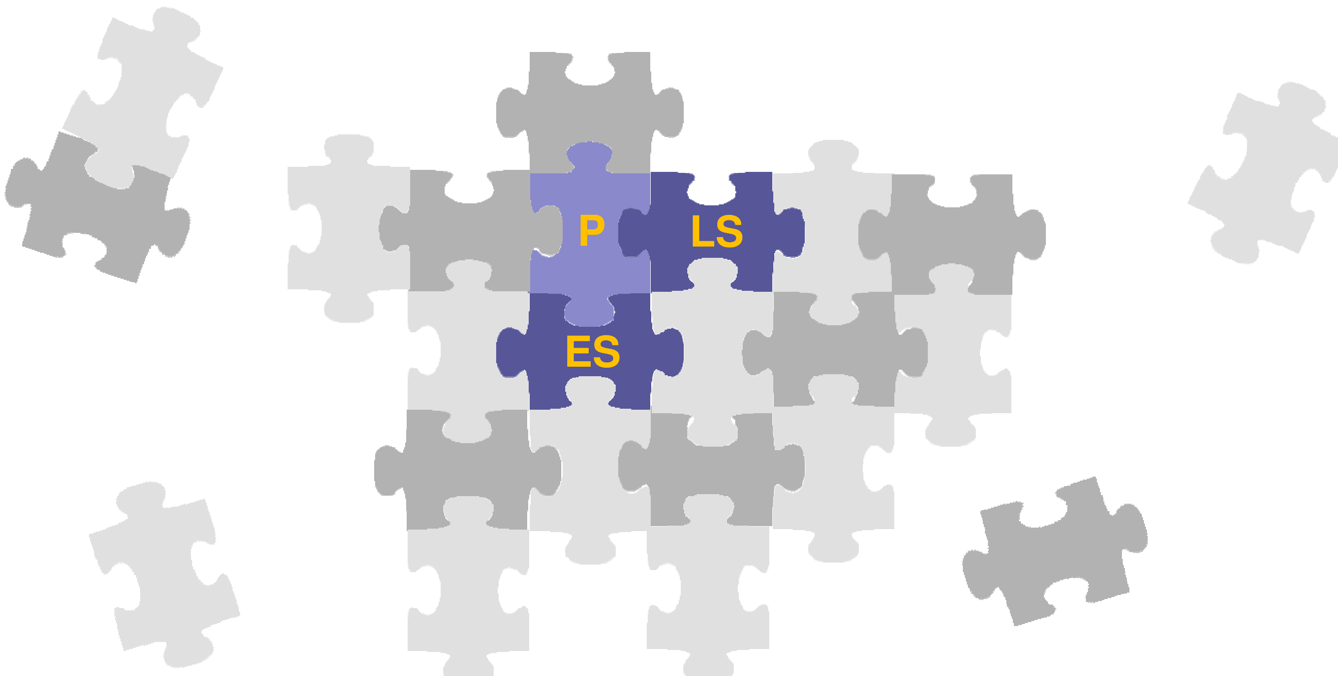
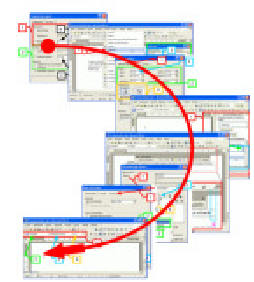
Vorlesung: „*Künstliche Intelligenz*“

- Logisches Schließen -



Inhaltliche Planung für die Vorlesung

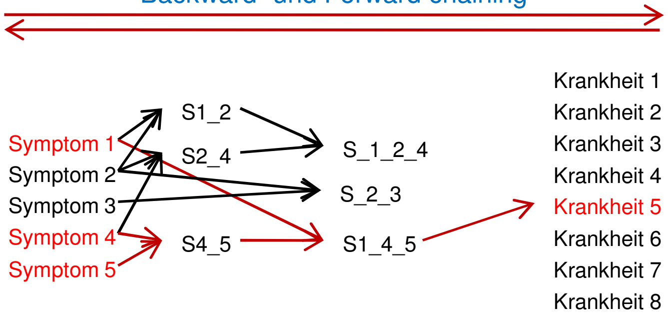
1) Definition und Geschichte der KI, PROLOG
2) **Expertensysteme**
3) Logisches Schließen, Resolution
4) Spieltheorie, Suchen und Planen
5) Spieleprogrammierung
6) General Game Playing
7) Reinforcement Learning und Spieleprogrammierung
8) Mustererkennung
9) Neuronale Netze
10) Optimierungen (genetische und evolutionäre Algorithmen)
11) Bayes-Netze, Markovmodelle
12) Robotik, Pathfinding

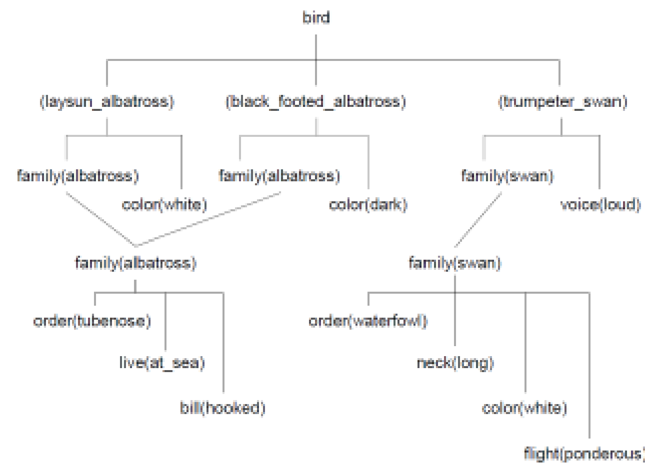


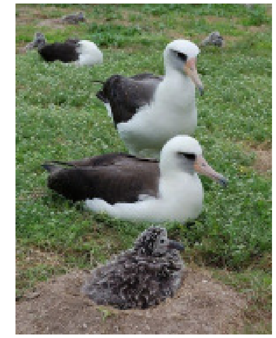
der rote Vorlesungsfaden...

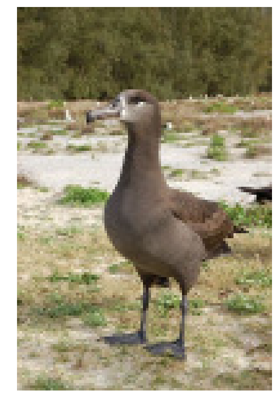
Expertensysteme

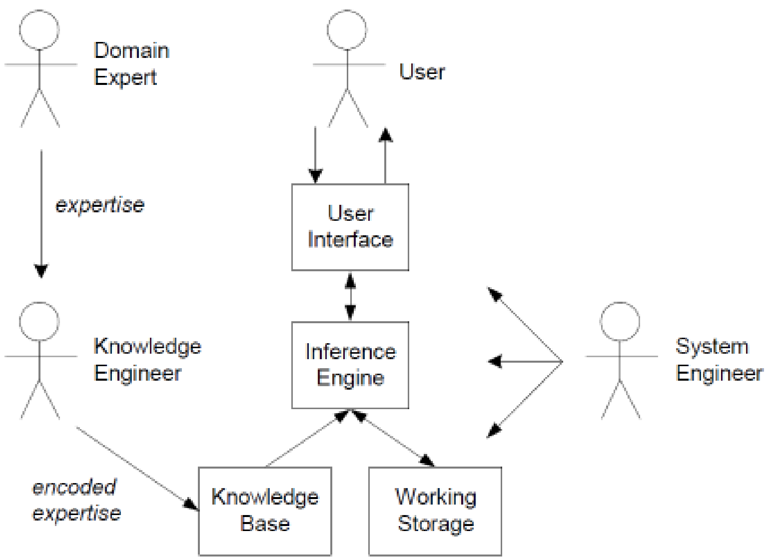
Backward- und Forward chaining











Prädikate der Shell

```
...

solve :-
   abolish(known,3),
   prove(top_goal(X),[]),
   write('The answer is
'),write(X),nl.

solve :- write('No answer
found.'),nl.

ask(Attribute,Value,_) :-

known(yes,Attribute,Value),
!.

...
```

Wissens basis

```
...

top_goal(X) :- bird(X).

order(tubenose)     :-

nostrils(external_tubular)
,
   live(at_sea),
   bill(hooked).

order(waterfowl)    :-
   feet(webbed),
   bill(flat).

...
```

Expertensystem ELIZA

Das Programm ELIZA wurde zwischen 1964 und 1966 von Joseph Weizenbaum entwickelt. Es sollte eine Möglichkeit für die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine aufzeigen.

Wir erinnern uns an den Turing-Test:

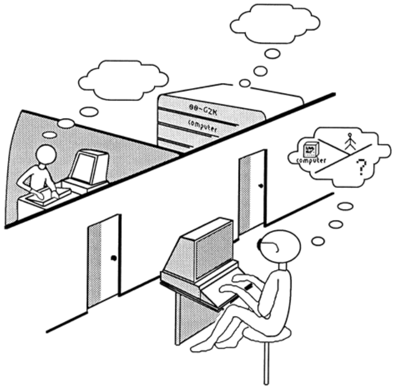


Abbildung aus [4]

Expertensystem ALICE

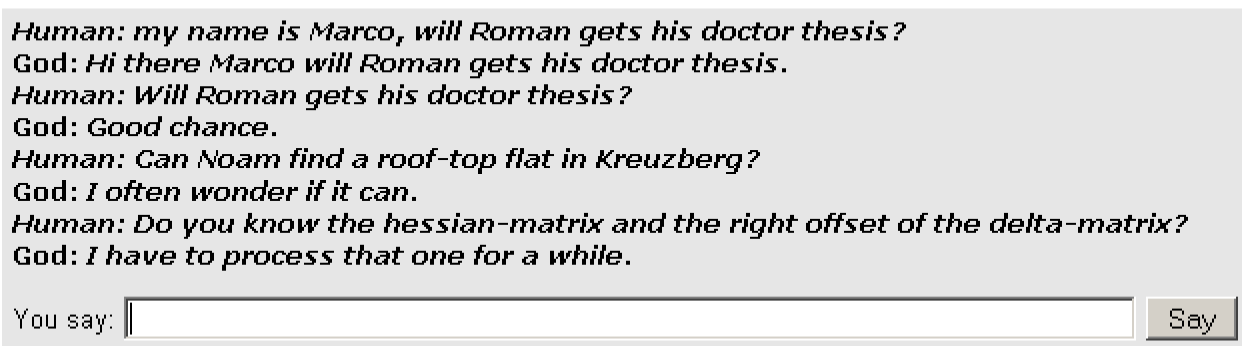
A.L.I.C.E. (Artificial Linguistic Internet Computer Entity)

http://alicebot.blogspot.com/

Ist eines der leistungsstärksten Programme seiner Art und hat bisher zahlreiche Preise gewonnen (Löbner-Preis). Entwickelt in AIML.

Dort kann man auch mit Gott chatten...

Ich habe gestern meine wichtigsten Fragen loswerden können:

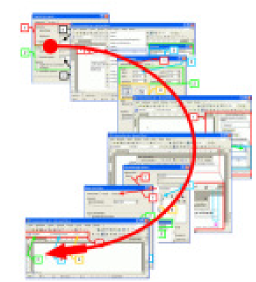


Aber versuchen wir es doch live!

Den Turing-Test hat Gott leider nicht bestanden...

Inhaltliche Planung für die Vorlesung

1) Definition und Geschichte der KI, PROLOG
2) Expertensysteme
3) **Logisches Schließen, Resolution**
4) Spieltheorie, Suchen und Planen
5) Spieleprogrammierung
6) General Game Playing
7) Reinforcement Learning und Spieleprogrammierung
8) Mustererkennung
9) Neuronale Netze
10) Optimierungen (genetische und evolutionäre Algorithmen)
11) Bayes-Netze, Markovmodelle
12) Robotik, Pathfinding



der rote Vorlesungsfaden...

Kurze Wiederholung

Definition Folgerung:

Eine Formel Q folgt aus einer Formel WB, wenn jedes Modell von WB auch ein Modell von Q ist. Man schreibt dann $WB \models Q$.

Die leere Formel ist für alle Belegungen wahr. Für jede Tautologie T gilt also $\emptyset \models T$. Intuitiv heißt das, dass Tautologien immer gelten, ohne Einschränkung der Belegungen durch eine Formel.

Wir schreiben dafür kurz $\models T$.

Deduktionstheorem

Das **Deduktionstheorem** besagt:

$$A \models B \text{ gilt genau dann wenn } \models A \Rightarrow B.$$

Eine Formel B folgt aus einer Formel A, wenn jedes Modell von A auch ein Modell von B ist.

Wir sind daran interessiert zu zeigen, dass aus einer Wissensbasis WB (eine umfangreiche aussagenlogische Formel) eine Anfrage Q folgt.

Aus dem Deduktionstheorem können wir folgern:

$$WB \models Q \text{ gilt genau dann wenn } WB \wedge \neg Q \text{ unerfüllbar ist.}$$

Modus Ponens

Die Inferenzregel **Modus Ponens** erlaubt eine einfache Ableitung:

$$\frac{A,\ A \Rightarrow B}{B}$$

Modus Ponens ist korrekt aber kein vollständiger Kalkül.

Resolution

Die allgemeine Inferenzregel **Resolution** (oder Resolutionsregel) lautet:

$$\frac{(A_1 \vee \ldots \vee A_m \vee B), (C_1 \vee \ldots \vee C_n \vee \neg B)}{(A_1 \vee \ldots \vee A_m \vee C_1 \vee \ldots \vee C_n)}$$

Resolvent

Bei Formeln in konjunktiver Normalform tritt ein Widerspruch in Form von zwei Klauseln (A) und (¬A) auf, die zur leeren Klausel als Resolventen führen.

Logisches Schließen mit Resolutionskalkül

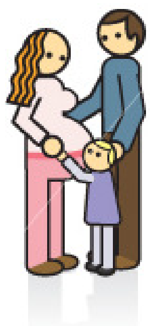
Ziel ist es, zu beweisen, dass aus einer Wissensbasis WB eine Anfrage Q folgt.

1. Konvertieren der Aussagen in eine Menge von Regeln und Fakten (KNF).
2. Prüfen, ob die Wissensbasis WB widerspruchsfrei ist.
3. Einen Widerspruch aus WB $\wedge \neg$Q herleiten

Logikrätsel: A charming English family

Nachdem ich sieben Jahre lang mit glänzendem Erfolg English studiert habe, muss ich zugeben, dass ich, wenn ich Engländer englisch sprechen höre, vollkommen perplex bleibe. Nun habe ich neulich, von edlen Gefühlen bewegt, drei Anhalter, Vater, Mutter und Tochter, mitgenommen, die, wie ich schnell begriff, Engländer waren und folglich nur Englisch sprachen. Bei jedem ihrer Sätze zögerte ich zwischen zwei möglichen Bedeutungen. Sie sagten mir folgendes (der zweite Sinn steht in Klammern):

Der Vater: „Wir fahren bis nach Spanien (wir kommen aus Newcastle)."
Die Mutter: „Wir fahren nicht nach Spanien und kommen aus Newcastle (wir haben in Paris angehalten und fahren nicht nach Spanien)."
Die Tochter: „Wir kommen nicht aus Newcastle (wir haben in Paris angehalten)."



What about this charming English family?

Aufgabe aus [1]

Lösung

Der Vater: „Wir fahren bis nach Spanien (wir kommen aus Newcastle)."
Die Mutter: „Wir fahren nicht nach Spanien und kommen aus Newcastle (wir haben in Paris angehalten und fahren nicht nach Spanien)."
Die Tochter: „Wir kommen nicht aus Newcastle (wir haben in Paris angehalten)."

Transformation in konjunktive Normalform

$$\text{Vater} \wedge \text{Mutter} \wedge \text{Tochter}$$

Zur Erinnerung: Eine Formel ist in konjunktiver Normalform (KNF) genau dann, wenn sie aus einer Konjunktion von Klauseln besteht. Eine Klausel besteht aus einer Disjunktion von Literalen. Ein Literal ist eine Variable oder negierte Variable.

$$\begin{aligned}
\text{Vater} &\equiv (S \vee N) \\
\text{Mutter} &\equiv [(\neg S \wedge N) \vee (P \wedge \neg S)] \\
\text{Tochter} &\equiv (\neg N \vee P)
\end{aligned}$$

Lösung

Wir erhalten also den folgenden logischen Ausdruck für die Wissensbasis

$$(S \vee N) \wedge [(\neg S \wedge N) \vee (P \wedge \neg S)] \wedge (\neg N \vee P)$$

Nach Umstellung in KNF:

$$WB \equiv (S \vee N)_1 \wedge (\neg S)_2 \wedge (N \vee P)_3 \wedge (\neg N \vee P)_4$$

Indizes für Nummerierung der Klauseln

Wir starten den Resolutionsbeweis erstmal ohne Anfrage.

Lösung

Resolutionsbeweis:

$$WB \equiv (S \vee N)_1 \wedge (\neg S)_2 \wedge (N \vee P)_3 \wedge (\neg N \vee P)_4$$

$$(N)_5$$

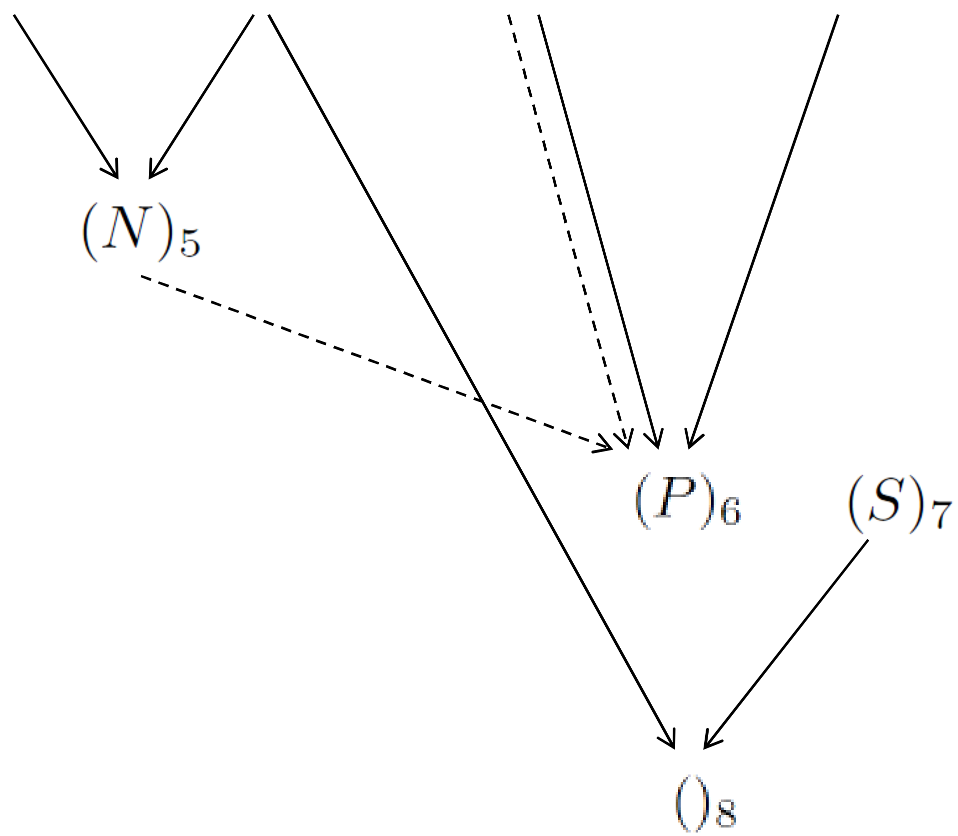
$$(P)_6$$

Da sich die leere Klausel nicht ableiten läßt, ist damit gezeigt, dass die Wissensbasis (WB) widerspruchsfrei ist.

Lösung

Um zu zeigen, dass Spanien „nicht gilt", fügen wir S als Klausel hinzu:

$$WB \equiv (S \vee N)_1 \wedge (\neg S)_2 \wedge (N \vee P)_3 \wedge (\neg N \vee P)_4$$



Es gilt also: $\neg S \wedge N \wedge P$

Logikrätsel: Der Hochsprung

Drei junge Mädchen üben Hochsprung für die Sportprüfung im Abitur. Die Stange wurde bei 1.20 m befestigt. „Ich wette“, sagt das erste zum zweiten Mädchen, „dass mir mein Sprung gelingen wird, wenn, uns nur dann, wenn Du versagst.“. Wenn das zweite junge Mädchen das gleiche zu dem dritten sagt, welches wiederum das gleiche zu dem ersten sagt, wäre es dann möglich, dass keins von den dreien seine Wette verliert?

Wir werden zeigen, dass nicht alle drei Mädchen ihre Wette gewinnen können.

$$Q \equiv \neg((A \iff \neg B) \wedge (B \iff \neg C) \wedge (C \iff \neg A))$$

Sprung von Mädchen 1 gelingt

Wir wollen also zeigen, dass ¬Q unerfüllbar ist.

Aufgabe aus [1]

Lösung

Resolutionsbeweis:

$$\neg Q \equiv (\neg A \vee \neg B)_1 \wedge (A \vee B)_2 \wedge (\neg B \vee \neg C)_3 \wedge (B \vee C)_4 \wedge (\neg C \vee \neg A)_5 \wedge (C \vee A)_6$$

$$(C \vee \neg B)_7 \qquad (B \vee \neg C)_9$$

$$(C)_8 \qquad (\neg C)_{10}$$

$$()_{11}$$

Wir haben die leere Klausel abgeleitet, damit ist die Behauptung gezeigt.

Aufgabe aus [1]

Hornklauseln

Eine Klausel in konjunktiver Normalform enthält positive und negative Literale und läßt sich daher darstellen in der Form:

$$(\neg A_1 \vee \ldots \vee \neg A_m \vee B_1 \vee \ldots \vee B_n)$$

Diese Klausel läßt sich in zwei Schritten umformen in die äquivalente Form:

$$A_1 \wedge \ldots \wedge A_m \Rightarrow B_1 \vee \ldots \vee B_n$$

Prämisse, Konjunktion von Variablen

Konklusion, Disjunktion von Variablen

„Wenn das Wetter schön ist und Schnee liegt, gehe ich Skifahren oder ich gehe arbeiten.“

Hornklauseln

„Wenn das Wetter schön ist und Schnee liegt, gehe ich Skifahren.“

definite Klauseln

Klauseln mit höchstens einem positiven Literal der Formen

$$(\neg A_1 \vee \ldots \vee \neg A_m \vee B) \qquad (\neg A_1 \vee \ldots \vee \neg A_m) \qquad B$$

$$A_1 \wedge \ldots \wedge A_m \Rightarrow B \qquad A_1 \wedge \ldots \wedge A_m \Rightarrow f$$

heißen **Hornklauseln**. Eine Klausel mit nur einem positiven Literal heißt **Fakt**.

Schließen mit Hornklauseln

Gegeben sei folgende Wissensbasis:

(Wetter_schoen)
(Schneefall)
(Schneefall $\Rightarrow$ Schnee)
(Wetter_schoen $\wedge$ Schnee $\Rightarrow$ Skifahren)

Die Frage ist nun, ob Skifahren gilt.

SLD-Resolution

Für das Backward chaining auf Hornklauseln wird SLD-Resolution verwendet. SLD steht für „Selection rule driven linear resolution for definite clauses“.

Wir erweitern dafür die Wissensbasis um die negierte Anfrage

(Wetter_schoen) (Schneefall) (Schneefall $\Rightarrow$ Schnee) (Wetter_schoen $\wedge$ Schnee $\Rightarrow$ Skifahren) (Skifahren $\Rightarrow$ f)

(Wetter_schoen $\wedge$ Schnee $\Rightarrow$f)

(Schnee $\Rightarrow$ f)

(Schneefall $\Rightarrow$ f)

()

Damit haben wir einen Widerspruch hergeleitet. Linear Resolution bedeutet, dass mit der gerade aktuell hergeleiteten Klausel weitergearbeitet wird.

SLD-Resolution

Das führt zu einer starken Reduktion des Suchraums und die Klauseln werden in einer festen Reihenfolge (von links nach rechts) abgearbeitet.

Inferenzregel für einen Schritt:

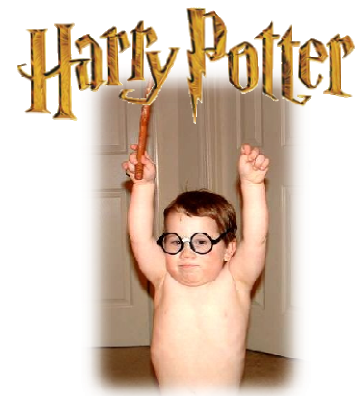
$$\frac{A_1 \wedge \ldots \wedge A_m \Rightarrow B_1\,,\; B_1 \wedge B_2 \wedge \ldots \wedge B_n \Rightarrow f}{A_1 \wedge \ldots \wedge A_m \wedge B_2 \wedge \ldots \wedge B_n \Rightarrow f}$$

Vor Anwendung der Inferenzregel sind $B_1, B_2, \ldots, B_n$ die aktuellen Teilziele (subgoals) zu beweisen. Nach Anwendung wird B_1 ersetzt durch die neuen Teilziele $A_1 \wedge \ldots \wedge A_m$. Um zu zeigen, dass B_1 wahr ist, muss gezeigt werden, dass $A_1 \wedge \ldots \wedge A_m$ wahr sind.

Dieser Prozess setzt sich solange fort, bis die Liste der Teilziele der aktuellen Klausel leer ist. Damit ist ein Widerspruch gefunden. Gibt es zu einem Teilziel $\neg B_i$ keine Klausel mit komplementären Literal B_i als Klauselkopf, so terminiert der Beweis und es kann kein Widerspruch gefunden werden. Die Anfrage ist also nicht beweisbar.

SLD-Resolution wird bei der Abarbeitung der prädikatenlogischen Hornklauseln in PROLOG verwendet.

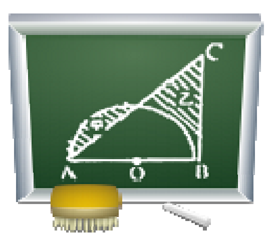
Logikrätsel: Harry Potter



- Harry, Ron and Draco are students of the Hogwarts school for wizards
- Every student is either wicked or is a good Quidditch player, or both
- No Quidditch player likes rain and all wicked students like potions
- Draco dislikes whatever Harry likes and likes whatever Harry dislikes
- Draco likes rain and potions

Is there a student who is good in Quidditch but not in potions?

Die Lösung gibt es hier:



Aufgabe aus [6]

Literatur und Abbildungsquellen

[1] Ertel, W.: „*Grundkurs Künstliche Intelligenz*", Vieweg Verlag 2008

[2] Braitenberg V.: „*Vehicles – Experiments in Synthetic Psychology*", MIT Press, 1984

[3] Bratko, I.: „*PROLOG Programming for Artificial Intelligence*", 3.Auflage, Pearson Verlag 2001

[4] Copeland J.: „*Artificial Intelligence: A Philosophical Introduction*", Oxford UK and Cambridge, 1993

[5] Merrit D.: „*Building Expert Systems in Prolog*", Openbook, Amzi!, 2000

[6] Dasgupta P.: „*Lecture - 12 Resolution Refutation Proofs*", Dept. of Computer Science & Engineering, I.I.T, Kharagpur, http://www.youtube.com/watch?v=cx5b0kyu-jU&feature=channel