**
 - Ein Modell M einer Modal-Logik ist ein Trippelel $\langle W, R, V \rangle$
 - Menge W
 - Menge von Welten
 - Erreichbarkeitsrelation R
 - binäre Relation $W \times W$
 - Interpretationsfunktion V
 - Funktion $V : W \times \text{Prop} \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$
 - **Definition der Erfüllungsrelation „ $\langle M, w \rangle \models F$ “**
 - **Verbindung zwischen syntaktischen Formeln einer Welt w und deren Semantik**

▪ Definition der Erfüllungsrelation

Ausdruck	Bedingung
$\langle M, w \rangle \models \text{true}$	
$\langle M, w \rangle \models p$	$p \in \text{Prop}$ und $V(w, p)$ wahr ist
$\langle M, w \rangle \models \neg q$	$q \in \text{Prop}$ und $V(w, q)$ falsch ist
$\langle M, w \rangle \models q \vee p$	$\langle M, w \rangle \models q$ oder $\langle M, w \rangle \models p$ gefolgert werden kann
$\langle M, w \rangle \models \Box q$	$\forall w' \in W \cdot$ wenn $(w, w') \in R$, so muss dann $\langle M, w' \rangle \models q$
$\langle M, w \rangle \models \Diamond q$	$\exists w' \in W \cdot$ wenn $(w, w') \in R$ und $\langle M, w' \rangle \models q$

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Eigenschaften von Formeln**
 - **Erfüllbarkeit**
 - **Unerfüllbarkeit**
 - **Wahr in einem Modell**
 - **Valide in einer Klasse von Modellen**
 - **Valide**
 - **Beschrieben als „ $\models p$ “**
- **Beispiel für valide Aussagen**
 - **K-Axiom**
 - $\models \Box(q \rightarrow p) \rightarrow (\Box q \rightarrow \Box p)$
 - **Notwendigkeitsregel**
 - **Wenn $\models p$, dann $\models \Box p$**
- **Axiome**
 - **Gewisse Axiome gelten unter bestimmten Bedingung**
 - **Mit Hilfe von Axiome kann eine Modal- Logik klassifiziert werden**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik**
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Ziel dieses Kapitels**
 - **Eine Logik für die Beschreibung von Multiagenten-Systemen**
 - **Folgende Aspekte sollen dargestellt werden**
 - **Wissen und Annahmen**
 - **Ziele, Wünsche und Verpflichtungen**
 - **Zusammenarbeit von mehreren Agenten**
- **Lösung**
 - **Problem unterteilt in**
 - **Erkenntnistheoretische Logik**
 - **Mentale Zustands-Logik**
 - **Kooperation-Logik**
- **Lösungsweg**
 - **Einsatz von gängigen Konzepten**
 - **Einsatz von Modal-Logik**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik**
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Zielstellung**
 - **Beschreibung von erkenntnistheoretischen Fragestellungen**
- **Erkenntnistheoretische Fragestellungen umfassen das Wissen und Annahmen von Erkenntnissen**
- **Gegeben sei folgender Satz:**
„Janine glaubt, dass Cronos der Vater von Zeus ist“
- **Naiver Ansatz Prädikaten- Logik 1.Stufe**
believe(Janine, father(Zeus,Cronos))
- **Probleme**
 - **Syntaktischer Art**
 - **Ein Stufigkeit wird verletzt (Prädikat „father“)**
 - **Semantischer Art**
 - **Substitution von dem Atom Zeus würde Aussage verfälschen**
- **Lösung durch mögliche Welten-Semantik und Modal-Logik**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik**
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- Gegeben sei eine Modal- Logik
- Der Quantor $\Box\varphi$ wird gelesen als ‚Jeder weiß φ ‘
- Jede Welt ist ein Wissenstand eines Agenten
- In der Erreichbarkeitsrelation R werden alle Übergänge der Wissensstände beschrieben
- Erweiterung für Multiagenten-Systeme
 - Jeder Agent erhält seine eigene Erreichbarkeitsrelation
Modell $M = \langle W, R_1, \dots, R_n, V \rangle$
 - Der Quantor \Box wird ersetzt
 - durch eine Mengen von Quantoren $\{K_i\} \quad i \in \{1, \dots, n\}$
 - Die Semantik-Regel für den Quantor wird ersetzt durch
$$\langle M, w \rangle \models K_i q \text{ unter der Bedingung}$$
$$\forall w' \in W : \text{wenn } (w, w') \in R_i$$
$$\text{so muss } \langle M, w' \rangle \models q \text{ gelten}$$

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik**
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Probleme von erkenntnistheoretischer Logik**
 - **Logische Allwissenheit**
 - **Agent kennt alle validen Formeln**
 - **Wissen und Annahmen werden aus logischen Formeln erschlossen**
 - **Logische Allwissenheit wird durch zwei Dinge angegriffen**
 - **Problem der Inkonsistenzen in Wissensbasen**
 - **Problem von zusammengesetzten Aussagen**
- **Weitere Ableitung von Operatoren**
 - **Allgemein- Wissen**
 - **Verteiltes Wissen**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik**
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Zielstellung**
 - **Beschreibung von Verpflichtungen, Zielen und Wünschen**
- **Benutzung der möglichen Welten-Semantik**
- **Seiteneffekt-Problem tritt auf**
- **Wichtiger Aspekt in Multiagentenkontext „Rationales Gleichgewicht“**
- **Realisierung der Logik durch die Cohen und Levesque`s Verpflichtungslogik**
 - **Basis ist eine Modal- Logik**
 - **Zielstellung: Verpflichtungen logisch zu beschreiben**
 - **Entwicklung für die Sprachforschung**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik**
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Folgende Eigenschaften für Verpflichtungen müssen von einer Logik für mentale Zustände erfüllt sein**
 - **Verpflichtungen müssen von dem Verpflichtenden erreicht werden können**
 - **Verpflichtungen enthalten einen Filter, der aufpasst, dass neue Verpflichtungen nicht in Konflikt geraten mit den Alten**
 - **Agenten versuchen nach einem fehlgeschlagenen Versuch eine Verpflichtung erneut zu erfüllen**
 - **Agenten nehmen an, dass ihre Verpflichtungen erfüllbar sind**
 - **Agenten nehmen nicht an, dass ihre Verpflichtung unerfüllbar sind**
 - **Unter bestimmten Umständen nehmen Agenten an, dass ihre Verpflichtung erfüllt wird**
 - **Agenten müssen nicht alle Seiteneffekte ihrer Verpflichtung berücksichtigen**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik**
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Aufbau der Cohen und Levesque`s Verpflichtungslogik besteht aus zwei Stufen**
 - **Theorie „Partial Theory of rational Action“**
 - **Logik der „Rational Agency“**
- **Eigenschaften der Cohen und Levesque`s Verpflichtungslogik: vielsortige, einstufige Prädikate, modal**
- **Eine mögliche Welt ist ein Ereignis**
 - **Sequenz von Ereignissen werden über die Erreichbarkeitsrelation R beschrieben**
- **Folgende 4 gleichwertige atomare Quantoren werden definiert**

Quantor	Bedeutung
(Bel i q)	Agent i nimmt (glaubt) q an
(Goal i q)	Agent i hat q als Ziel
(Happens a)	Aktion a wird als nächstes eintreten
(Done a)	Aktion a ist gerade eingetreten

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik**
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Anpassung für den Multiagentenkontext**
 - **Jeder Agent enthält eine Annahme-Erreichbarkeitsrelation (AER)**
 - **Jeder Agent enthält Ziel-Erreichbarkeitsrelation (ZER)**
 - **Die ZER ist eine Teilmenge von der AER**
 - **Quantoren HAPPENS und DONE reichen im Agenten-Kontext nicht aus**
 - **Flexiblere Darstellung der Sequenzen muss möglich sein**
 - **Die Definition der Quantoren HAPPENS und DONE auf Basis der „dynamic Logic“**
 - **Die ‘dynamic Logic‘ besitzt die Quantoren ‘;‘ und ‘?’ mit folgender Bedeutung**

Quantor	Bedeutung
$a ; a'$	Auf a folgt a'
$q?$	Test Aktion q

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik**
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- Cohen und Levesque`s Verpflichtungslogik
 - wichtige Quantoren von Temporal- Logik

Quantor	Bedeutung
$\diamond a$	a gilt irgendwann
$\square a$	a gilt immer

- Definition von neuen Quantoren \square , \diamond und „Later p“ werden definiert
 - $\diamond a = \exists x \cdot ((\text{Happens } x); a?)$
 - $\square a = \neg \diamond \neg a$
 - Later p = $\neg p \wedge \diamond p$
- Ein weiterer Quantor „Before p q “kann davon abgeleitet werden

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik**
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Definition eines persistenten Ziels in der erweiterten Cohen und Levesque`s Verpflichtungslogik**

(P-Goal i p) =

$$\begin{aligned}
 &(\text{Goal } i (\text{Later } p)) \wedge \\
 &(\text{Bel } i \neg p) \wedge \\
 &[\text{Before } ((\text{Bel } i p) \vee (\text{Bel } i \square \neg p) \\
 &\quad \neg(\text{Goal } i (\text{Later } p)))]
 \end{aligned}$$

- **Definition einer Verpflichtung in der erweiterten Cohen und Levesque`s Verpflichtungslogik**

- **Die Definition erfüllt die angegebenen Anforderung für Verpflichtungen**

(Int i a) =

$$\begin{aligned}
 &(\text{P-Goal } i \\
 &\quad [\text{Done } (\text{Bel } i (\text{Happens } a))];a]
 \end{aligned}$$

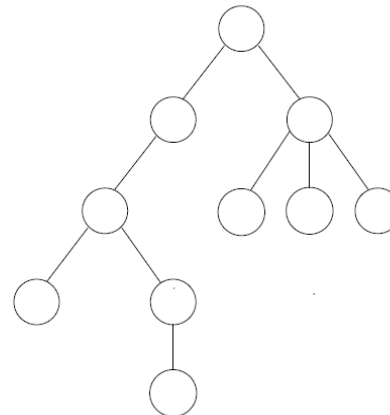
- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik**
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Zielstellung**
 - **Beschreibung von Kooperationen**
- **Logik für Kooperation**
 - **Temporal- Logik**
 - **guter Formalismus zur Beschreibung von reaktiven und verteilten Systemen**
 - **Temporal- Logik kann zur Verifikation solcher Systeme ebenfalls sehr gut genutzt werden**
 - **Zur Beschreibung von Kooperationen im Multiagentenkontext ist eine Erweiterung der Temporal-Logik notwendig**
 - **Die vorgestellte Logik „Alternating-time temporal Logic“ (ATL) basiert auf der „Computation Tree Logic“ CTL**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik**
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

CTL- Logik

- Interpretation erfolgt auf Basis von Bäumen
- Zeit wird als diskreter Wert angenommen
- Jeder Zeitpunkt entspricht einer Welt
- Jeder Zeitpunktsübergang entspricht einem Eintritt in eine neue Welt



Darstellung möglicher CTL Baum

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik**
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **CTL- Logik**
 - **Syntax und Semantik basierend der Modal- Logik**
 - **Folgende Quantoren werden neu eingeführt**

Quantor	Bedeutung
A	Ereignis tritt in allen Pfaden des Baumes auf
E	Ereignis tritt in mindestens einem Pfad des Baumes auf
$\diamond a$	a gilt in mindestens einen Zeitpunkt
$\square a$	a gilt in allen Zeitpunkt

- **Beispiel der Logik**

$A \square \neg \text{fail}$

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik**
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Warum reicht die CTL- Logik in Agenten- Kontexten nicht aus?**
 - **Ausdruck von Kooperationen nicht berücksichtigt**
 - **Problemlösung erfolgt durch ATL- Logik**
- **Alternating- time temporal logic (ATL)**
 - **Die Quantoren „E“ und „A“ werden ersetzt durch folgenden ATL Ausdruck: $\langle\langle C \rangle\rangle q$**
 - **C ist eine Gruppe von Agenten**
 - **Beispiel ATL- Logik**
 - **$\langle\langle 1,2 \rangle\rangle \square \neg \text{fail}$**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation**
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Zieldefinition**
 - **Beschreibung von erkenntnistheoretischen Fragen, mentalen Zuständen und Kooperationen**
- **Folgende Sprache wird als ATEL Sprache bezeichnet**
- **Erweiterung der entwickelten Kooperationslogik mit der Logik für mentale Zustände**
 - **Beispiel:**
 - $\langle\langle 1 \rangle\rangle \diamond \langle\langle 2 \rangle\rangle \diamond \text{goal}_2$
 - **Definition des Prädikates VETO**
 $\text{Veto}(i,j) = \langle\langle C \rangle\rangle \diamond \text{goal}_j \rightarrow \neg (\langle\langle C \setminus \{i\} \rangle\rangle \diamond \text{goal}_j)$
 $C = \{\text{Menge aller Agenten}\}$

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation**
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- Erweiterung der entwickelten Kooperationslogik
 - Mit der erkenntnistheoretischen Logik
- Quantor $\circ p$ ist ein temporaler Quantor mit der Bedeutung „das p unmittelbar wahr ist“
- Beispiele der neu entwickelten Logik

$$K_a q \rightarrow \langle\langle a \rangle\rangle \circ K_b q$$

$$K_a q \wedge K_b \neg q \wedge K_c \neg q \wedge \langle\langle a, b \rangle\rangle \circ (K_a q \wedge K_b q \wedge K_c \neg q)$$

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation**
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Verifikation und Spezifikation im Multiagentenkontext**
 - **Forschungsgebiet**
 - **Adaption von Konzepten**
 - **Vorstellung von Ideen im Verifikations- und Spezifikationen im Multiagentenkontext**
 - **Diskussion über diesen Themenkomplex**
 - **Betrachtung des Einsatzes der gerade beschriebenen Logik**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation**
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Spezifikationen**
 - **Beschreibung von Wunschverhalten des Systemes mit Hilfe von Logik**
- **Einsatz der Beschreibung der Spezifikation mit der vorgestellten Logik**
 - **Einsatz der möglichen Welten- Semantik**
 - **Vorteile der möglichen Welten- Semantik**
 - **Die erkenntnistheoretische, mentale und Kooperations-Zustände können in einer Welt beschrieben werden**
 - **Diese Zustände können mathematisch beschrieben werden**
 - **Annahmen sind leicht zu realisieren**
 - **Nachteile der möglichen Welten- Semantik**
 - **Agenten müssen perfekt logisch schließen können**
 - **Agenten müssen unendlich viele Ressourcen besitzen**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation**
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Probleme von Spezifikationen im Multiagentenkontext**
 - **Es besteht keine deutliche Verbindung zwischen den Welten und der abstrakten Erreichbarkeitsrelation, um mögliche Zustandsübergänge zu beschreiben**
 - **Schwere Realisierung einer Spezifikation**
 - **Schweres beweisen von Eigenschaften bzw. prüfen, ob eine Implementierung einer Spezifikation erfüllt ist**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung**
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Logik in der Implementierung**
 - **Spezifikation ist nicht das Ende der Softwareentwicklung**
 - **Drei Möglichkeiten der Realisierung einer Implementierung einer Spezifikation**
 - **Manuelle Verfeinerung einer Spezifikation bis zur Implementierung**
 - **Direkte Ausführung einer Spezifikation**
 - **Übersetzung einer Spezifikation in eine konkrete lauffähige Programmiersprache mit Hilfe einer Übersetzungstechnik**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung**
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Manuelle Verfeinerung einer Spezifikation bis zur Implementierung**
 - **Typischer Top- Down Ansatz**
 - **Verfeinerung wird iterativ wiederholt bis eine konkrete Implementierung in einer Programmiersprache erfolgen kann**
 - **Für jede Verfeinerungsstufe muss gezeigt werden, ob die Eigenschaften der abstrakteren Spezifikation erfüllt sind**
 - **Einsatz im Multiagentenkontext**
 - **Problematisch**
 - **Formulierung von Vor- und Nachbedingung fast unmöglich**
 - **Es gibt aktuell keine konkrete Technik**
 - **Aktuelles Forschungsgebiet**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Direkte Ausführung einer Spezifikation**
 - **Spezifikation wird zu einer konkreten Implementierung interpretiert**
 - **Es ist aktuell möglich, aber nur unter bestimmten Bedingungen**
 - **Ziel ist es, die Ausführung einer Formel q in der Logik L**
 - **ein Model M aus der logischen Formel q erstellen**
 - $M \models q$
 - **Probleme im Multiagenten-Kontext**
 - **Agenten beeinflussen und lassen sich ständig von der Umwelt beeinflussen**
 - **Definition eines pragmatischen Ansatzes für die direkte Ausführung einer Spezifikation**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- **Übersetzung einer Spezifikation in eine konkrete lauffähige Programmiersprache mit Hilfe einer Übersetzungstechnik**
 - **Generierung vom Programmcode aus der abstrakten Spezifikation**
 - **Zur Laufzeit wesentlich effizienter als direkte Ausführung der Spezifikation**
 - **Algorithmische Kosten relativ hoch bei der Umwandlung**
 - **Exponentielle Laufzeit**
 - **Dieser Mechanismus geschieht zur Compile-Zeit**
 - **Einsatz im Multiagenten-System**
 - **Forschungsgebiet**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation**
- Zusammenfassung

- **Verifikation**
 - **Ziel ist es, einen Nachweis aller Eigenschaften der Spezifikation an einer konkreten Implementierung**
 - **Dieser Nachweis muss auch bei Verfeinerung von Spezifikationen erfolgen**
- **Zwei gängige Strategien**
 - **Axiomatisch**
 - **Modellbasiert**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation**
- Zusammenfassung

- **Axiomatische Verifikation**
 - **Typisches Beispiel Hoare Trippel**
 - **Voraussetzung für axiomatische Verifikation**
 - **Ableitung einer Programmtheorie aus einer konkreten Implementierung**
 - **Wenn Programmtheorie in der gleichen Logik formuliert ist, wie die Spezifikation**
 - **Reduzierung der Verifikation auf einen Beweis**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation**
- Zusammenfassung

- **Vorgehen im Multiagenten- Kontext**
 - **Einsatz von erkenntnistheoretischen Temporal-Logik**
 - **Folgende Annahmen müssen getroffen werden bei der axiomatischen Verifikation**
 - **Entwicklung eines einfachen abstrakten Modelles zur Repräsentation von intelligenten Agenten**
 - **Spezifizierung eines Multiagenten-Systemes**
 - **Die „Axiomatisierung“ der Programmiersprachen**
 - **Verifikation erfolgt durch eine Beweisführung mit der erkenntnistheoretischen Temporal-Logik**
 - **Forschungsgebiet**
 - **keine praktische Realisierung**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation**
- Zusammenfassung

- **Modellbasierte Verifikation**
 - **Wesentliche effiziente Beweisführung**
 - **Umsetzung des Modell Checking- Konzeptes**
- **Modell Checking- Konzept**
 - **Basierend auf der Semantik der Spezifikationssprache**
 - **Dient zur Prüfung von temporalen Zusammenhänge**
 - **Abstrakte Darstellung des Modell Checking- Konzeptes**
 - **Gegeben ist eine Formel q in der Logik L und ein Model M**
 - **Prüfe, ob $M_p \models_L q$ gilt**
- **Vorgehen beim Modell Checking**
 - **q ist Spezifikation eines System**
 - **p ist die Implementierung von q**
 - **Nachweis ob q p implementiert**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation**
- Zusammenfassung

- **Einsatz im Multiagenten Kontext**
 - **Mehrere Ansätze**
 - **Ansatz von Raimondo und Lamuscio ermöglichen den Einsatz von Model- Checking für Temporal- und erkenntnistheoretische Logik**
 - **Ansatz von Roa und Gergeff haben das Modell-Checking für mentale Zustände (Ziele, Wünsche und Glaube) umgesetzt**
 - **Probleme**
 - **Abstraktion von Wissen eines Agenten aus einem Programm**
 - **Forschungsgebiet**

Einleitung

Grundlagen

Multiagenten-Systeme

Spezifikation und Verifikation

Mögliche Welten-Semantik

Modal Logik

Logik

Erkenntnistheoretischen Logik

Mentale Zustände Logik

Kooperation Logik

Logik zu Spezifikation

Verifikation und Spezifikation

Spezifikation

Implementierung

Verifikation

Zusammenfassung

- **Gibt es mathematische Beschreibungen, die einen Zustand und Eigenschaften von Multiagenten-Systemen beschreiben können?**
 - **Beschreibung kann anhand der vorgestellten Logik erfolgen**
- **Können Multiagenten-Systeme mit Hilfe von Verifikation und Spezifikationstechniken erstellt werden ?**
 - **Forschungsgebiet**
 - **Lösung von vielen Problemen**
- **Können gängige Konzepte der Verifikation und Spezifikationstechnik im Multiagentenkontext genutzt werden?**
 - **Es können viele gängige Techniken und Logiken benutzt werden**
 - **Diese Techniken müssen aber an den Multiagentenkontext angepasst werden**
 - **Die Umsetzbarkeit für viele Verfahren muss noch für den Multiagentenkontext gezeigt werden**

- Einleitung
- Grundlagen
 - Multiagenten-Systeme
 - Spezifikation und Verifikation
 - Mögliche Welten-Semantik
 - Modal Logik
- Logik
 - Erkenntnistheoretischen Logik
 - Mentale Zustände Logik
 - Kooperation Logik
 - Logik zu Spezifikation
- Verifikation und Spezifikation
 - Spezifikation
 - Implementierung
 - Verifikation
- Zusammenfassung

- [1] Buch „An Introduction to MultiAgent Systems“ 2nd Edition
Autor : Michael Wooldrige**
- [2] Vorlesungsmaterial „Künstliche Intelligenz“
Prof. Dr. Sebastian Iwanowski FH Wedel**
- [3] Buch „Algebraische Spezifikation abstrakter Datentypen“
Autor : Ehrich/Gogolla/Lipeck**
- [4] Vorlesungsmaterial „Formale Spezifikation und Verifikation“
Prof. Dr. Ulrich Hoffmann**
- [5] Buch „Z - An Introduction to Formal Methods“
Autor : Antoni Diller Wiley & Sons,**

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?