

# Maschinelles Lernen I

Wintersemester 2016 / 2017

Prof. Dr.-Ing. R. Dillmann

Prof. Dr.-Ing. Marius Zöllner



Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Universität Karlsruhe (TH)  
Forschungsuniversität • gegründet 1825

# Inhalt der heutigen Vorlesung

- Allgemeine Informationen
- Einführung und Überblick
- Literaturhinweise

# ALLGEMEINE INFORMATIONEN

## Institut für Anthropomatik (IFA)

- Applied Technical Cognitive Systems
- Humanoids and Intelligence Systems Lab (HIS)
- Gebäude 50.20  
Erdgeschoss  
Adenauerring 2  
76131 Karlsruhe

## Forschungszentrum Informatik (FZI)

- Technisch Kognitive Assistenzsystem
- Interaktive Diagnose- und Servicesysteme
- Haid-und-Neu-Str. 5a.  
76131 Karlsruhe



# Ansprechpartner, Betreuende Mitarbeiter

- Darius Azarfar  
Adenauerring 4, Geb. 50.21, Raum 202  
[darius.azarfar@kit.edu](mailto:darius.azarfar@kit.edu), Tel.: 9654 210
- Sekretariate
- Prof. R. Dillmann
- Prof. J. Marius Zöllner

# Allgemeine Informationen

Ort : HS -101 (Info)

Zeit: Dienstag, 9:45 - 11:15 Uhr

Prüfungsmodus: Mündlich – für Informatikstudenten als  
Blockprüfung (Diplom-Vertiefungsfach) sonst Module

Sprechstunde: Mittwoch, 10:00 – 12:00 Uhr (Bitte anmelden!)

Skript: Foliensammlung

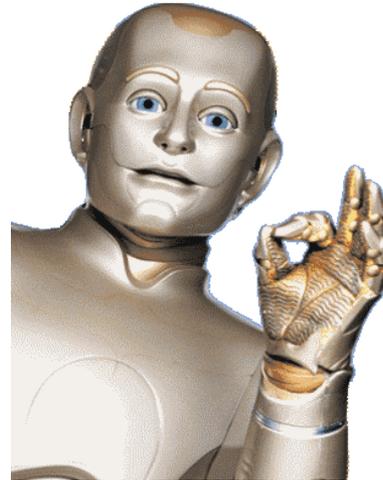
Webseite: [ilias.kit.edu](https://ilias.kit.edu)      Passwort: ML1-WS1617

Laborbesichtigung: Zusammen mit Robotik I gegen Semesterende.  
Genauerer wird bei Interesse bekanntgegeben.

# EINFÜHRUNG UND ÜBERBLICK

# Ziel ist Intelligenz !?

Thema vieler Fantasien, Filme und Geschichten...



K.I.T. ~~X~~



# Was charakterisiert Intelligenz?

**1997:** IBM Deep Blue gegen Kasparow  
(Endstand 3,5 : 2,5) - Intelligentes Spiel  
gegen schnelles Ausprobieren von  
Möglichkeiten

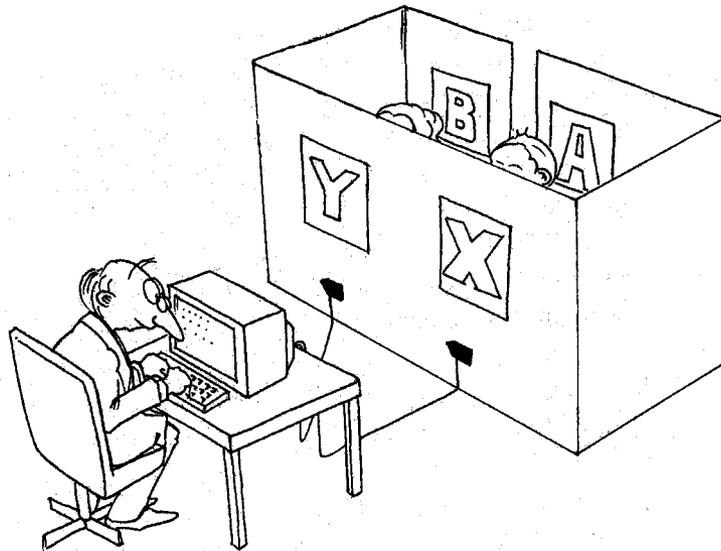
**2002:** Deep Fritz gegen Kramnik  
(Endstand 4 : 4)

**2004:** Deep Junior, Hydra und Deep Fritz  
gegen 3 Schach-Großmeister  
(Endstand 8,5 : 3,5)

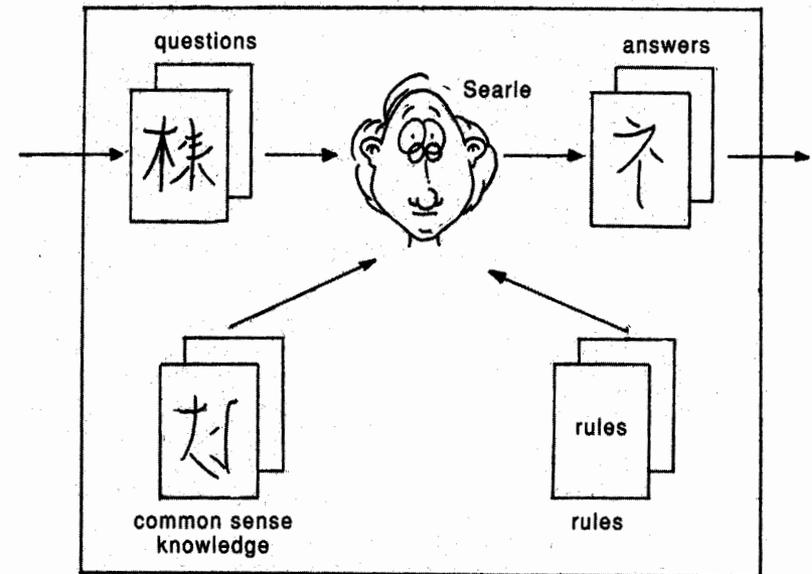
**2005:** Hydra gegen den Weltranglisten-  
siebten Michael Adams  
(Endstand 5,5 : 0,5)

....





Turing Test

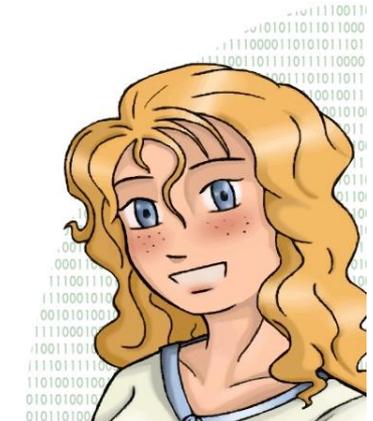


Gegenbeispiel: Chinese room

=> Eindeutige Definition nicht möglich

# Intelligenz? - Loebner-Preis

- Gestiftet vom US-Soziologen Hugh Gene Loebner ([http://www.chatbots.org/awards/loebner\\_prize/loebner\\_prize/](http://www.chatbots.org/awards/loebner_prize/loebner_prize/))
  - 100 000 US Dollar Preisgeld
- Ziel: x Tester glauben lassen, sie hätten sich tatsächlich mit einem Menschen unterhalten.
- Einer der bekanntesten Chatbots war lange Zeit „Jabberwock“:
  - Loebner-Preis 2003, Gewinner der Chatterbox-Challenge 2005
  - Autor Jürgen Pirner spricht dem Chatbot künstliche Intelligenz ab:  
„Einen Chatbot zu programmieren ist eher eine Frage der Verhaltensforschung und der Linguistik.“
- 2010/11 –Suzette/Rosette von Bruce Wilcox
  - Basiert auf ChatScript (opensource)
- 2013 - Mitsuku



# Intelligenz: Was ist das? Definitionen?

- Bereits 1921: Gesammelte Definitionen führender Psychologen
- Widersprüchliche Definitionen
- Kontext oft eingeschränkt  
(in einem technischen Sinne: Anwendung)

## Komponenten

- Denken und Problemlösen
- Lernen und Erinnern
- Sprache
- Kreativität
- Bewusstsein
- Überleben in komplexen Welten
- Rezeptive und motorische Fähigkeiten



# Lernen ist wichtig - Was ist Lernen? (naiv)

- Ich lerne ein Gedicht auswendig.
- Ich lerne, ein Menü zuzubereiten.
- Ich lerne etwas über Physik.
- Ich lerne Rad fahren.
- Ich lerne Klavier spielen.
- Ich lerne, bestimmte Aufgabentypen immer schneller zu lösen.
- Ich lerne Auto fahren.



# Was ist Lernen? (abstrakt)

- Lernen von Entscheidungen, Aktionsfolgen, Beschreibungen, Modellen, neuem deklarativem Wissen etc.
- Lernen / Entwicklung motorischer und kognitiver Fähigkeiten durch Anweisung oder Training
- Neuorganisation / Umorganisation / Transformation von Wissen

**„Lernen ist jede Veränderung in einem System, die es ihm erlaubt, beim nächsten Mal dieselbe Aufgabe oder eine Aufgabe derselben Art effizienter oder effektiver auszuführen oder überhaupt auszuführen.“**

**(Simon, 1983)**

**„Lernen bedeutet Konstruktion oder Modifikation von Repräsentationen dessen, was erfahren wird.“**

**(Michalski, 1986)**

**„Lernen ist die Organisation der Erfahrung.“**

**(Scott, 1983)**

## Lernendes System:

- **„Ein System wird als lernend bezeichnet, wenn es in der Lage ist, unbekannte Eigenschaften eines Prozesses oder seiner Umgebung durch schrittweises und/oder wiederholtes Handeln und Beobachten zu erfassen.“**
- **„Die dadurch gewonnene Erfahrung wird benutzt, um Vorhersagen, Klassifikationen und Entscheidungen durchzuführen, damit ein vorgegebenes optimales Systemverhalten oder eine Leistungssteigerung des Systems erreicht werden kann.“**

**(Fu, 1964; Saridis, 1977)**

## Definition:

Ein System lernt aus Erfahrung  $E$  in Hinblick auf eine Klasse von Aufgaben  $T$  und einem Performanzmaß  $P$ , wenn seine Leistungen bei Aufgaben aus  $T$  gemessen mit  $P$  durch Erfahrung aus  $E$  steigt.

## Beispiel: Lernen Schach zu spielen

$T$  = Schachspielen

$P$  = Prozent der gewonnenen Spiele

$E$  = Spiele gegen sich selbst

# Forschungsrichtungen des ML

## Praxisorientiert

- Aufgabenorientierte, problemlösende Systeme
- Lernen = Wissenserwerb und Lösungshypothese finden

## Entscheidungstheoretische Ansätze

- Diskriminierungsfunktionen aus einer Menge von Trainingsbeispielen

## Theorieorientiert

- Problemcharakteristik → Methoden
- Lernbarkeit analysieren
- Komplexitätsabschätzungen

## Kognitionsorientiert

- Konstruktion kognitiver Modelle oft angelehnt an menschliche oder tierische Lernprozesse

## Evolutionäres Lernen

- Ursprung: Neurophysiologische, biologische und psychologische Forschung → Systeme die sich je nach Umgebung anpassen

## Beginn und früherer Enthusiasmus (1955-1968)

- Lernen ohne Wissensstrukturen „Tabula rasa – Verfahren“ (Adaptive Regelungstechnik)
- Auswendig Lernen und Lernen als Suche (Samuels Checker's Player)
- Modellierung von Neuronen (Rosenblatt – Perzeptron 1958)
- Selbstorganisierende Systeme

## Depression (1969-1976)

- Auslöser: Minsky, Papert: Kritik am Perzeptron (1969); „XOR - Problem“
- Symbolisches begriffsorientiertes Lernen;  
Ursprung: Werke von Psychologen und KI-Forschern über Modelle menschlichen Lernens  
(Karpinski & Michalski, 1966; Simon & Lea, 1974)
- Logik oder Graphen als Repräsentation

## Renaissance (1976 bis 1986)

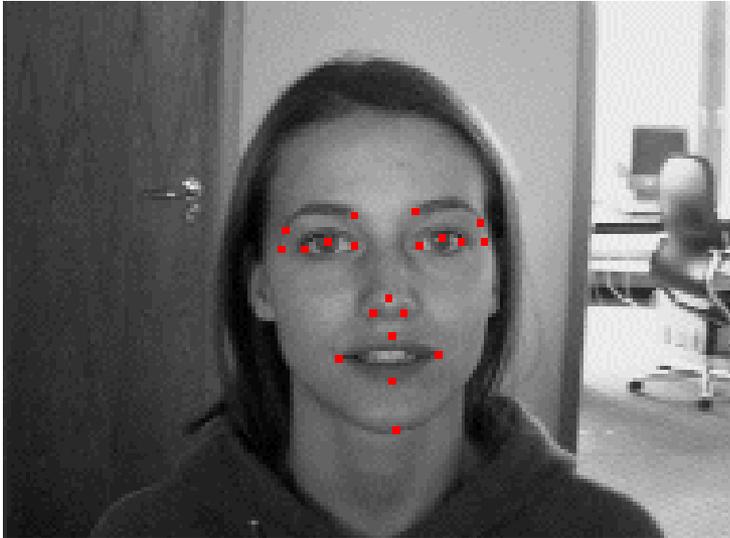
- Verschiedene Verfahren:  
NN, CBR, EBL, Analogie, Entscheidungsbäume
- Wissensintensives Lernen: „Knowledge acquisition bottleneck: Um zu lernen (Wissen anzusammeln) benötigt man viel initiales Wissen“
- Erfolgreiche erste Anwendungen
- Workshops über Maschinelles Lernen (ab 1980)

## Maturität – Reife (1986 bis ...)

- Lerntheorie, Erweiterungen der Basisalgorithmen
  - Neuronale Netze & SVM
  - Reinforcement Learning
  - Genetische Algorithmen
  - Deep Learning
- ML in komplexeren Problemlösearchitekturen
  - Kombination induktiver und deduktiver Verfahren
  - Kombination symbolischer und subsymbolischer Verfahren
  - Überwachtes, Unüberwachtes, aktives Lernen
- ML auf den meisten KI- und Robotik-Tagungen und Workshops

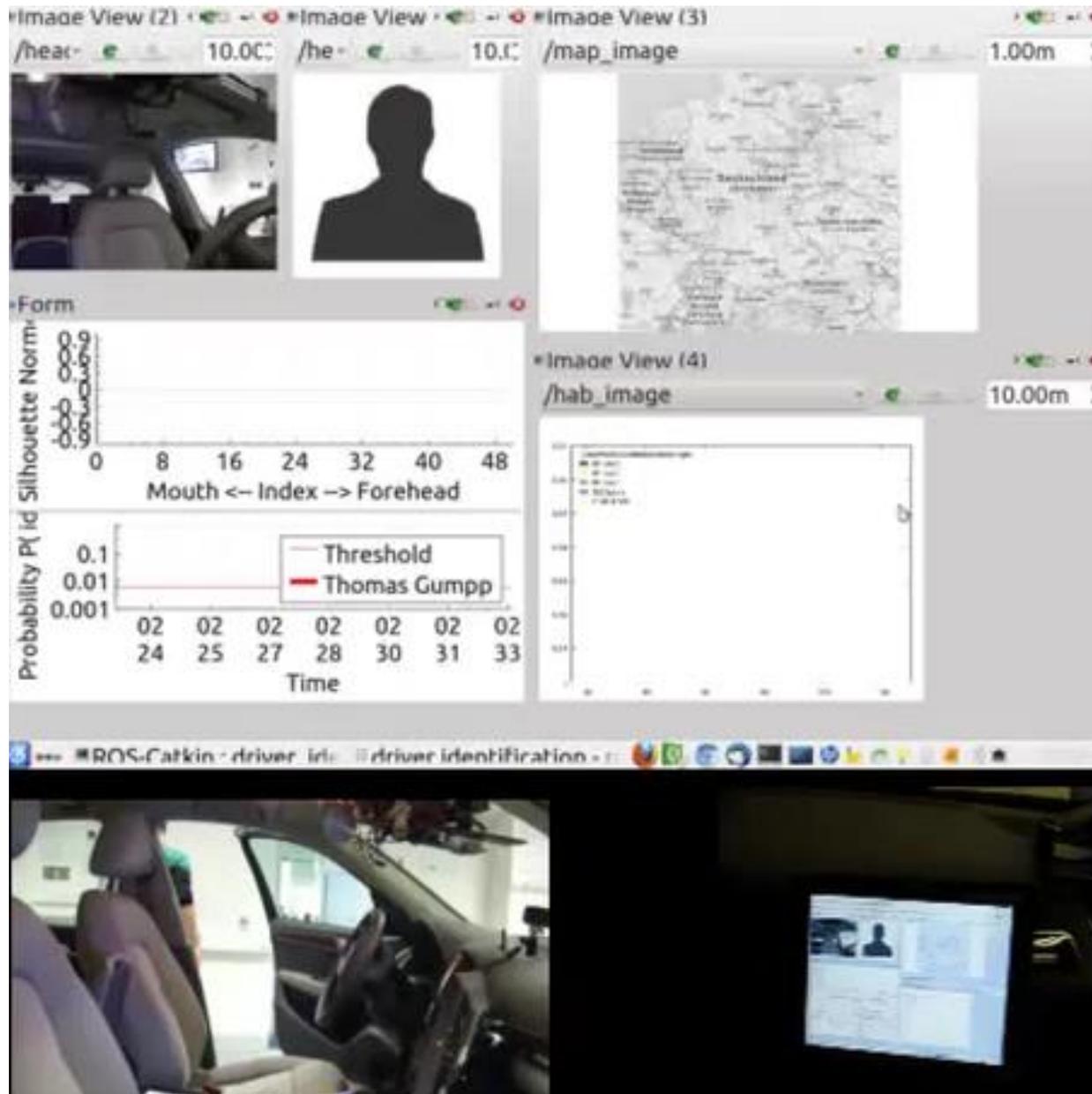
## ML als aktuelles Forschungsgebiet (... heute)

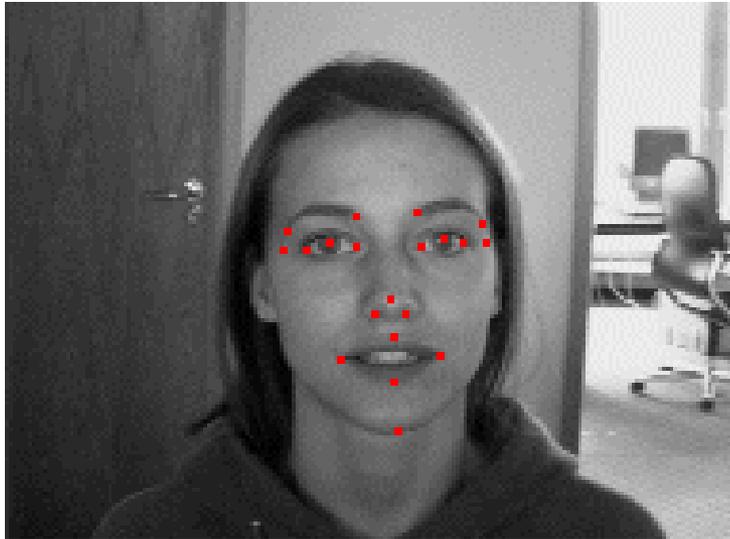
- Betrachtung komplexerer realer Anwendungen
  - Hochdimensionale (Merkmals-) Räume (Tausende Variablen)
  - Lernbeispiele die nur teilweise vorhanden sind
  - Repräsentation und Nutzung von vorhandenem Wissen
  - Nutzung von lernenden Komponenten in erweiternden probabilistischen Verfahren
  - Lernen vielfältiger, komplexer Zusammenhänge (Strukturen, Sequenzen)
- Verbesserung und Erweiterung der Grundverfahren
  - Korrektheit / Parametrisierung / Beschleunigung
  - Analyse des Gelernten, Vergleiche verschiedener Verfahren
    - „The machine learning community has become increasingly concerned with evaluation. ML systems must be formally evaluated to ensure that the results are meaningful. Community data sets have been made available for comparing algorithms.“
  - Autonomes Lernen – selbständiges Lernen



## Personenerkennung, -identifikation

- Robuste Identifikation von Benutzern (Eingesetzt z.B. in Zugangskontrollsystemen)
- Online - Suche nach a priori nicht bekannten Objekten / Personen in großen Video-Datenmengen



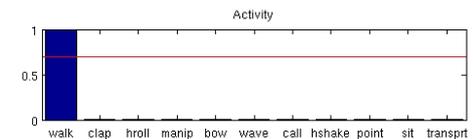


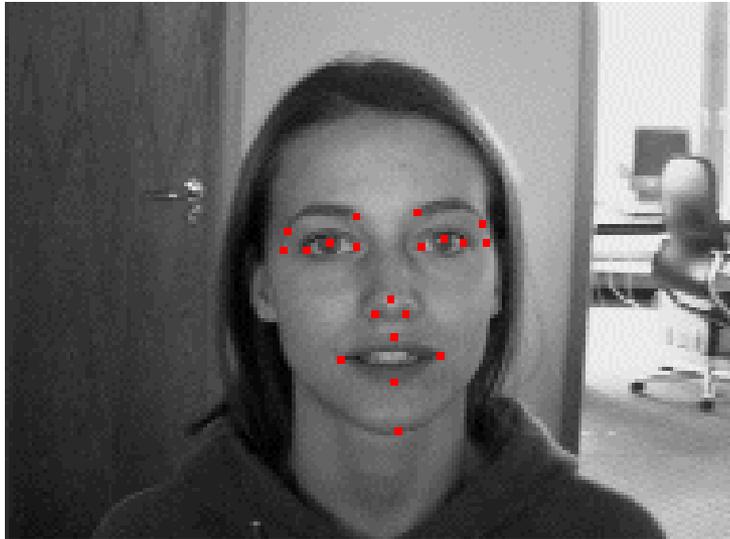
## Personenerkennung, -identifikation

- Robuste Identifikation von Benutzern (Eingesetzt z.B. in Zugangskontrollsystemen)
- Online - Suche nach a priori nicht bekannten Objekten / Personen in großen Video-Datenmengen

## Gesten- und Aktivitätserkennung

- Klassifikation menschlicher Aktivitäten anhand 3D-Körperposen und ihres zeitlichen Verlaufs
- Welches sind die relevanten beobachtbaren Merkmale
- Lernen von Strategien z.B. für Manipulation



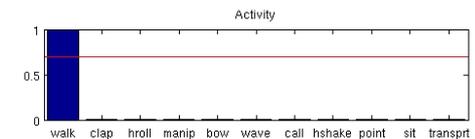


## Personenerkennung, -identifikation

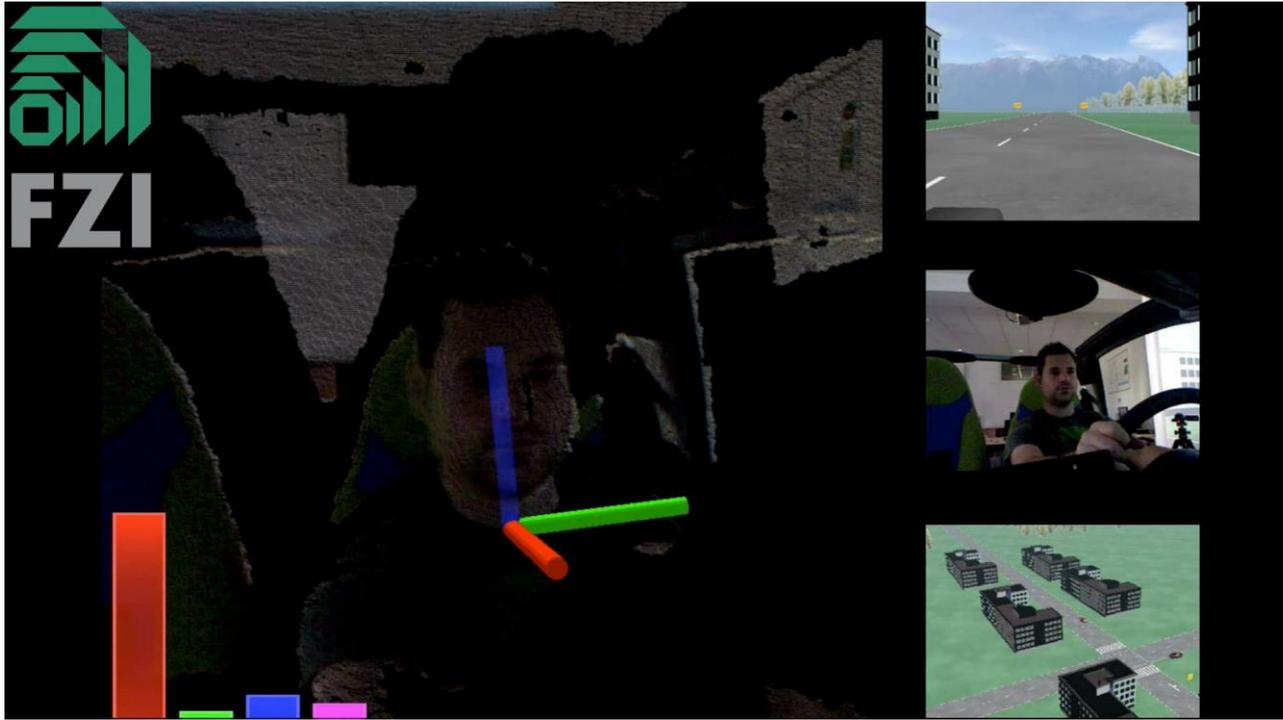
- Robuste Identifikation von Benutzern (Eingesetzt z.B. in Zugangskontrollsystemen)
- Online - Suche nach a priori nicht bekannten Objekten / Personen in großen Video-Datenmengen

## Gesten- und Aktivitätserkennung

- Klassifikation menschlicher Aktivitäten anhand 3D-Körperposen und ihres zeitlichen Verlaufs
- Welches sind die relevanten beobachtbaren Merkmale
- Lernen von Strategien z.B. für Manipulation



# ML heute: Beispiele II



## Aufmerksamkeits- und Zustandsbestimmung

- Blickrichtungserkennung
- Bestimmung des Aufmerksamkeitsfokus (Kurzfristig)
- Bestimmung des Typs des Fahrers (sportlich, aggressiv ....)
- Schätzung seines Verhaltens und seiner Intention
- Selbstlernendes System

# ML heute: Beispiele III

## Kognitive Automobile und Fahrerassistenz

- Stanford Racing Team gewinnt Grand Challenge (9. Okt. 2005), Team AnnieWay (Karlsruhe) Finalist Urban Challenge 2007
- Heute: Autonome Fahrzeuge



- Objekterkennung – klassifikation
- Umgebungserkennung
- Situatives Entscheiden

# ML heute: Beispiele III

## Kognitive Automobile und Fahrerassistenz

- Autonomes Fahren FZI – Q5 (2013)
- Unterstützung des Fahrers wenn er nicht will oder nicht kann



- Wahrnehmen
- Objekte, Verhalten interpretieren
- Situationen verstehen
- Prädiktion
- Situatives Entscheiden

# ML heute: Beispiele IV

## Kognitive Automobile und Fahrerassistenz

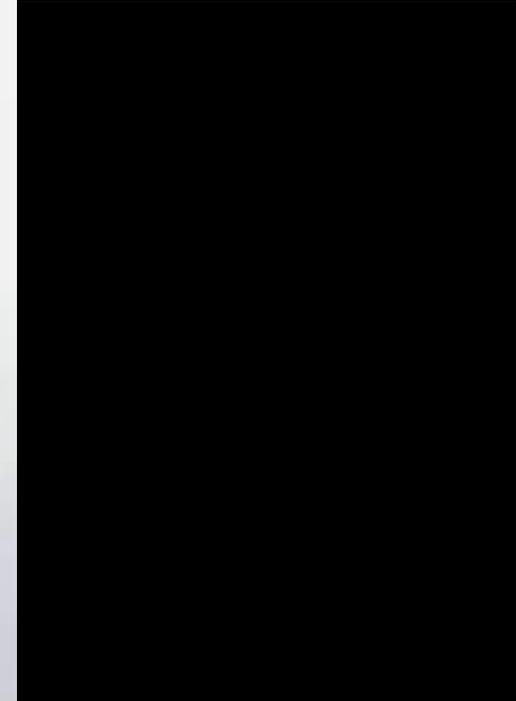
- Viele Systeme im realen Einsatz  
Verkehrshinweise, Ampeln erkennen und zuordnen, Ausweichassistent, ...
- Herausforderung: komplexe Situationen beherrschen



Frame 2  
0.0 vfps  
2.85.0-git



- Viele ML-basierte Teilsysteme
- Situationsinterpretation abhängig von vielen Faktoren
- Nicht beobachtbare Zustände
- Korrekte Entscheidung nötig
- Aktives Lernen nötig



## Skill Lernen

- Beobachtung und Feedback - Imitationslernen
- Trial & Error Lernen
- Vielzahl von Skills insbesondere in der Humanoiden Robotik



## Programmieren von Serviceroboter durch Vormachen

- Lernen komplexer Handlungsfolgen auf unterschiedlichen Entscheidungs- und „Planungsebenen“
- „gute“ Entscheidungen treffen in nicht vollständig beobachtbaren / „verrauscht“ beobachtbaren Situationen

# BIMANUAL DEXTROUS MANIPULATION

Results from the DEXMART Project

# ML heute: Beispiele VI



Programmieren von Serviceroboter durch Vormachen

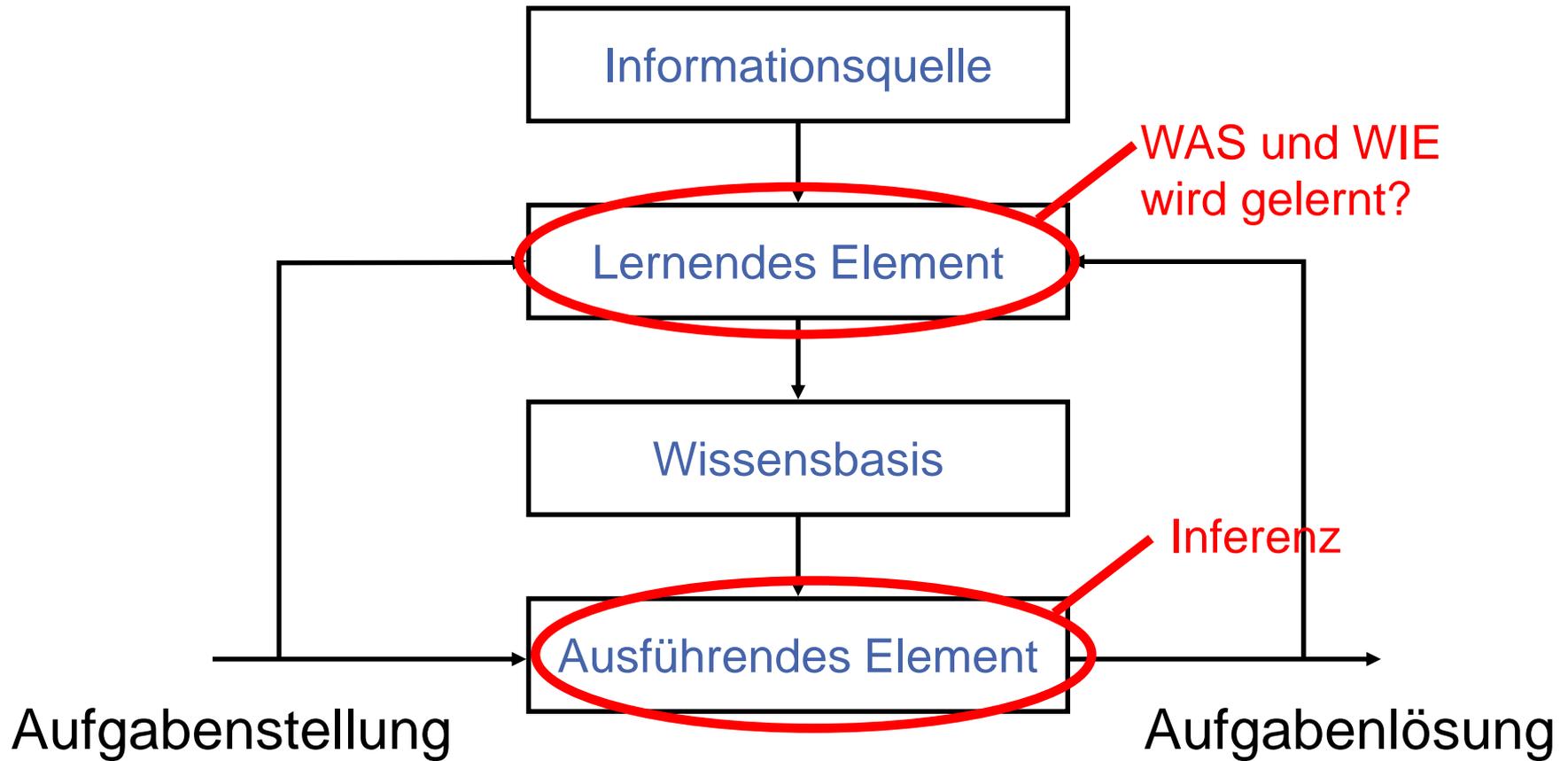
- Lernen komplexer Handlungsfolgen auf unterschiedlichen Entscheidungs- und „Planungsebenen“
- „gute“ Entscheidungen treffen in nicht vollständig beobachtbaren / „verrauscht“ beobachtbaren Situationen

## Big Data (Data Mining)

- Verarbeitung und Lernen aus großen Datenmengen
- Suche nach Wissensstrukturen in großen Datenmengen
  - Z.B. Suche nach bzw. Klassifikation von Inhalten einer Webseite



# Komponenten eines lernenden Systems



# Ziel: Inferenz ermöglichen

## Was ist Inferenz?

Vorgang, wie ein Programm aus Fakten und Vermutungen („korrekte“) Schlüsse ziehen kann

Basis dafür: Finden einer oder mehrerer Hypothesen durch

- Umstrukturierung von Wissen
- Generierung von Hypothesen
- Verallgemeinerungen von Wissen

## Definition:

- Aus einer Menge von Formeln  $A$  folgt  $B$   
 $\Leftrightarrow$  Es gibt eine Folge von Regeln, um  $B$  abzuleiten.

Beispiele:

$$\frac{A, A \rightarrow B}{B} \quad \text{Modus Ponens}$$
$$\frac{\forall x P(x)}{P(a)} \quad \text{Instantiierung}$$

„Alle Menschen sind sterblich.“

„Sokrates ist ein Mensch.“

$\Rightarrow$  „Sokrates ist sterblich.“

## Definition:

- H folgt aus Hintergrundwissen B und Beobachtungen D  
abduktiv  $\Leftrightarrow B \cup H \mapsto D$

## Also:

- Ableiten der Prämisse aus Hintergrundwissen und  
Beispiel

„Alle Menschen sind sterblich.“

„Sokrates ist sterblich.“

$\Rightarrow$  „Sokrates ist ein Mensch.“

## Definition:

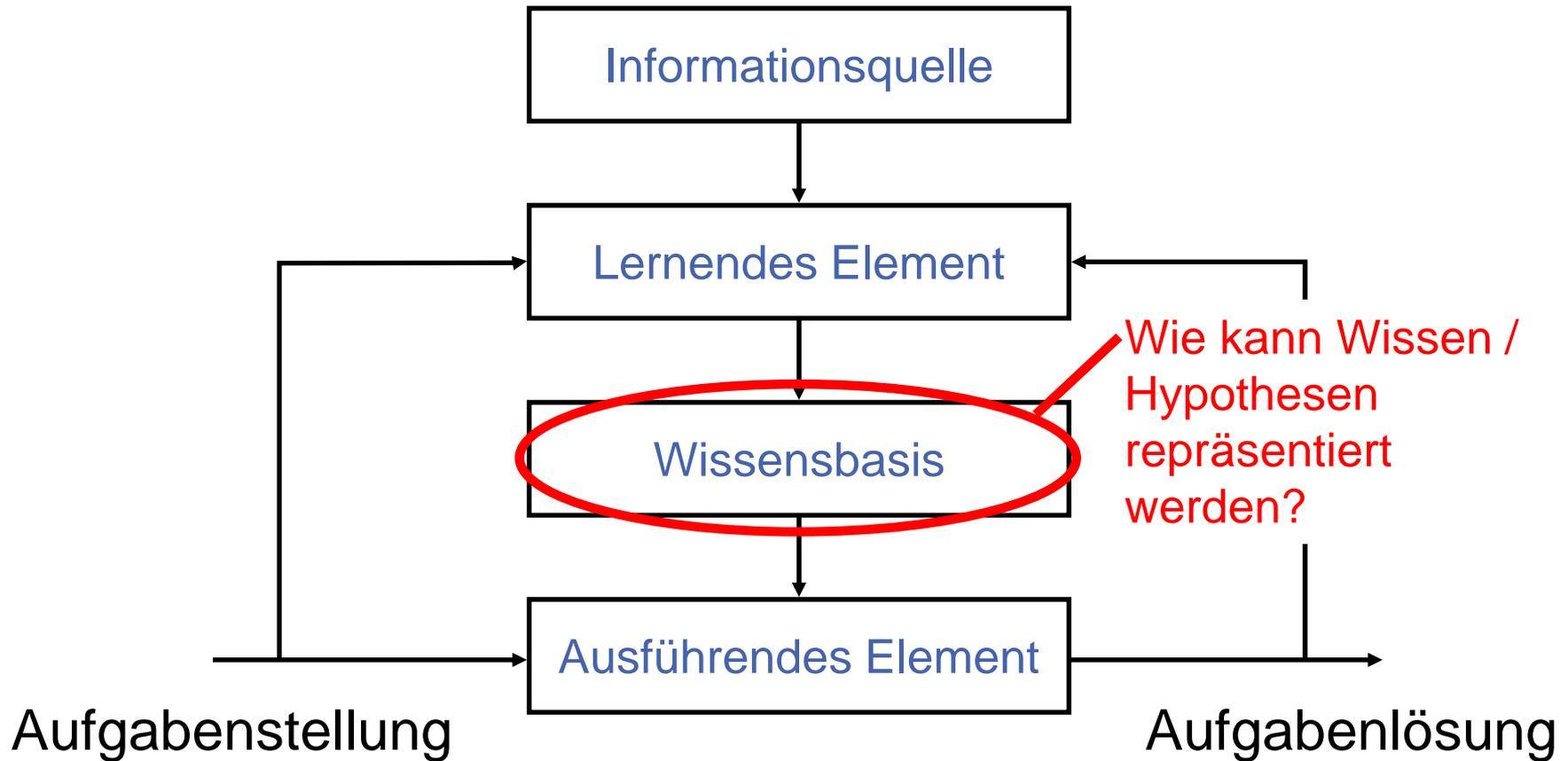
- Geg. eine Menge  $D$  von Grundbeispielen. Die Hypothese  $H$  folgt induktiv aus  $D$  und dem Hintergrundwissen  $B \Leftrightarrow$

$$B \cup H \mapsto D, B \not\mapsto D, B \cup D \not\mapsto \neg H$$

## Generalisierung:

- Aus Hypothese einzelne Beispiele ableitbar, aber nicht umgekehrt
- Also genügend hohe Anzahl von Beispielen  
„Sokrates ist ein Mensch.“  
„Sokrates ist sterblich.“  
 $\Rightarrow$  „Alle Menschen sind sterblich.“

# Komponenten eines lernenden Systems



## Assoziierte Paare

von Eingangs- und Ausgangsvariablen

## Parameter in algebraischen Ausdrücken:

Anpassung numerischer Parameter oder Koeffizienten algebraischer Ausdrücke einer festen funktionalen Form.

- Speziell: Gewichtsmatrix

## Entscheidungs bäume:

Um zwischen verschiedenen Klassen zu diskriminieren.

## Formale Grammatiken:

Lernen, eine bestimmte Sprache zu erkennen aus einer Folge von Ausdrücken. Repräsentiert durch reguläre Ausdrücke, endliche Automaten, kontextfreie Grammatiken, Ersetzungsregeln.

## Produktionsregeln:

Bilden einer neuen Regel, Generalisierung, Spezialisierung, Komposition zweier oder mehrerer Regeln.

## Formale logikbasierte Ausdrücke:

z.B. Aussagenlogik zu Beschreibung der Eingabebeispiele und des gelernten Begriffs.

## Graphen und Netzwerke:

In manchen Domänen besser geeignet als formale logikbasierte Ausdrücke.

## Probabilistische Graphische Modelle

Beschreiben z.B. Verbundwahrscheinlichkeiten von Zufallsvariablen

## Frames, Schemata, Semantische Netze:

Größere Wissenseinheiten als einzelne logische Ausdrücke oder Produktionsregeln.

## Prozedurale Kodierungen (z.B. Programme):

Automatische Programmiersysteme, motorische Fähigkeiten.

## Taxonomien:

Hierarchische Klassifikation, Lernen durch Beobachtung.

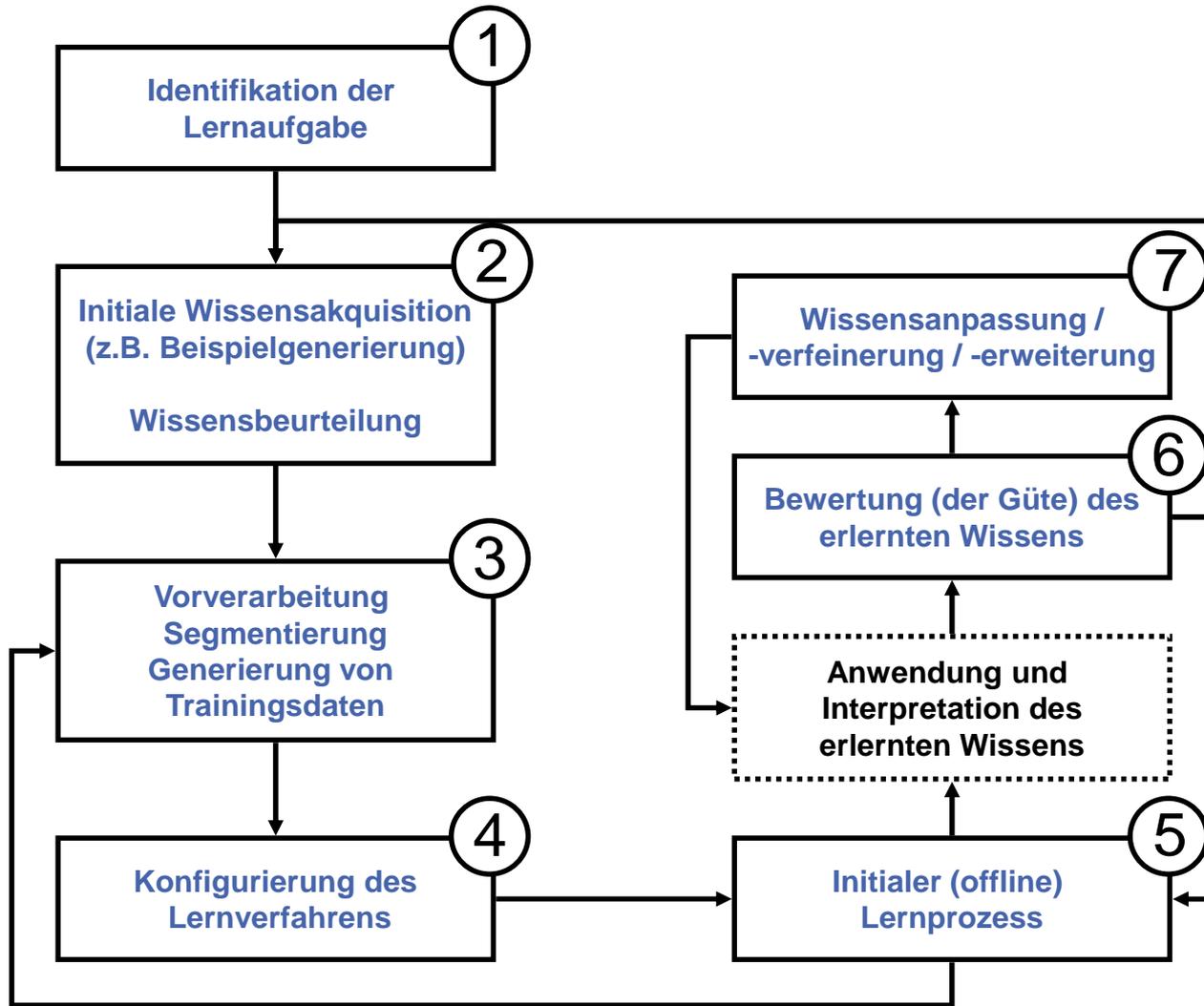
## Markov-Ketten:

Als Repräsentation von Hintergrundwissen.

## Mehrere Repräsentationsarten:

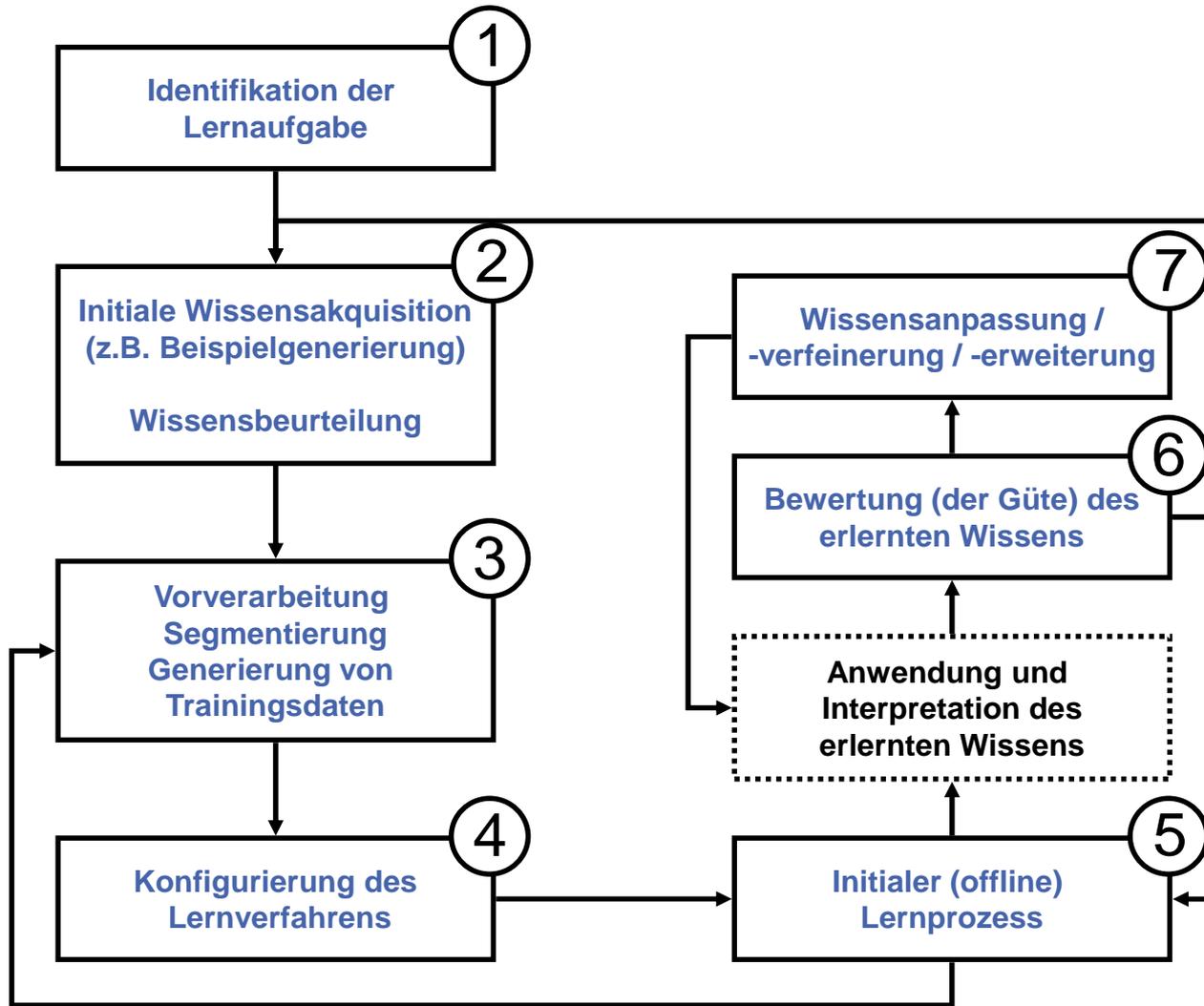
Mischung der obigen Arten.

# Lernen als Prozess



# Lernen als Prozess: Beispiel (Schritt ① & ②)

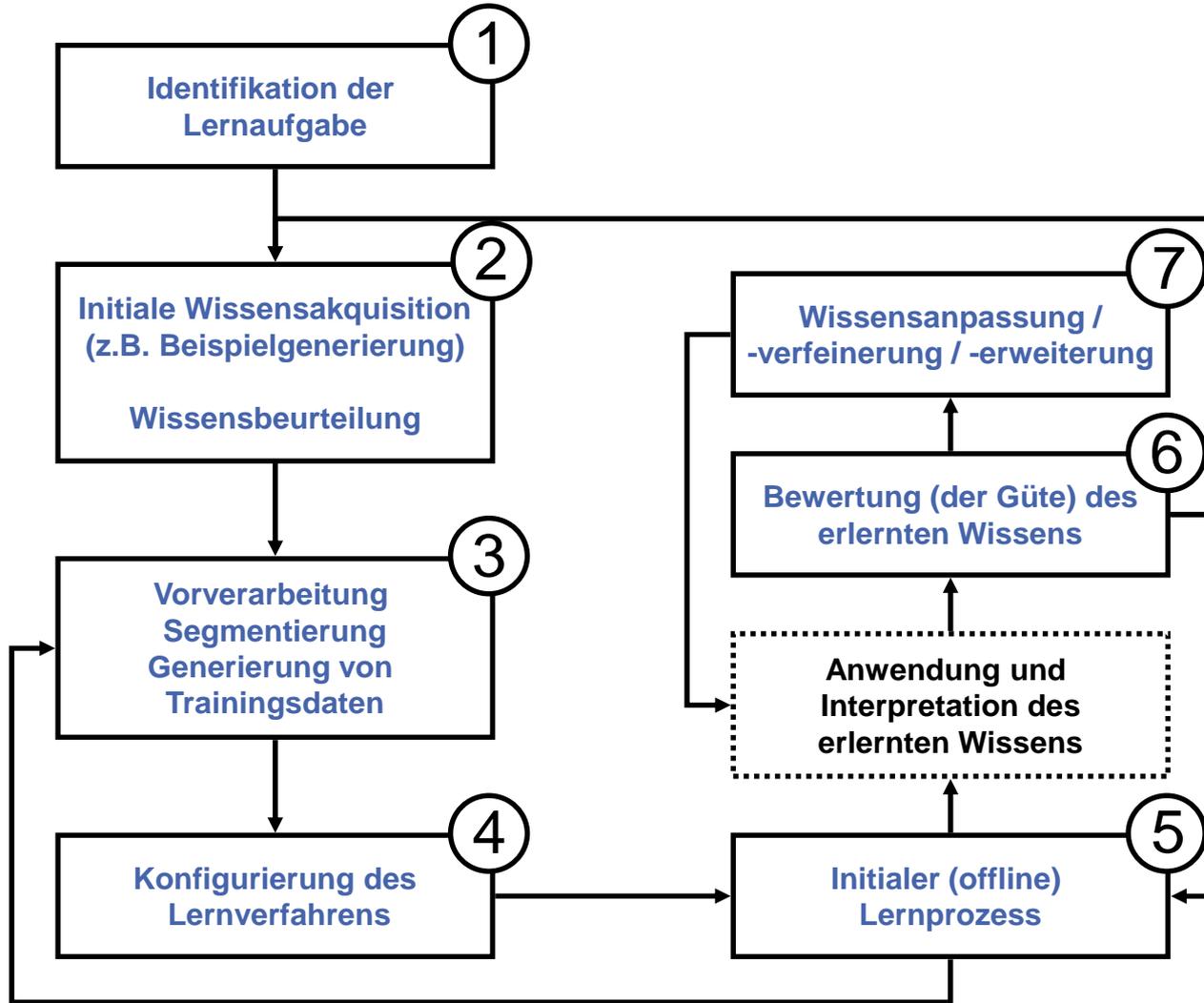
- Aufgabe: Erkennung von menschlichen Aktivitäten anhand der Daten eines Personen-Trackingsystems
- Menge der gewünschten Aktivitäten muss spezifiziert werden
- Datensammlung: Aufnahme einer Reihe von Trainingssequenzen (Beispiele für die Aktivitäten und Beispiele ohne die Aktivitäten)



# Lernen als Prozess: Beispiel (Schritt ③)

- Welche Vorverarbeitungen müssen mit den Daten durchgeführt werden
- Segmentierung manuell durch den Benutzer
- Labelling der Daten (Zuordnung zu den einzelnen Klassen)

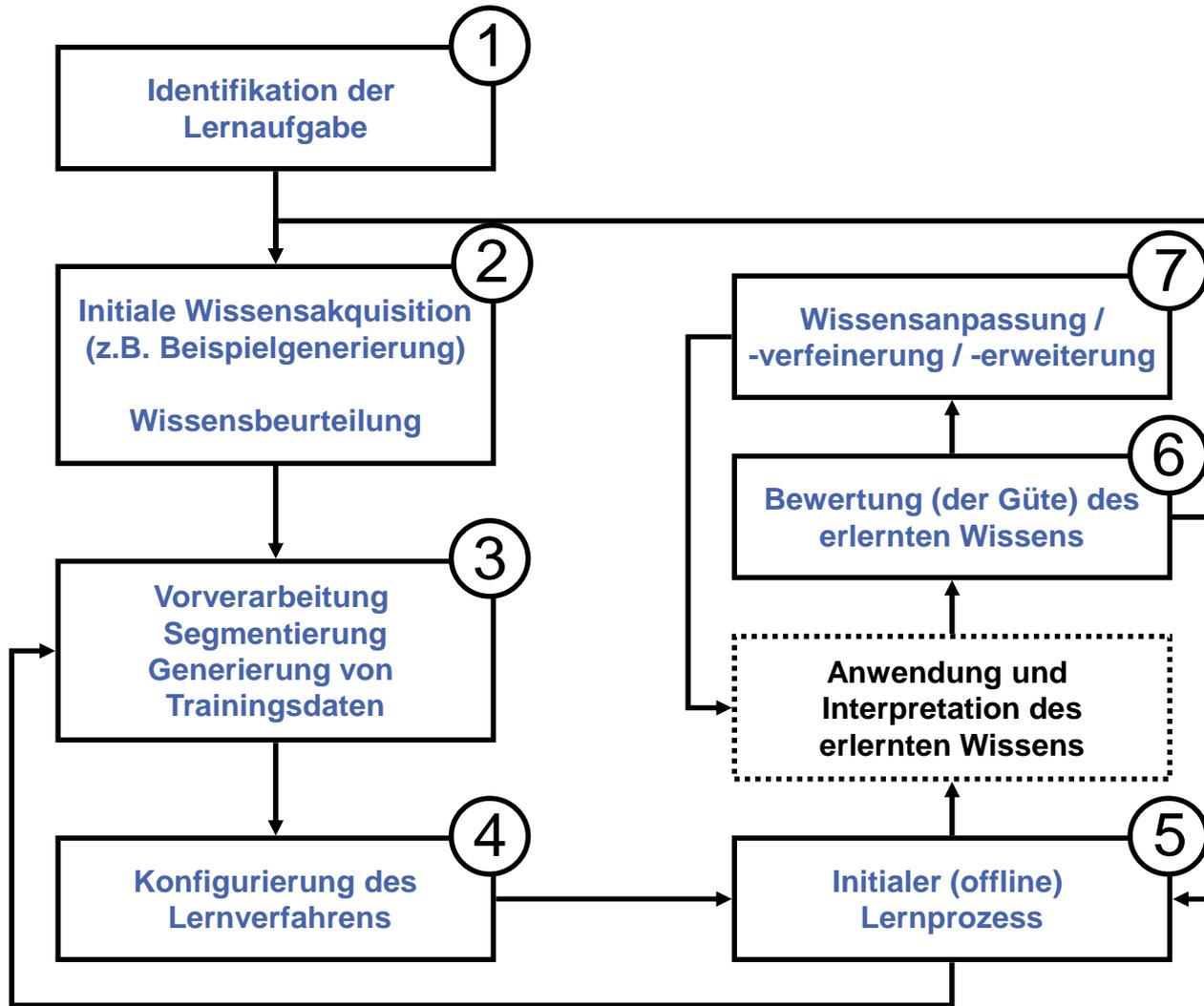
# Lernen als Prozess



# Lernen als Prozess: Beispiel (Schritte ④ & ⑤)

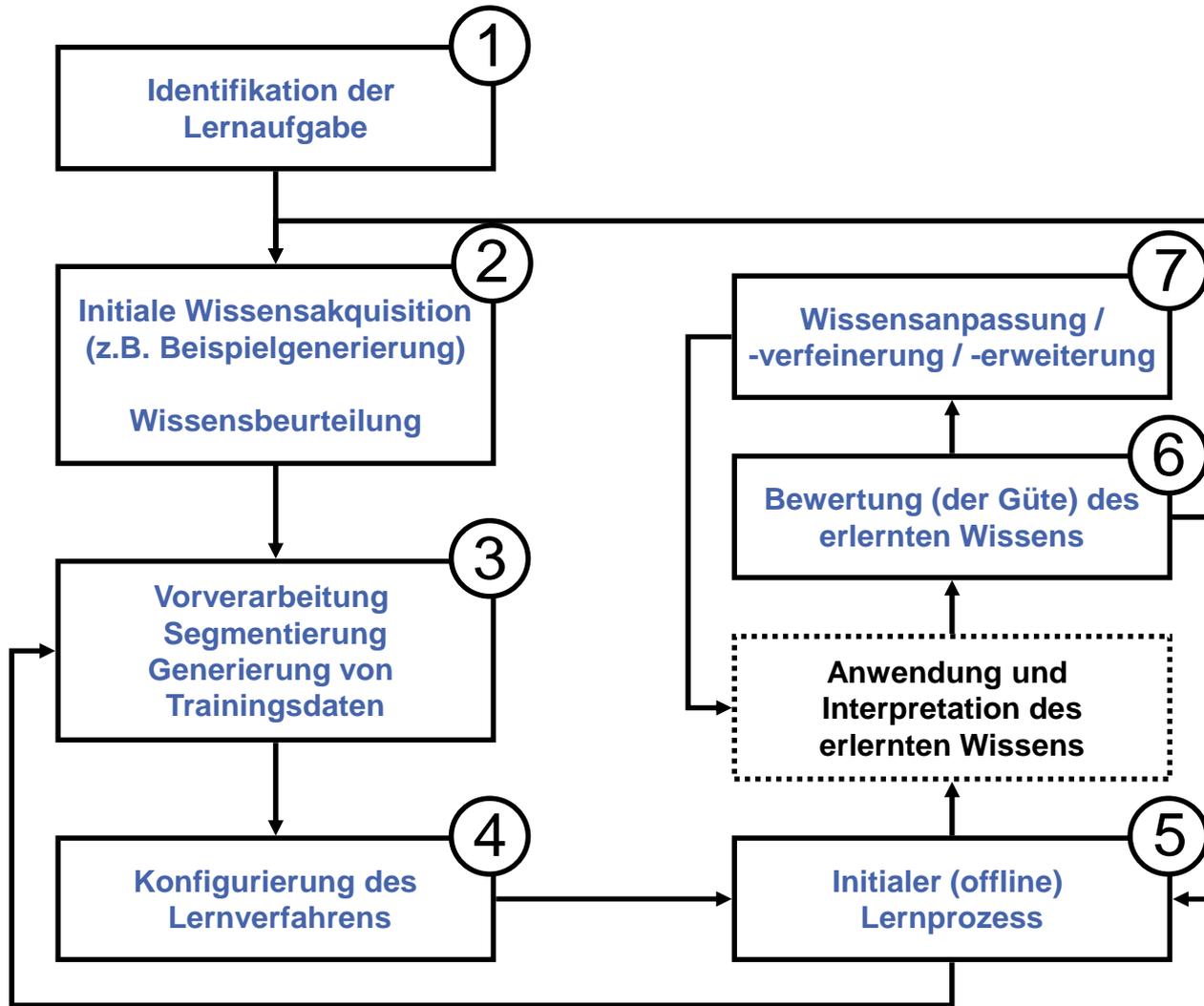
- Wie wird das Lernverfahren konfiguriert: Auswahl von SVM, Auswahl der gewünschten Parameter für das Problem
- Eigentliches Training: „Füttern“ der Daten in ein entsprechendes Lernverfahren ,das die Support Vektoren bestimmt etc.

# Lernen als Prozess



# Lernen als Prozess: Beispiel (Schritte ⑥ & ⑦)

- Bewertung des erlernten Wissens über einen Vergleich mit gelabelten Sequenzen und der Erkennungsrate
- Verfeinerung möglich z.B. über die Aufnahme zusätzlicher Sequenzen und Ergänzung des Trainings



# Einordnungskriterien von Lernverfahren

Typ der Inferenz	<i>induktiv</i>	↔	<i>deduktiv</i>
Ebenen des Lernens	<i>symbolisch</i>	↔	<i>subsymbolisch</i>
Lernvorgang	<i>überwacht</i>	↔	<i>unüberwacht</i>
Beispielgebung	<i>inkrementell</i>	↔	<i>nicht inkrementell</i>
Umfang der Beispiele	<i>umfangreich</i>	↔	<i>gering</i>
Hintergrundwissen	<i>empirisch</i>	↔	<i>axiomatisch</i>

# Übersicht über die Vorlesung MLI

Änderungen möglich

■ Einführung	18.10.
■ Induktives Lernen	25.10.
■ Reinforcement Learning	01.11.
■ Lerntheorie	08.11.
■ Neuronale Netze	15.11.
■ Kernel-Methoden und SVMs	22.11.
■ Unüberwachte Lernverfahren	29.11.
■ Entscheidungsbäume	06.12.
■ Lernen nach Bayes	13.12.
■ Hidden-Markov-Modelle	20.12.

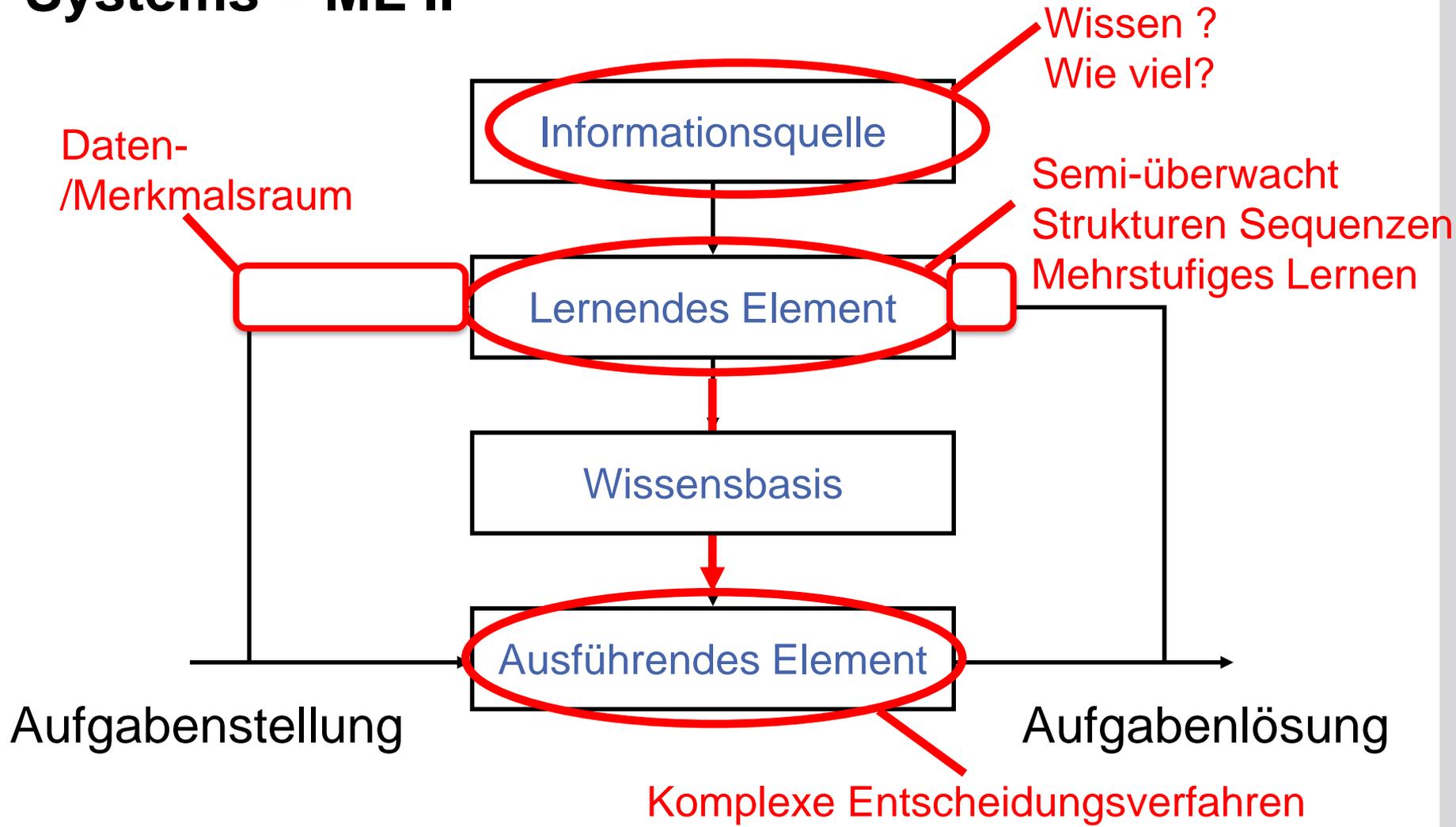
# Übersicht über die Vorlesung MLI

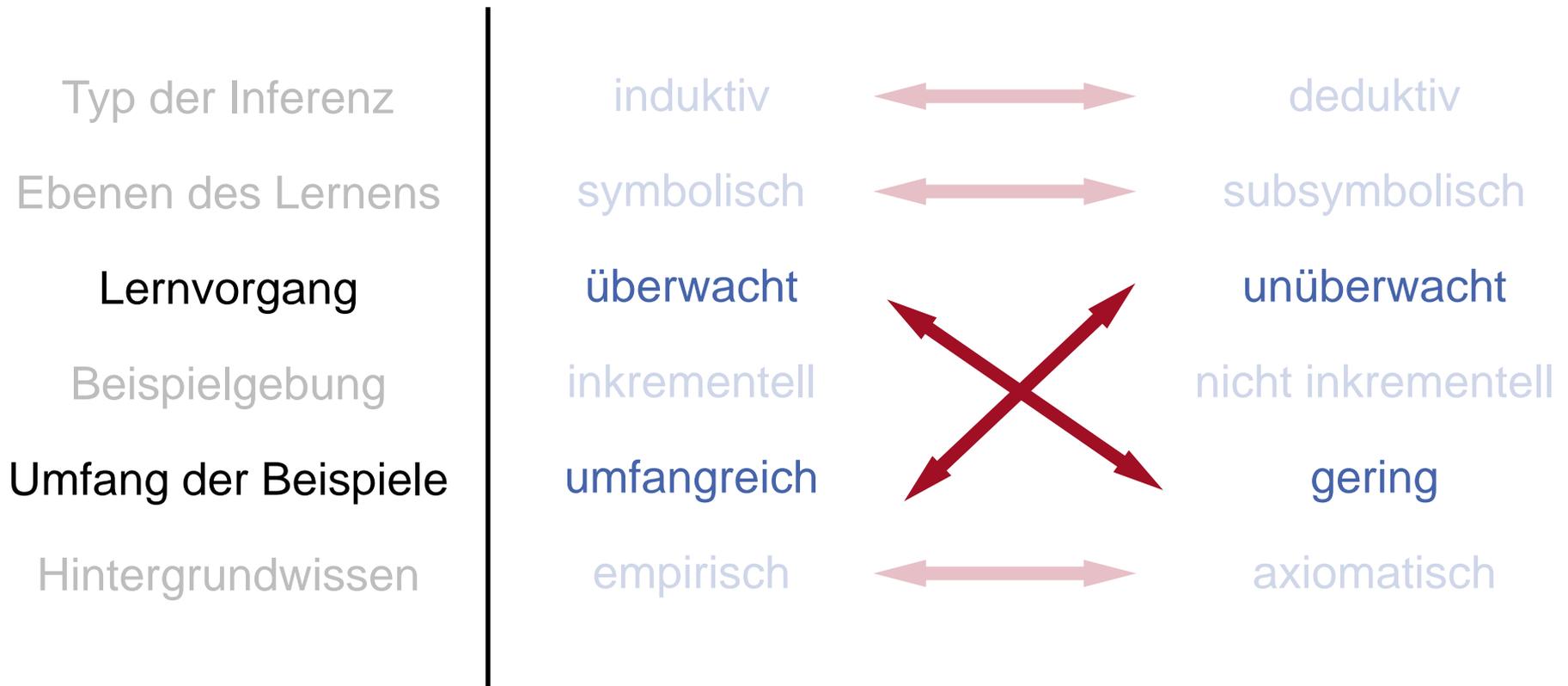
Änderungen möglich

- |                              |        |
|------------------------------|--------|
| ■ Markov Logik Netze         | 10.01. |
| ■ Instanzbasiertes Lernen    | 17.01. |
| ■ Deduktives Lernen          | 24.01. |
| ■ Evolutionäre Algorithmen   | 31.01. |
| ■ (Zusammenfassung & Fragen) | 07.02. |

# ÜBERBLICK ML II

# Komponenten eines lernenden Systems – ML II





**Erweiterte Verfahren  
kombinieren verschiedene Methoden**

# Übersicht über die Vorlesung MLII

Änderungen möglich

- Semi-überwachtes Lernen
- Aktives Lernen
- Deep Learning - Erweiterte „Neuronale Netze“
- Neue Entwicklungen Reinforcement Learning
- Feature Selection (... ,MIFS,MRMD)
- Lernen von Gauß - Prozessen
- POMDP, MOMDP - Learning
- Dynamische Bayessche Netze, OPRM
- Visualisierung und Analyse Lernqualität
- Zusammenfassung

# LITERATURHINWEISE

**Tom Mitchell: „Machine Learning“, McGraw Hill, 1997**

- **Neuronale Netze, Reinforcement Lernen, Evolutionäre Algorithmen, Entscheidungsbäume, KBNN, Lernen nach Bayes,**

...

<http://www.cs.cmu.edu/~tom/mlbook.html>

**Duda, Hart und Stork: „Pattern Classification“, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2001**

- **Neuronale Netze, Unüberwachtes Lernen, Hidden Markov Modelle, ...**

**Berthold und Hand: „Intelligent Data Analysis“, 2nd Edition,  
Springer, 2003**

- **Support-Vektor- und Kernel-Methoden, Neuronale Netze, ...**

**Michalski et al.: „Machine Learning - An Artificial Intelligence  
Approach“, Volume I-IV, Morgan Kaufmann, 1983-1994**

- **Unüberwachtes Lernen, Entscheidungsbäume, ...**

**Weiterführende Literatur – in der Vorlesung**