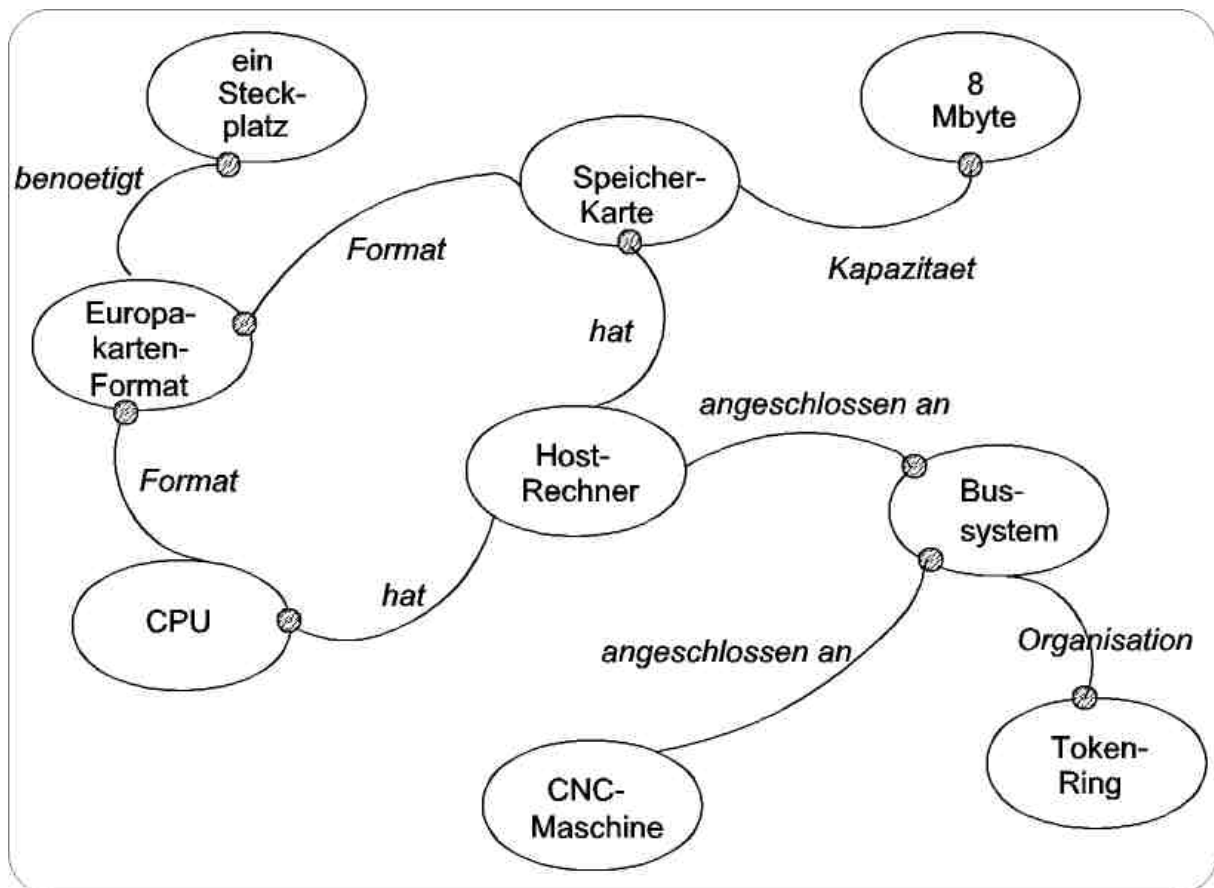


FORMALISIERUNG 1: GEDANKEN -> SÄTZE

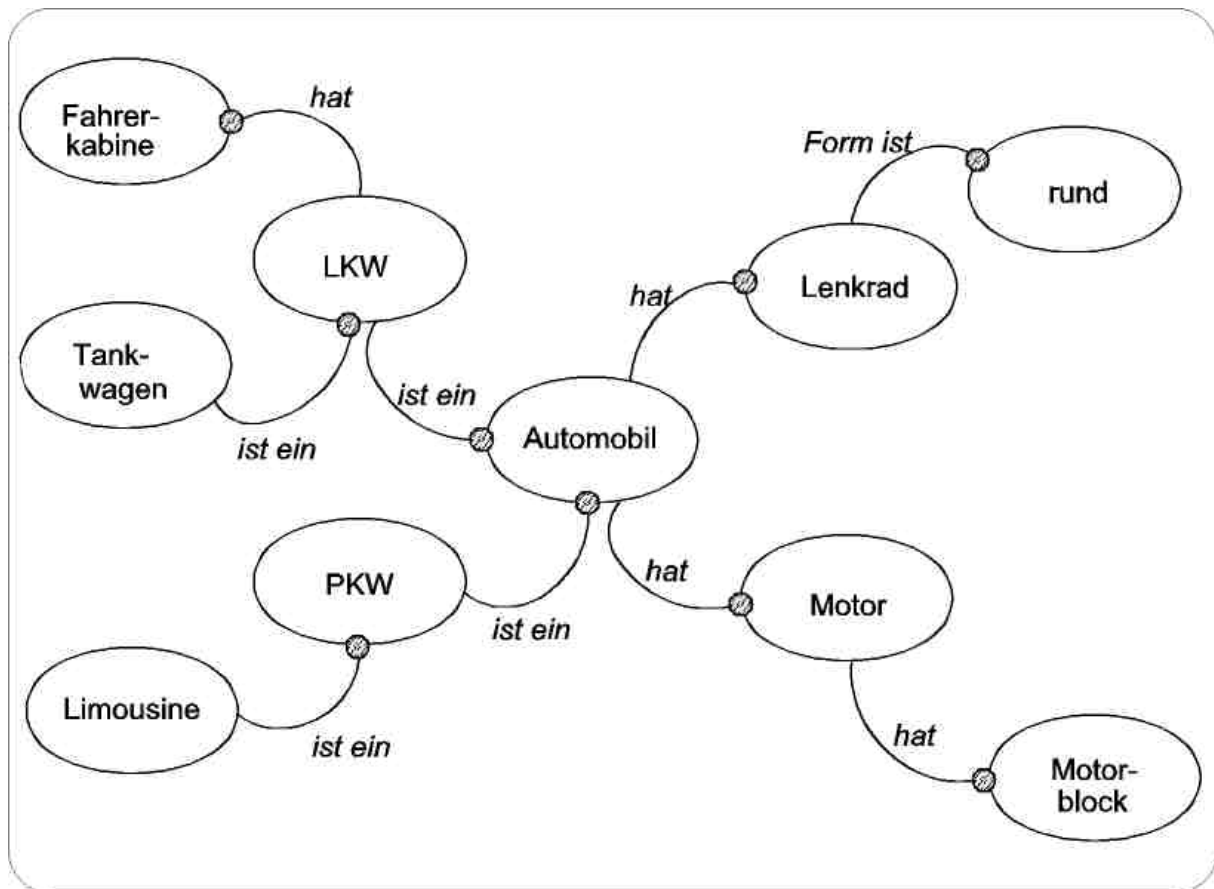
1. "Die CNC-Maschine is via Bus-System (Token-Ring) am Host-Rechner angeschlossen."
2. "Sowohl die CPU als auch die 8 MB Speicherkarte des Host-Rechners sind im Europakarten-Format ausgeführt."

FORMALISIERUNG 2: SÄTZE -> SEMANTISCHES NETZ

[Quelle: Rembold, U., 1992]



AUFGABE: SEMANTISCHE NETZE (Auto)



Situation:

Das Bild zeigt Wissen über Autos formalisiert mit Hilfe eines semantischen Netzes. [Quelle: Kurbel, K., 1989, S. 39].

Aufgaben:

- Versuchen Sie das Wissen über den Tankwagen und die Limousine mit einfachen Sätzen auszudrücken (= Formalisierung in natürlicher Sprache).
- Formalisieren Sie das gesamte im Netz vorhandene Wissen mit Hilfe von Frames geordnet in einer Hierarchie.

SEMANTISCHE NETZE: Verbindungen

Als Mittel für die Formalisierung von Wissen in der Sprachverarbeitung (automatische Übersetzung) wurden semantische Netze zum ersten Mal in Italien Ende der 50'er Jahre benutzt. Der Erfinder dieser Methode, der italienische Kybernetiker *Silvio Ceccato*, war auch der erste der sie auf einem Computer implementiert hat (Universität Mailand, 1959/1960). Die folgende Liste zeigt die 68 Beziehungen die damals von Ceccato benutzt wurden [S.Ceccato, 1961, S.103-104].

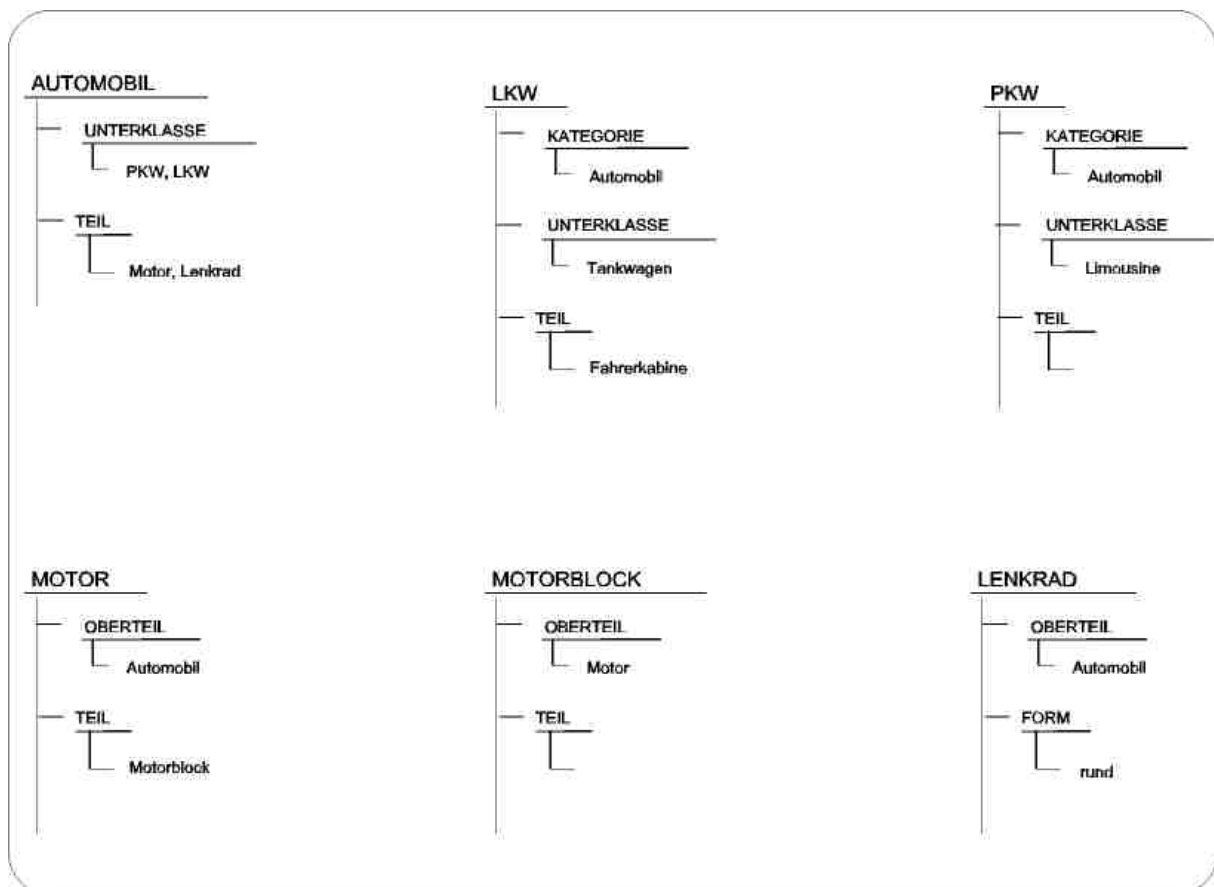
- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| 01. | element - collection | 02. | speciment - class |
| 03. | species - genus | 04. | part - whole |
| 05. | container - contents | 06. | support - supported |
| 07. | thing pulling - thing pulled | 08. | thing looking after - thing beeing looked after |
| 09. | thing directing - thing being directed | 10. | component - composite |
| 12. | ornament - thing adorned | 13. | thing provenient - provenience (where the thing comes from) |
| 15. | characteristic - thing characterising | 16. | thing preceding - thing preceded |
| 18. | object - accessory | 19. | contiguity |
| 20. | opposition | 21. | ascending relation - descending relation - collateral relation (family) |
| 22. | things one can put on - things that put them on | | |
| 23. | objects - covers | 24. | means of protection - things from which they protect |
| 25. | historical appartenance | 26. | thing generated - generator |
| 27. | thing generated - ambience of generation | 28. | first stage - second stage of genetic development |
| 29. | activity and behavior - accessory | 33. | objects - their physical state |
| 34. | material - form | 35. | constituent - thing constituted |
| 36. | object - aspect | 38. | economic relation |
| 39. | semantic relation | 40. | subject - activity |
| 41. | subject - material of 40 | 42. | subject - result of 40 |
| 43. | subject - instrument of 40 | 44. | activity - constitutive object |
| 45. | activity - result | 46. | activity - instrument |
| 47. | activity - modality | 48. | activity - ambience |
| 49. | activity - habitual place | 50. | activity - time |
| 51. | material - product | 52. | object - instrument |
| 53. | object - ambience | 54. | object - habitual place |
| 55. | object - time | 57. | subject - secondary effect of activity |
| 58. | organ - function | 59. | organ - result of function |
| 60. | instrument - finality of 46 | 61. | object - material |
| 62. | complementary instruments | 63. | instrument - result of 46 |
| 64. | complementary objects | 65. | subject - place of 40 |
| 66. | activity - material | 68. | subject - object of 40 |

FORMALISIERUNG 3: SEMANTISCHES NETZ -> FAKTEN

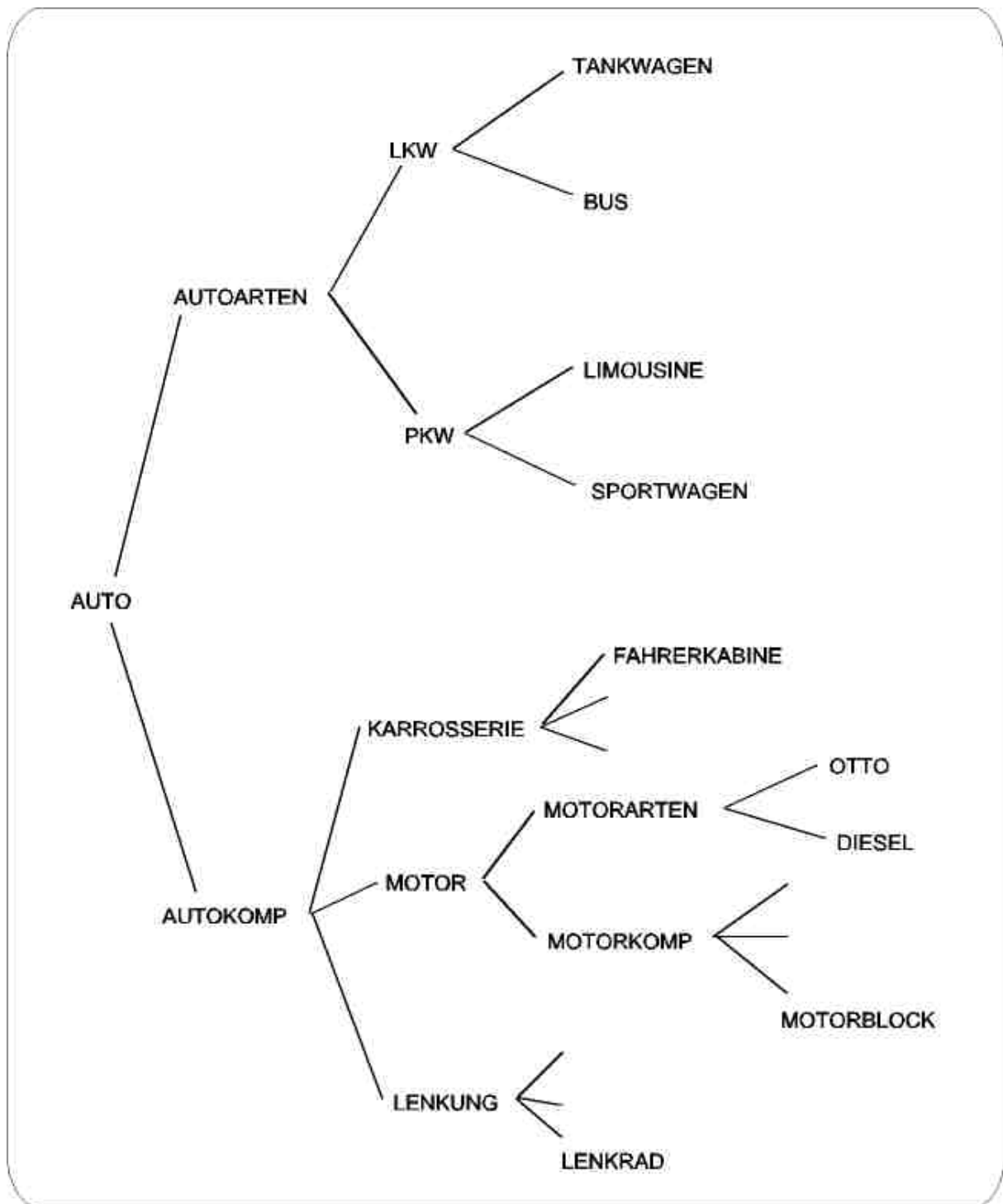
[Tankwagen] --- ist ein --> [LKW]
 [Tankwagen] <-- umfasst --- [LKW]
 [LKW] --- ist ein --> [Automobil]
 [LKW] <-- umfasst --- [Automobil]
 [LKW] --- hat --> [Fahrerkabine]
 [LKW] <-- ist im --- [Fahrerkabine]
 [Automobil] --- hat --> [Motor]
 [Automobil] <-- ist im --- [Motor]
 [Motor] --- hat --> [Motorblock]
 [Motor] <-- ist im --- [Motorblock]
 [Lenkrad] --- Form ist --> [rund]

Die Kategorie von Tankwagen ist LKW
 Die Unterklasse von LKW ist Tankwagen
 Die Kategorie von LKW ist Automobil
 Eine Unterklasse von Automobil ist LKW
 Ein Teil vom LKW ist die Fahrerkabine
 Der Oberteil der Fahrerkabine ist LKW
 Ein Teil des Automobils ist der Motor
 Der Oberteil des Motors ist das Automobil
 Ein Teil des Motors ist der Motorblock
 Der Oberteil des Motorblocks ist der Motor
 Die Form des Lenkrads ist rund

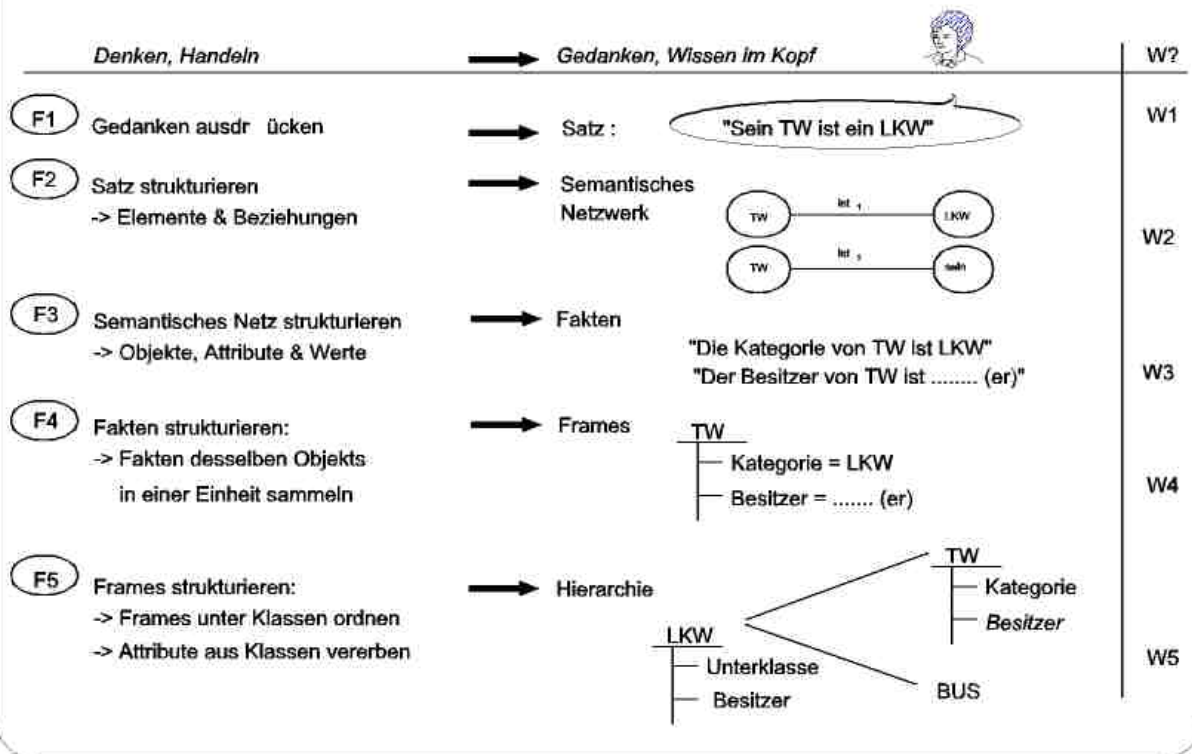
FORMALISIERUNG 4: FAKTEN -> FRAMES



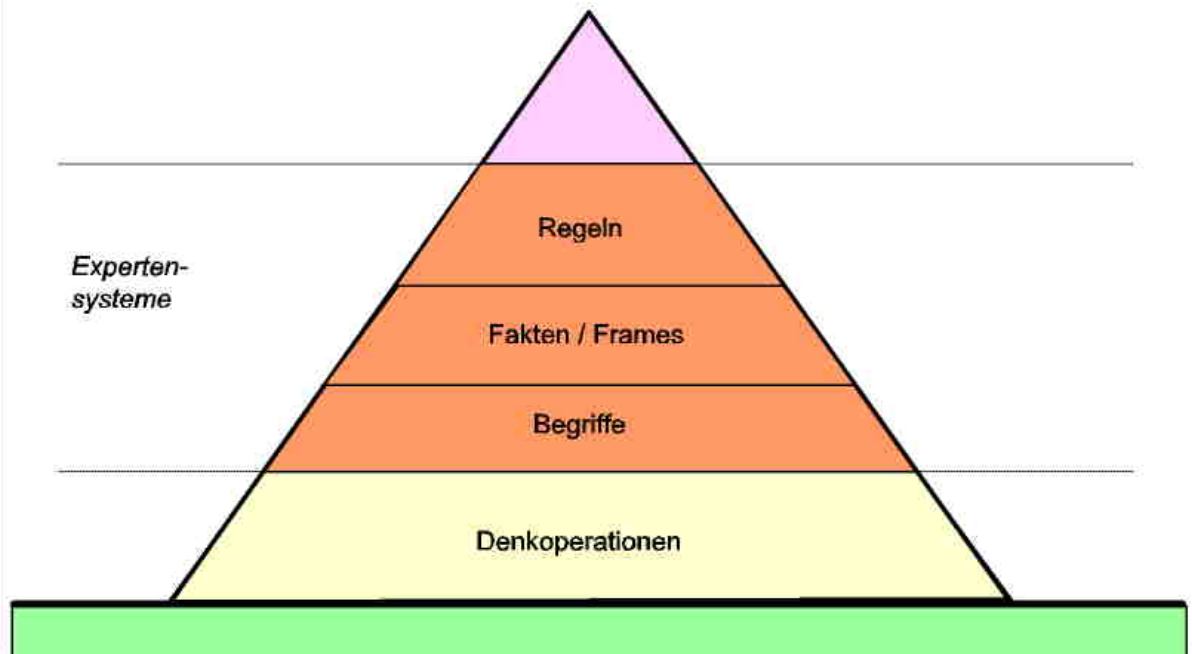
FORMALISIERUNG 5: FRAMES -> HIERARCHIE



ENTSTEHUNG einer FRAMES-HIERARCHIE



MODELLIERUNGS-PYRAMIDE



FORMALISIERUNG von FACHWISSEN

Übersicht

Für die Modellierung (Formalisierung) von Fachwissen stehen in der ES-Technologie (objektorientiert, regelbasiert) folgende Mittel zur Verfügung:

1. Begriffe

Zeiger auf Denk-**Muster (Schemata)**

Ein Begriff verweist auf mehrere Denkopoperationen die öfters in der gleichen Kombination ausgeführt werden.

In ES wird ein Begriff mit einem Symbol formalisiert.

- *car* : closed road vehicle on 4 wheels with an engine and seats for 2-6 people
- *speed*: 1. rapidity of movement - 2. rate of moving
- *high*: 1. extending far upwards - 2. at or near the top of the scale.

2. Fakten

Verbindungen von **Begriffen**

Ein Faktum ist eine Zustands-Beschreibung. Es kann **tatsächliche** (IST), mögliche (KANN) oder Ziel-Zustände (SOLL) beschreiben.

In ES wird ein Faktum mit 3 Begriffen und 2 Beziehungen formalisiert:

- Faktum: the speed of the car is high
- *Attribut-Objekt Beziehung*: speed ==*Attribut von* ==> car
- *Wert-Attribut Beziehung*: high == *Wert von* ==> speed

3. Regeln

Verbindungen von möglichen **Fakten**

Eine Regel beschreibt Beziehungen von Bedingungen und Folgen (Abhängigkeiten zwischen Situationen). Dabei werden nur **mögliche** (statt tatsächliche) Situationen in Beziehung gebracht.

In ES besteht eine Regel aus mind. 2 Fakten die mit einer Beziehung (*Grund-Folge-Relation*) verbunden sind.

- Regel: IF the speed of the car is high
THEN the distance for stopping is long
- Faktum 1: the speed of the car is high
- Faktum 2: the distance for stopping is long
- *Grund-Folge Beziehung*: Faktum 1 == *Grund von* ==> Faktum 2

4. Frames

Verbindungen von tatsächlichen und möglichen Fakten

Ein 'Frame' (wörtlich "Rahmen", "Gerüst") ist eine konzeptuelle Struktur die dazu dient folgendes zu vereinigen:

- a) alle Fakten desselben Objekts
- b) Operationen die auf diese Fakten angewendet werden können

INFERENZ (Inference)

- Inferenz ist das Schließen (z.B. Deduktion nach 'modus ponens') aus vorhandenem Wissen
- Vorhandenes *Fachwissen* über ein Anwendungsgebiet (problemspez. Wissen, praktisches Wissen, Erfahrungswissen, 'domain knowledge')

und

allgemeine *Algorithmen* für die Verarbeitung dieses Fachwissens (Inferenz-Algorithmen)

müssen klar voneinander getrennt werden.

- Demzufolge besteht der System-Kern eines wissensbasierten Systems aus 2 Komponenten: die *Wissensbasis* (Expertenwissens) und die *Inferenz-Maschine* (Algorithmen).
- Dank dieser Trennung ist ein wissensbasiertes System in der Lage die Lösungswege *dynamisch* - d.h. im Laufe der Verarbeitung (Inferenz-Vorgang) - aufzubauen.
- Besteht die Wissensbasis aus Fakten und Regeln (Produktionssysteme, regelbasierte Systeme), so muss die Inferenz-Maschine im wesentlichen eine sogenannte *Verkettung der Regeln* (Ableitungskette) aufbauen: dazu sucht sie in der Wissensbasis nach anwendbaren Regeln und führt diese dann nacheinander aus.
- Auf diese Weise entstehen sowohl die Lösungswege (Ableitungsketten, Verkettungen) als auch die Lösungen selbst (Schlüsse) auf dynamische Art.
- Bei der Suche nach anwendbaren Regeln können entweder die Bedingungen (Prämissen) oder die Folgen (Konklusionen) der Regeln überprüft werden. Im ersten Fall wird der Inferenz-Vorgang als *Vorwärtsverkettung* bezeichnet, im zweiten als *Rückwärtsverkettung*.
- Zur Erläuterung der Algorithmen welche diese 2 Verkettungsarten implementieren, betrachten wir folgende Möglichkeiten (mögliche Fakten) und Regeln:

MÖGLICHE FAKTEN (unstrukturiert, mit Buchstabe abgekürzt):

- A = **A**uftragsvolumen grösser als 100'000 DM
- B = **B**onität des Kunden ist gut
- E = **E**ngpassaggregat ist ausgefallen
- G = Kunde ist **G**rosskunde
- K = **k**ritische Unternehmenslage ist eingetreten
- V = **V**ertriebsleiter verständigen
- W = Kunde ist **w**ichtiger Kunde

REGELN (Buchstaben: siehe Faktenbasis; → steht für "wenn-dann" Verknüpfung):

- A → G
- W → V
- G & B → W
- W & E → K

VORWÄRTSVERKETTUNG (Inferenzmechanismus)

1.

Faktenbasis:		
A	E	B
Regelbasis:		
A	→	G
W	→	V
G & B	→	W
W & E	→	K

- Der Inferenz-Algorithmus arbeitet zyklisch.
- Er geht von den bekannten, aktiven Fakten aus (Faktenbasis) und sucht in der Regelbasis nach *ableitbaren Folgen*: bei dieser Suche werden nur die Bedingungen (IF-Teil) überprüft. 'Vorwärts' = von IF nach THEN.
- Ein **Regel-Interpreter** vergleicht diese Bedingungen mit allen Fakten. Sind alle Bedingungen einer Regel durch die Fakten erfüllt (durch exakte Übereinstimmung, d.h. 'matching') so gilt die Regel als anwendbar und kann ausgeführt werden. Sind alle anwendbaren Regeln ausgeführt so ist ein Zyklus beendet.
- Im ersten Zyklus ist nur Regel [A → G] anwendbar.
- Es wird also G abgeleitet und der Faktenbasis hinzugefügt.

2.

Faktenbasis:		
A	E	B
G		
Regelbasis:		
A	→	G
W	→	V
G & B	→	W
W & E	→	K

- Im zweiten Zyklus ist nun auch G in der Faktenbasis: damit ergibt sich eine neue Ausgangslage für den Vergleich der Bedingungen mit den Fakten.
- Da also sowohl B als auch G bekannt sind, ist nun die Regel [G & B → W] anwendbar.
- Es wird also W abgeleitet und der Faktenbasis hinzugefügt.

3.

Faktenbasis:		
A	E	B
G	W	
Regelbasis:		
A	→	G
W	→	V
G & B	→	W
W & E	→	K

- Aufgrund der veränderten Situation in der Faktenbasis, wo nun auch W bekannt ist, sind im dritten Zyklus 2 Regeln anwendbar: [W → V] und [W & E → K].
- Hier haben wir nun einen sogenannten "Konflikt" bezüglich der als nächsten auszuführenden Regel.
- Ein **Kontrollsystem** ('scheduler') entscheidet über die Reihenfolge der Ausführung ('conflict resolution').
- Bei der 'depth-first' Strategie wird jene Regel zuerst ausgeführt die *zuerst gefunden* wurde (FIFO).
- In diesem Fall würde hier zunächst V abgeleitet werden und erst dann K.

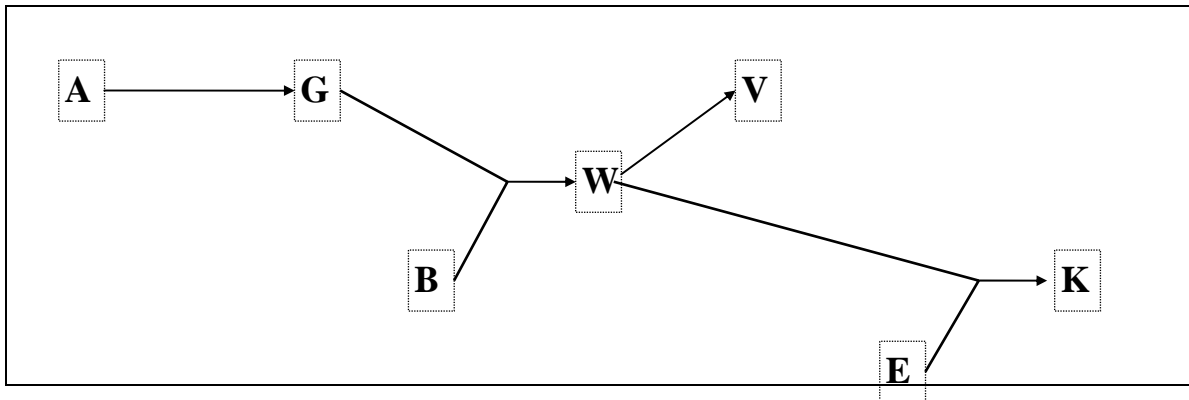
4.

Faktenbasis:				
A	E	B		
G	W	V	K	
Regelbasis:				
A	→	G		
W	→	V		
G & B	→	W		
W & E	→	K		

- Da sich die Situation in der Faktenbasis wieder verändert hat, muss in einem vierten Zyklus wieder nach anwendbaren Regeln gesucht werden.
- Allerdings sind nun keine weitere Regeln mehr anwendbar: der Algorithmus beendet hier seine Arbeit.

[siehe K. Kurbel, 1992 und D.A. Waterman, 1986]

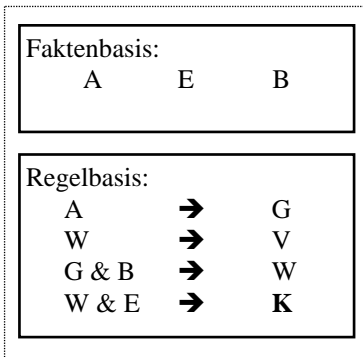
- Folgendes Bild zeigt die von der Inferenz-Maschine im vorangehenden Beispiel aufgebaute *Ableitungskette* ('inference chain'):



- Weil der Inferenzmechanismus bei der Vorwärtsverkettung von den gegebenen Fakten ausgeht, wird diese Vorgehensweise auch als *datengesteuerte* ('data driven') Inferenz bezeichnet.
- Es werden immer *alle* mit den bekannten Fakten zusammenhängenden Schlussfolgerungen gezogen. Dadurch eignet sich die Vorwärtsverkettung vor allem bei Aufgaben welche die *Generierung* neuer Fakten (Lösungen) erfordern, wie z.B. Konfiguration (Anordnung von Gegenständen), Planung (Anordnung von Handlungen) oder Vorhersage.
- Nachteil: aufwendiges Verfahren wenn sehr viele Regeln gleichzeitig erfüllt sind (Konflikt).

RÜCKWÄRTSVERKETTUNG (Inferenzmechanismus)

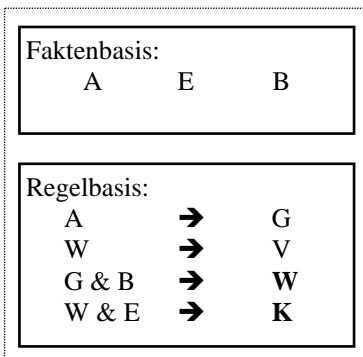
1.



- Der Inferenz-Algorithmus geht hier von einem nachzuweisenden oder zu überprüfenden Faktum aus (Ziel, 'goal') und sucht in der Regelbasis die *erforderlichen Bedingungen*: bei dieser Suche werden nur die Folgen (THEN-Teil) überprüft. 'Rückwärts' = von THEN nach IF.

- Beispiel: Angenommen, es gelte zu überprüfen ob das Faktum K ("Unternehmenslage kritisch") ableitbar sei (K = Ziel).
- Da K nicht in der Faktenbasis steht, wird eine Regel gesucht die K in den Folgen aufweist.
- Es wird die Regel [W & E → K] gefunden. Um K abzuleiten sind also W und E erforderlich.

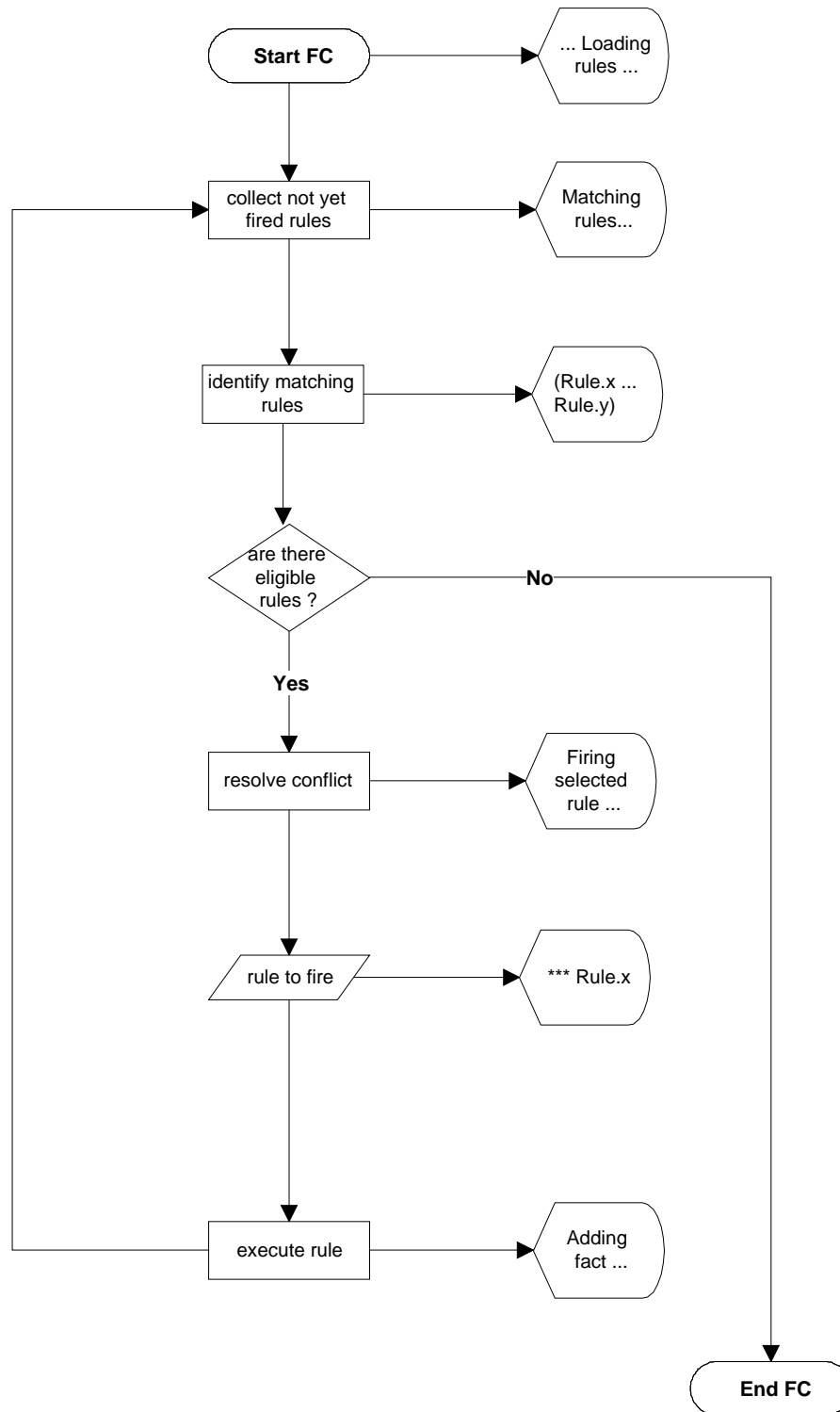
2.



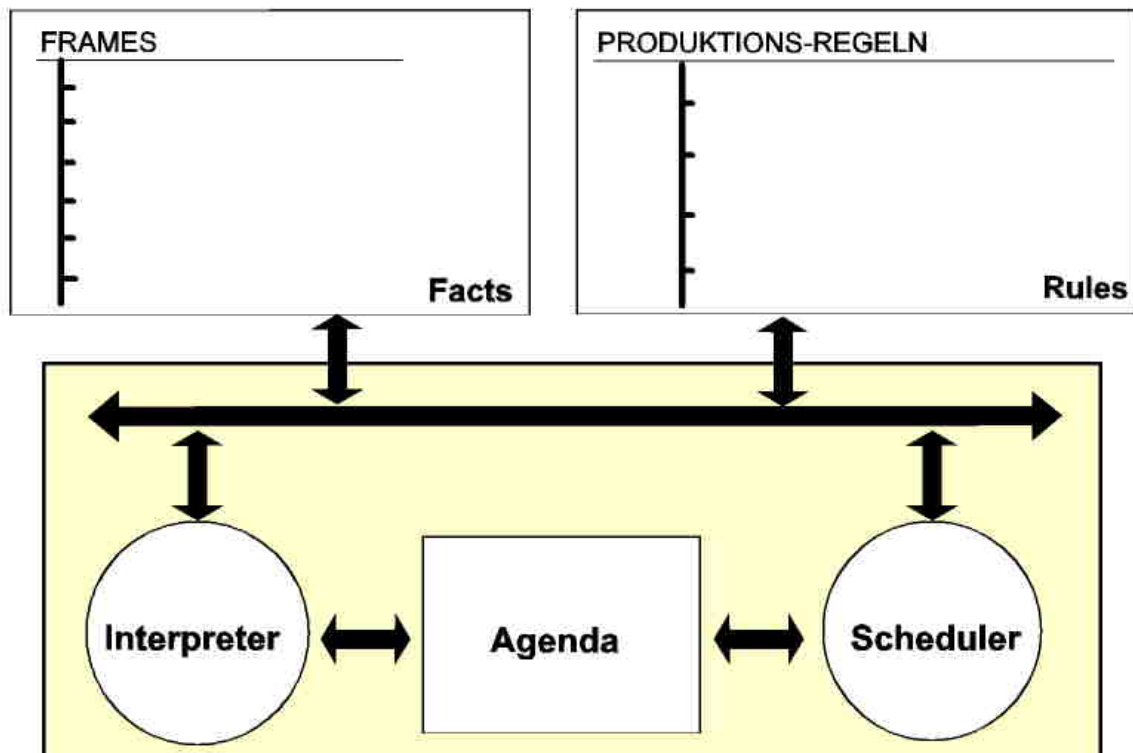
- Nun muss überprüft werden ob W und E ableitbar sind.
- Die Regel [G & B → W] enthält W als Folge, usw.
- Wenn alle erforderlichen Bedingungen gefunden werden können, gilt das Ziel als nachgewiesen.
- Diese Vorgehensweise wird als *zielgesteuert* ('goal driven') bezeichnet. Dabei werden nur solche Regeln ausgeführt, die zur Ableitung des nachzuweisenden Faktum beitragen.

- Dadurch eignet sich die Rückwärtsverkettung vor allem bei Aufgaben, welche die Ableitung bekannter oder angenommener Fakten erfordern, wie z.B. bei der industriellen und medizinischen Diagnostik (Ableitung von Störungen).

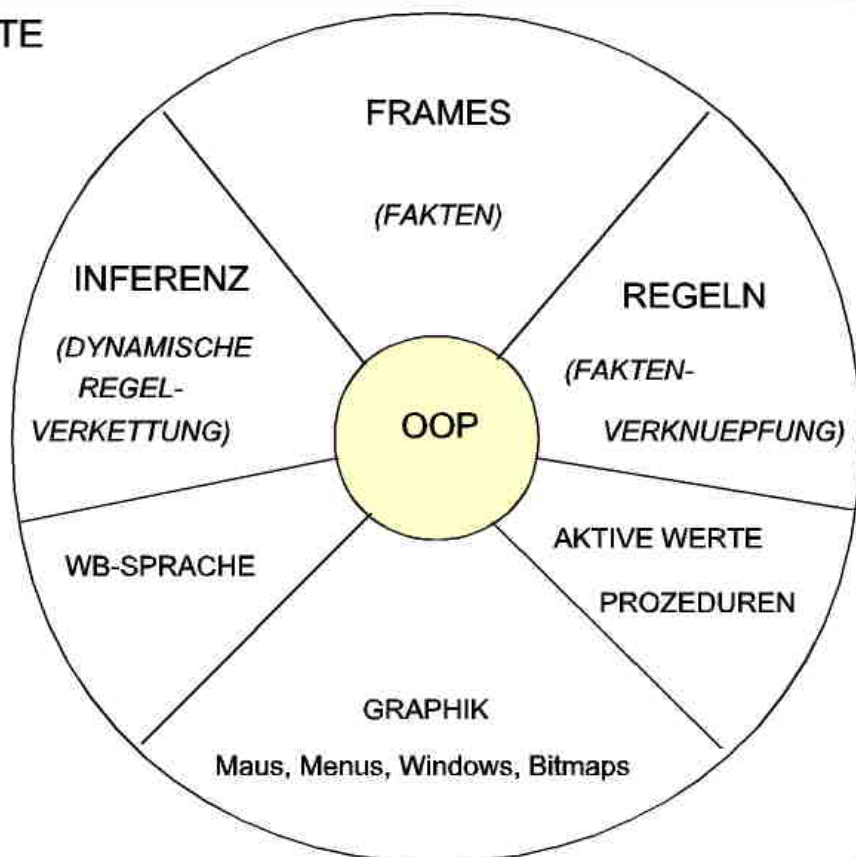
INFERENCE ENGINE: the forward chaining process in Makelt



Aufbau der Inferenz-Maschine



ERFOLGREICHSTE ES-METHODE



SUGGESTIONS TO PROJECT LEADERS

Edward A. Feigenbaum, 1993

- A. Remember the "Knowledge Principle"
 - > companies must sell "answers" not "reasoning"
- B. Be careful with the bottleneck of Knowledge Acquisition
 - > Knowledge Acquisition tools: not enough powerful
 - > Knowledge Acquisition ideas: too weak
- C. Improve knowledge reuse
- D. Improve ease of use
- E. Abandon any effort for General Reasoning:
 - > focus on the simple (routine knowledge) system applications
 - > look for "narrow niche" applications
- F. Maintenance: routinely update of KB needed !
- G. Look for standards (for developing & testing)
- H. Use a standard but powerful computer infrastructure
- I. Substitute expectations for general intelligence with "narrow-niche" problem-solving.



Prof. Edward Feigenbaum,
Knowledge Systems Laboratory, Stanford University

THE KNOWLEDGE PRINCIPLE

"A system exhibits intelligent understanding and action at a high level of competence primarily because of the *knowledge* (*) that it can bring to bear: the concepts, facts, representations, methods, models, metaphors and heuristics about its domain of endeavor".

(*) Search and reasoning are not enough.

'KI': BEGRIFF

KI: *M.Bettoni, 1997*

"Artificial Intelligence is the discipline studying how to evolve and upgrade (enhance) computer capabilities from information to knowledge processing."

WISSEN: *[Immanuel Kant, 1781]*

"Ein Ganzes vergliechener und verknüpfter Vorstellungen"

WISSENSINTENSIVE ANWENDUNGEN: Abgrenzung durch 2 Komplexitäts-Kriterien (*M.Bettoni, 1997*)

Distinktions-Kriterium: Anzahl unterschiedlicher Informations-Elemente (z.B. FARBE = rot, WOHNORT = Muttentz) hoch im Verhältnis zu ihrer Wiederholung.

Relations-Kriterium: Anzahl Beziehungen zwischen Informations-Elementen (z.B. Attribut-Objekt, Bedingung-Folge) hoch im Verhältnis zur Anzahl Informations-Elementen.

WISSEN: *[M. Vitins, TR 39/86].*

"Insbesondere wird der Begriff 'Wissen' häufig auf ein riesiges und ständig wachsendes Repertoire an Symbolen reduziert, wohl in starker Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse."

WISSEN: *[Herden/Hein 1990].*

"Modellierung eines Ausschnitts der Wirklichkeit durch subjektiv wahre Aussagen. Grundlage und Ergebnis menschlichen Denkens."

KI: *[Elaine Rich, 1983].*

"AI is the study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better."

KI: *[D.A.Waterman, 1986].*

"The part of computer science concerned with developing intelligent computer programs."

KI: *[Charniak/McDermott, 1985].*

"Artificial Intelligence is the study of mental faculties through the use of computational models."

KI: *[Harmon/King, Expert Systems, John Wiley, 1985].*

"AI researchers are concerned with developing computer systems that produce results that we would normally associate with human intelligence."

KI & DENKEN: *[M. Vitins, TR 39/86].*

"Voraussetzung zum Bau von ... 'denkenden' Maschinen ist die Schaffung von Modellen für den Denkprozess, die anstelle von Neuronensystemen eben auf Rechnersystemen ausführbar sind."

KI CENTRAL DOGMA: *[Charniak/McDermott, 1985].*

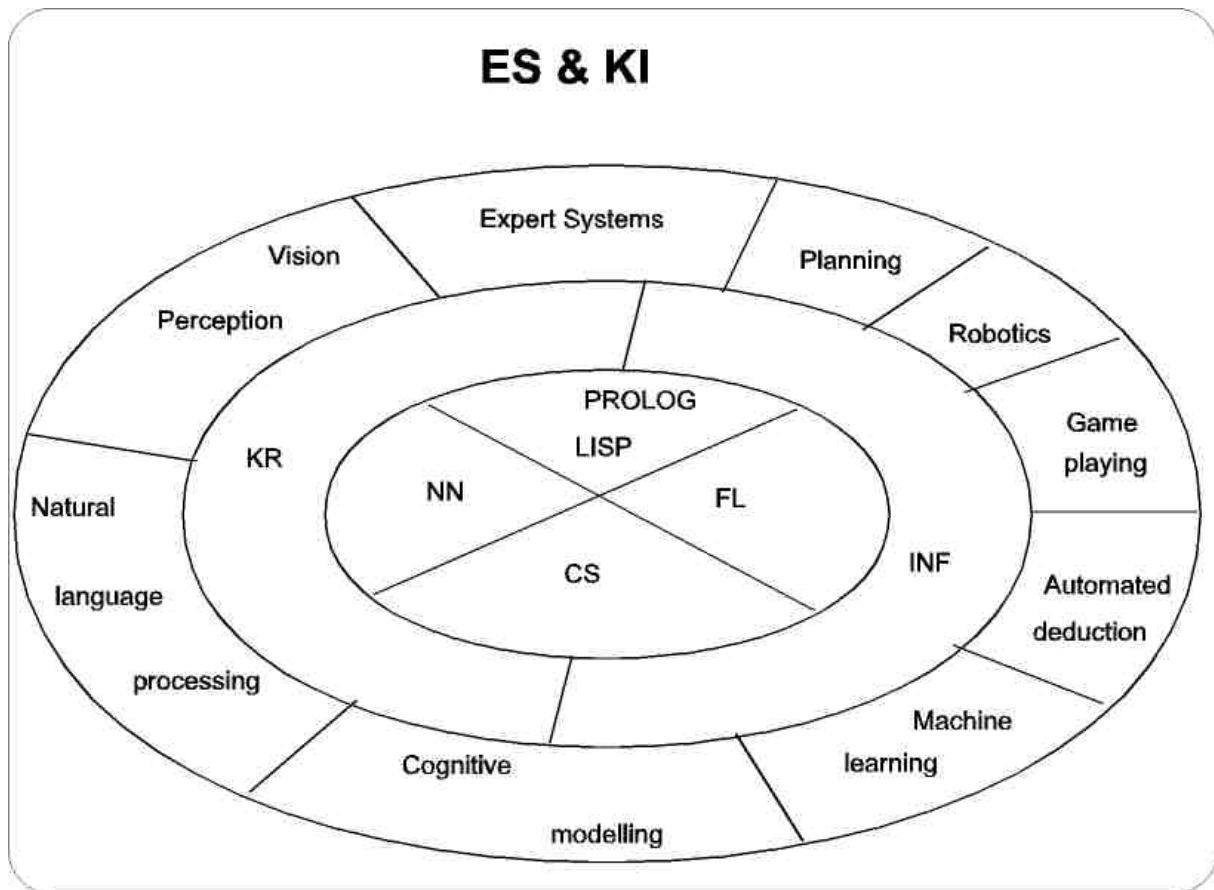
"What the brain does may be thought of at some level as a kind of computation."

KI SCOPE: *[Elaine Rich, 1983].*

"... summary of some of the problems that fall within the scope of artificial intelligence: * Game playing * Theorem proving * General problem solving * Perception (Vision, speech) * Natural language understanding * Expert problem solving"

KI BEREICH: *[AKI, Künstliche Intelligenz, Informatik-Spektrum, Aug. 1991].*

"... betrifft insbesondere Planung, Diagnose, Textverstehen, Spracherkennung und Spracherzeugung, Bilderkennung und Bildauswertung, automatisches Beweisen und allgemeine Inferenzsysteme sowie Weltmodellierung und Eigenmodellierung, zum Beispiel für autonome Robotersysteme."



Legende:

- A. Kernbereich *Methoden, Werkzeuge, Prinzipien*
- CS Cognitive Science (Kognitionswissenschaften, Denkpsychologie)
 - FL Formal Logic (incl. Fuzzy Logic)
 - NN Neural Networks
 - Lisp **L**ist **P**rocessing language (funktionelle Programmiersprache)
 - Prolog **P**rogramming in **L**ogic (wissensbasierte Programmiersprache)
- B. Innerer Ring *Theorien, Ansätze*
- KR Knowledge Representation (Wissens-Darstellung, -Formalisierung)
 - INF Inference / Reasoning (Schlussfolgern)
- C. Äusserer Ring *Technologien*