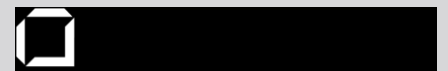
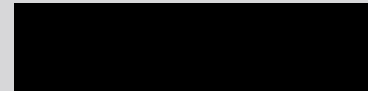


# Instanzenbasiertes Lernen

M.Sc. Marc Zofka

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Dillmann

Prof. Dr.-Ing. J. Marius Zöllner





# Informationen zur Prüfung

- Anmeldung für Master
  - über QUISPOS,  
**ab SPO2015**: Campus-Management-System → Prüfungen
  - Beides aus technischen Gründen noch nicht möglich
  - Anmeldung bis 22. Februar 12 Uhr
  - Keine Begrenzung der Teilnehmerliste
- Anmeldung: Bachelor- & Erasmus-Studierende
  - Per Email an Fr. Ghetta, Studiengangservice, Fakultät Informatik
- Prüfung innerhalb großer Module
  - Information kommende Woche
- Nachklausur im SS2016, Termin wird 6 Wochen vorab bekannt gegeben



- Einführung in das Instanzen-basierte Lernen (3-6)
- Der k-NN Algorithmus (7-13)
- Case-Based Reasoning: Motivation und Vorstellung (14-20)
- Der Case-Based Reasoning Zyklus (21-30)
- Beispiele für den Einsatz von CBR (32-40)
- Bewertung von CBR (41-44)



# Lazy learning vs. Eager learning

„faules Lernen“ – „fleißiges Lernen“



- Instanzen-basiertes Lernen: „***Delayed / Lazy Learning***“
- Lernen = (einfaches) Abspeichern der Trainingsbeispiele
- Weniger Rechenzeit während des Trainings, dafür mehr bei Anfragen zur Klassifikation
- Unterschiedliche Hypothesen/Lokale Approximation der Zielfunktion für jede Anfrage
- „Fleißige“ Lernalgorithmen mit dem gleichen Hypothesenraum sind eingeschränkter



- Bildet für jede neue Anfrage eine andere Annäherung an die Zielfunktion.
  - Lokale Approximation der Targetfunktion
  - Komplexere symbolische Repräsentationen für Instanzen
- Generalisierungsentscheidung wird bis zu einer konkreten Suchanfrage aufgeschoben
- Neue Instanzen werden analog zu ähnlichen Instanzen klassifiziert



- + Komplexe Targetfunktionen können modelliert werden
- + Information aus den Trainingsbeispielen geht nicht verloren
- Evtl. komplexe Berechnungen bei Klassifizierung neuer Instanzen
- Schwierigkeit: Welche Instanzen sind sich ähnlich?
- ➔ Problem irrelevanter Eigenschaften



# Beispiele für Instanzenbasiertes Lernen

- k-Nearest Neighbor
- Lokal gewichtete Regression ( → [1] )
- Radial Basis Function
- Fallbasiertes Schliessen (Case-based Reasoning, CBR)



# k-Nearest-Neighbor: Einführung

- Instanzen  $x = \langle a_1(x), a_2(x), \dots, a_n(x) \rangle$  korrespondieren mit Punkten im  $n$ -dimensionalen Raum  $\mathbf{R}^n$
- Nachbarschaftsbeziehungen sind definiert durch die Euklidische Distanz:

$$d(x_i, x_j) \equiv \sqrt{\sum_{r=1}^n (a_r(x_i) - a_r(x_j))^2}$$

- Lernen einer Funktion  $f: \mathbf{R}^n \rightarrow V$  aus einer Menge von Trainingsbeispielen  $\langle x_i, c(x_i) \rangle$
- $V$  endliche (diskrete) Menge



## ■ Trainingsalgorithmus:

- Für jedes Trainingsbeispiel  $\langle x_i, c(x_i) \rangle$  mit  $c(x_i)$  aus  $V$ :
  - Füge das Trainingsbeispiel zu der Liste *training\_examples* hinzu

## ■ Klassifikationsalgorithmus: Anfrage $x_q$

- $x_1, \dots, x_k$  seien die  $k$  Instanzen von *training\_examples*, die am nächsten zu  $x_q$  liegen
- Ergebnis:

$$f(x_q) \leftarrow \arg \max_{v \in V} \sum_{i=1}^k \delta(v, c(x_i))$$

$$\delta(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{falls } a=b \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$



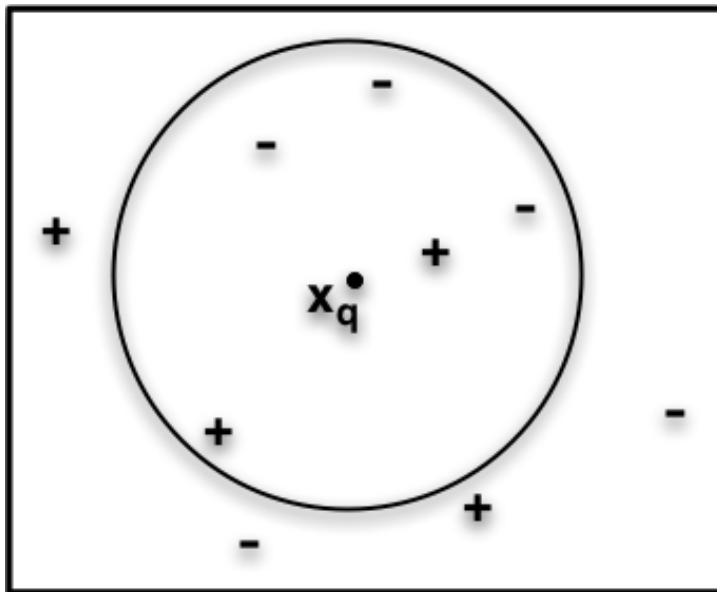
# k-Nearest-Neighbor: Konzeptlernen II

## ■ 5-NN

■ Klassifikation:  $x_q$  **negativ**

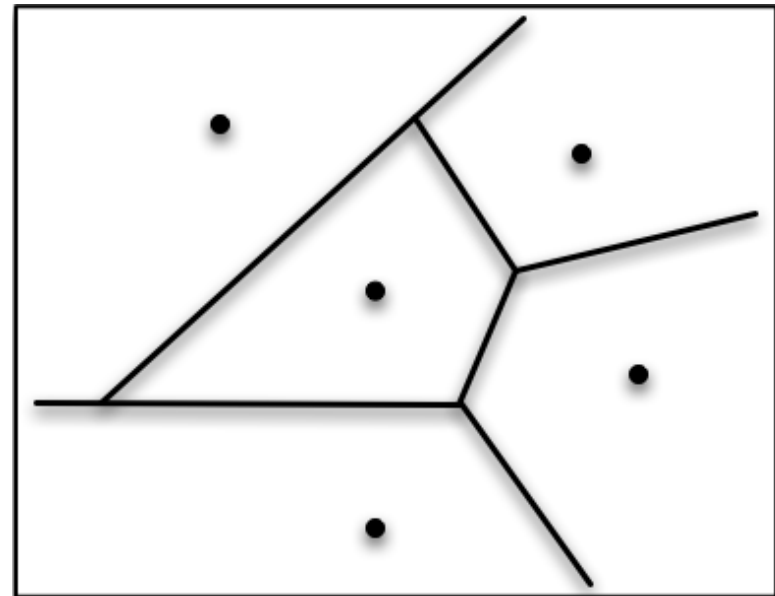
## ■ 1-NN

■ Klassifikation:  $x_q$  **positiv**



## ■ Decision-boundary für k=1

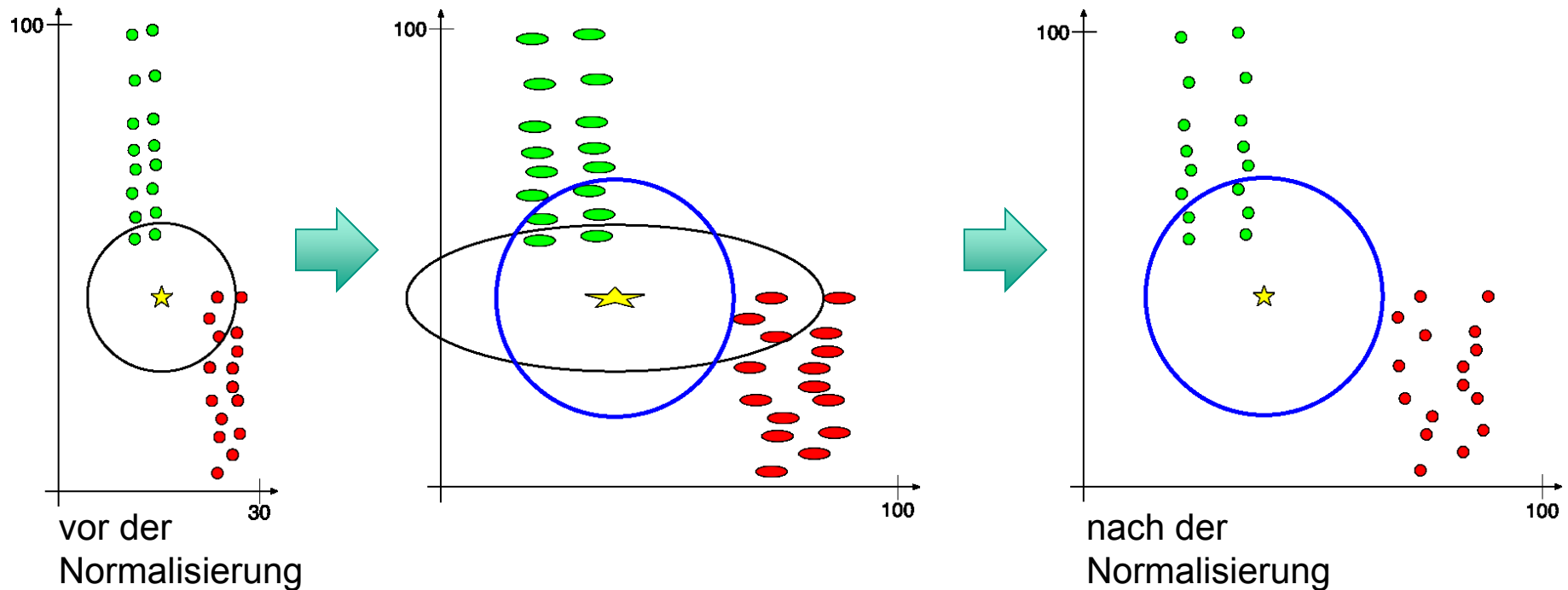
■ entspricht **Voronoi-Diagramm**





# k-Nearest-Neighbor Konzeptlernen III

- Normalisierung der Eingabevektoren oft sinnvoll
  - Verzerrung bei stark ungleichen Eingabedimensionen





# Abstandsgewichteter k-NN Algorithmus

- Nahe Nachbarn gehen genauso stark in die Klassifikation ein wie weiter entfernte, haben aber u.U. viel größere Ähnlichkeit mit der neu zu klassifizierenden Instanz.
- Distanz-basierte Gewichtung:

$$f(x_q) \leftarrow \arg \max_{v \in V} \sum_{i=1}^k w_i \delta(v, c(x_i))$$

$$w_i \equiv \frac{1}{d(x_q, x_i)^2}$$



## ■ Induktiver Bias:

- Klassifikation einer Instanz  $x_q$  ähnlich zu Klassifikationen anderer, benachbarter Instanzen

## + Robust in Bezug auf verrauschte Trainingsdaten

- Insbesondere mit Gewichtung

## – Distanzmaß basiert auf allen Attributen

- Evtl. nur eine kleine Untermenge relevant
- „Curse of dimensionality“

## – Speicherorganisation

## – Haupt-Zeitaufwand in Klassifikation statt Training



# Einordnung k-NN

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>



# CBR Motivation: Analogien

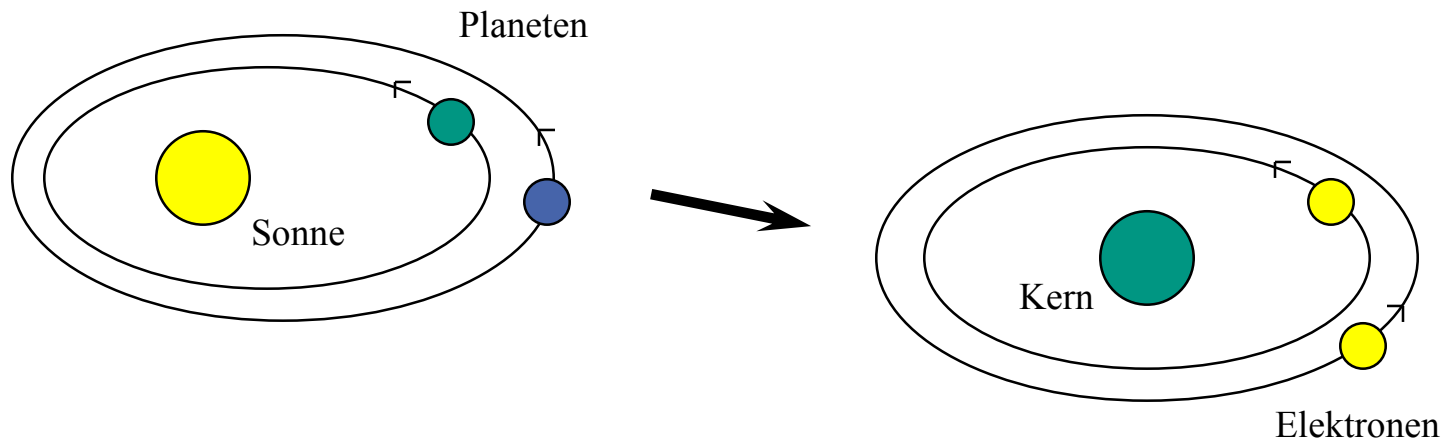
## ■ Analoges Schließen:

*Ähnlichkeit von Größen hinsichtlich mehrerer Eigenschaften (Relationen) erlaubt Schluss auf Ähnlichkeit weiterer Eigenschaften.*

## ■ Beispiel:

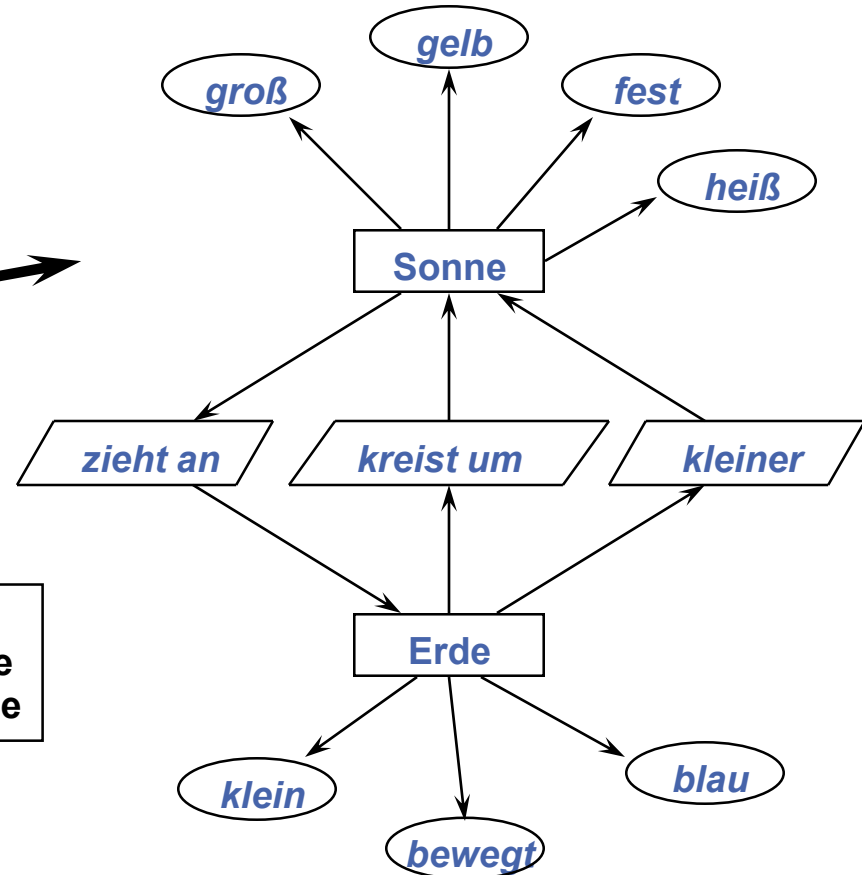
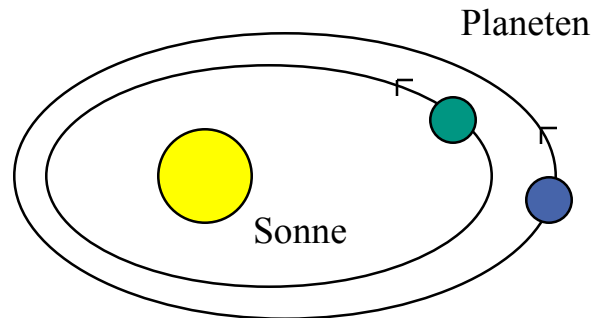
- Sonnensystem

- Bohrsches Atommodell





# Analogien: Repräsentation



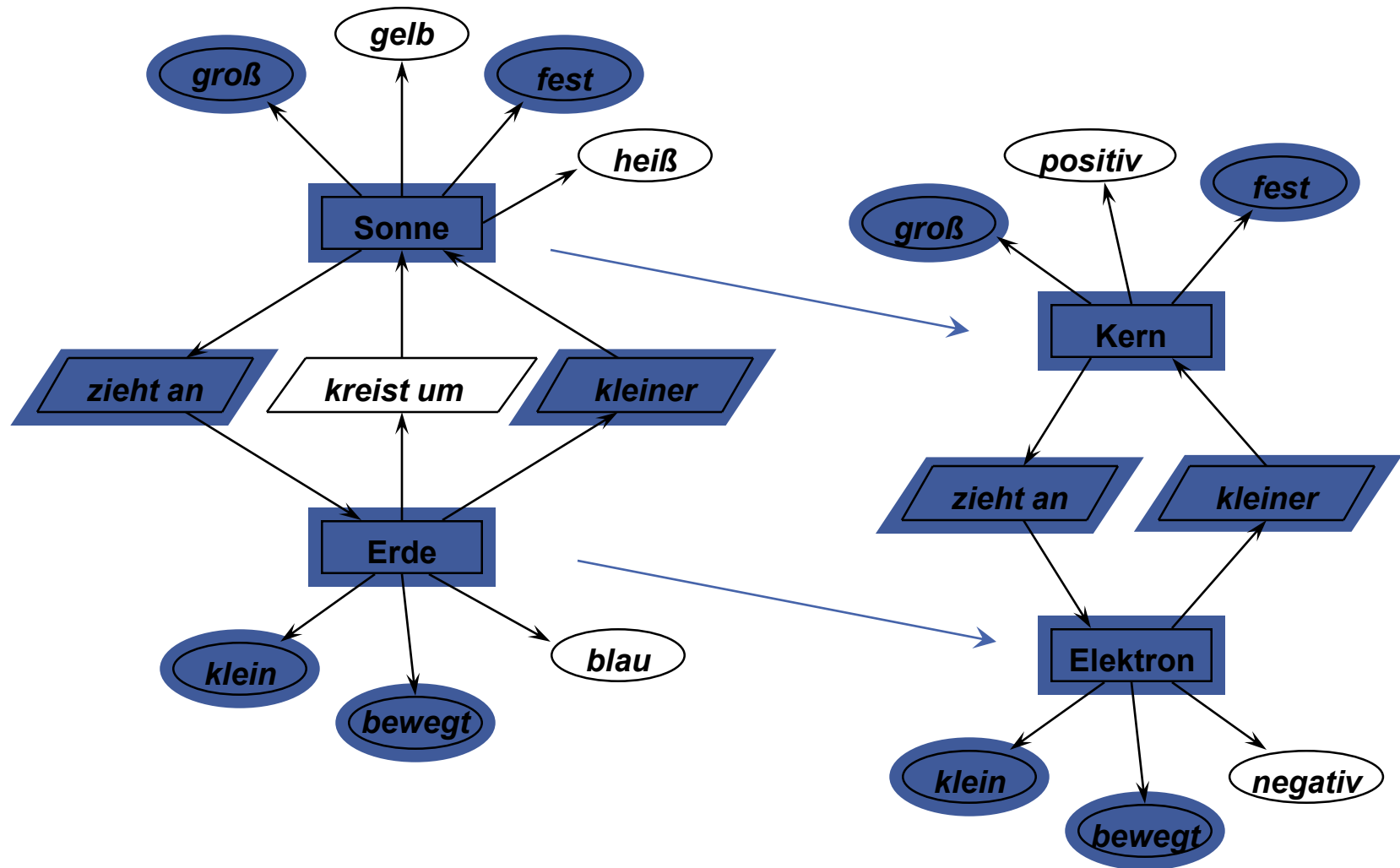
**Sonne**  
*ist gelb*  
*ist groß*  
*ist heiß*  
*ist fest*

**Sonne zieht an Erde**  
**Erde kreist um Sonne**  
**Erde kleiner als Sonne**

**Erde**  
*ist klein*  
*ist blau*  
*ist bewegt*

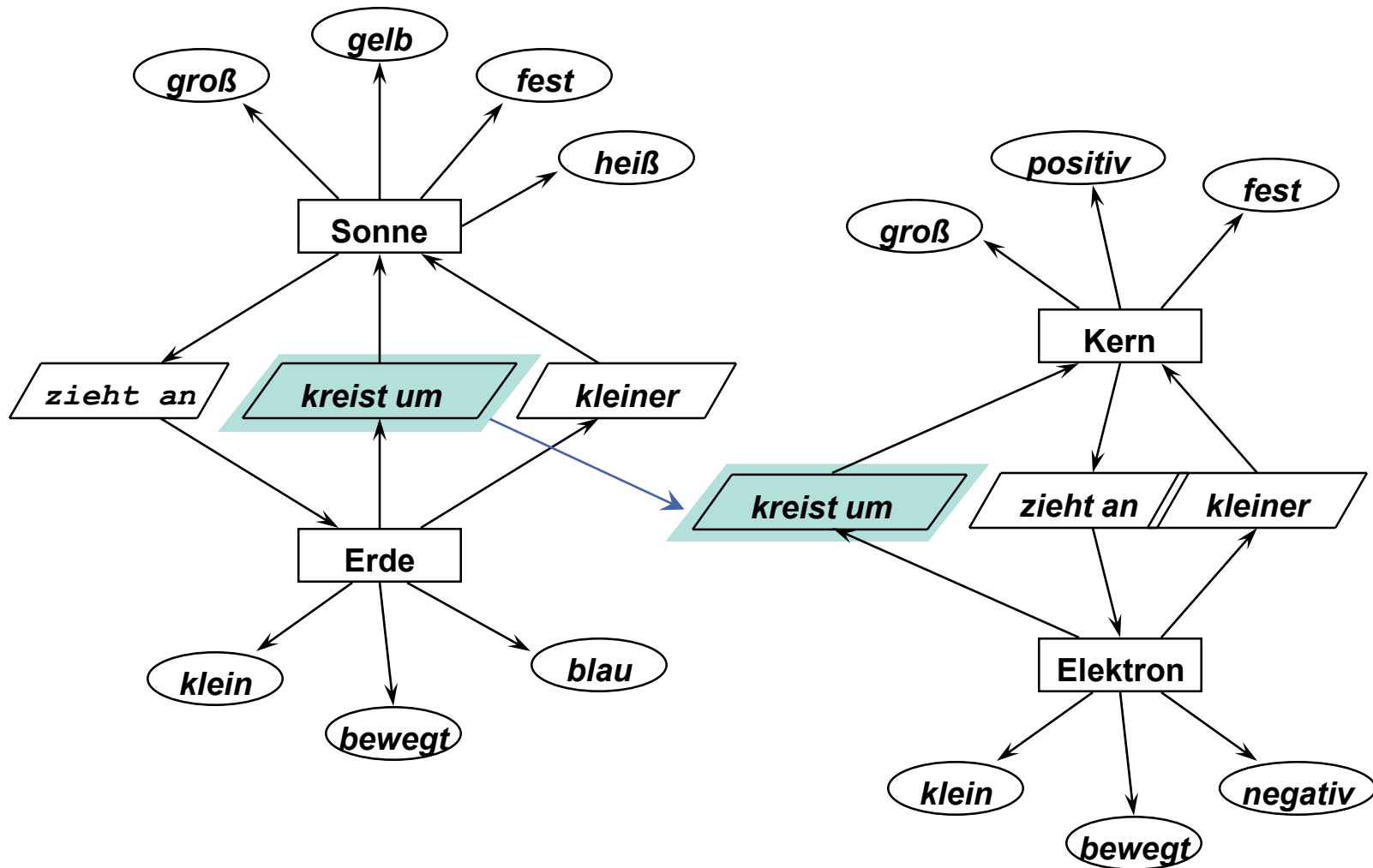


# Analogien: Abbildung





# Analogien: Analoger Schluß





# Case-based Reasoning in der Literatur

## ■ Leake [2]:

- [...] In CBR, reasoning is based on remembering.

## ■ Schank:

- A case-based reasoner solves new problems by adapting solutions that were used to solve old problems.

## ■ Kolodner [3]:

- Case-based reasoning is both [...] the ways people use cases to solve problems and the ways we can make machines use them.



# Case-based Reasoning: Überblick

- allgemeines (abstraktes) Framework
- kein direkt anwendbarer Algorithmus
- Wiederverwendung alter Fälle
- Suche nach Lösungen ähnlicher Probleme



# Was ist ein Fall?

## ■ Kognitionswissenschaften

- Fälle sind Abstraktionen von Ereignissen, die in Zeit und Raum begrenzt sind

## ■ Technische CBR Sichtweise

- Ein Fall ist die Beschreibung einer bereits real aufgetretenen **Problemsituation zusammen mit den Erfahrungen**, die während der Bearbeitung des Problems gewonnen werden konnten



# Ein Fall enthält ...

## ■ Mindestens:

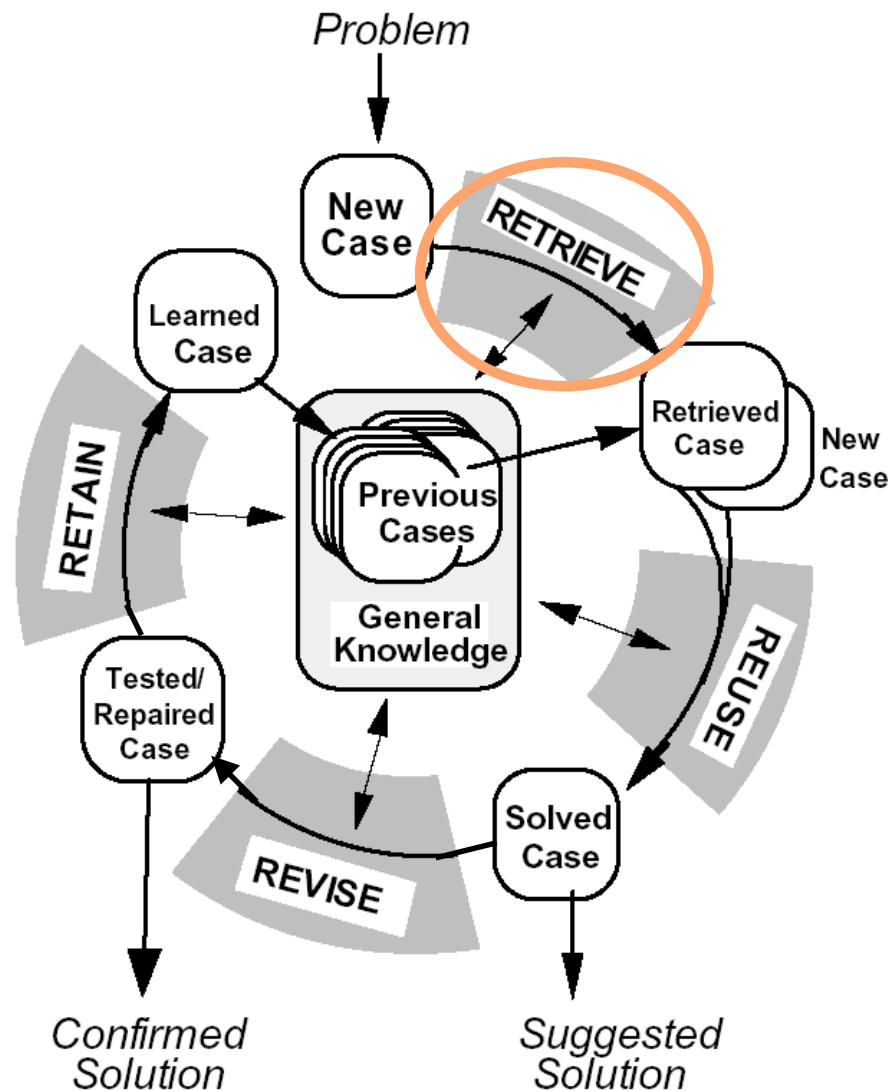
- Problembeschreibung
- Lösung (-versuch)
- Ergebnis

## ■ Zusätzlich:

- Erklärung, warum das Ergebnis auftrat
- Lösungsmethode
- Pointer auf andere Fälle
- Güteinformation



# CBR-Zyklus (Aamodt & Plaza, 1994)



Siehe [4]



- Aufgabe: Finde ähnliche Fälle

- Ähnlichkeitsmaß

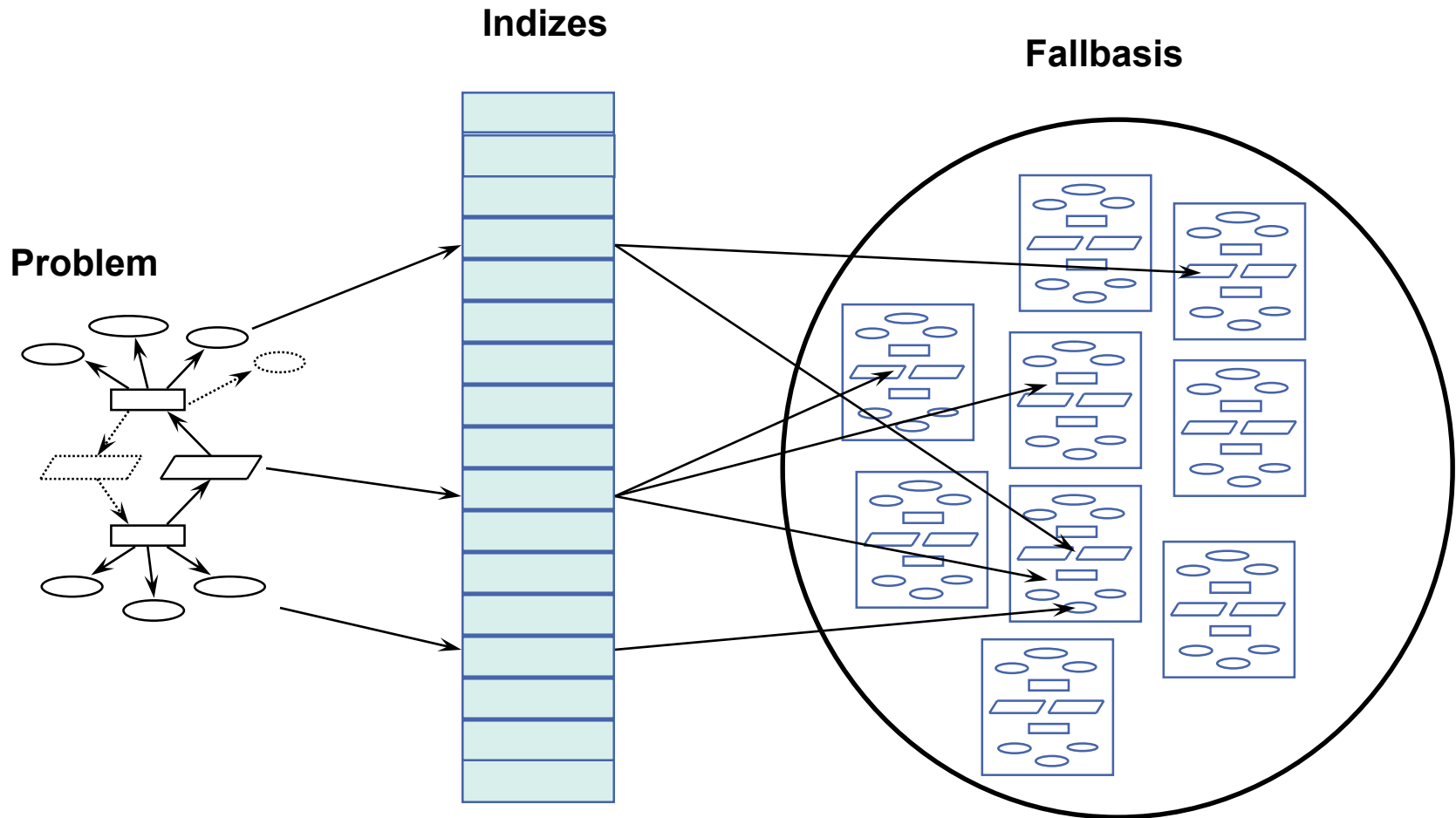
- (Euklidische Distanz)
- Syntaktische Ähnlichkeiten („knowledge-poor“)
- Semantische Ähnlichkeiten („knowledge-intensive“)

- Organisation der Fallbasis

- Lineare Liste
- Baumstruktur
- Graphen, Netze, Indexstrukturen
- Datenbanken



# Effizientes Auffinden von Fällen





# Indizierung: Probleme

- Beispiel, aus [3]:

- Problem:

- Zwanzig Gäste kamen zum Abendessen, es war Sommer und gerade Tomatensaison. Wir wollten ein vegetarisches Menü und eine Person war allergisch gegen Milchprodukte

- Lösung:

- Es gab Käse mit Tomatenkuchen. Statt normalem Käse wurde Tofu-Käse verwendet, da eine Person gegen Milchprodukte allergisch war.

- Indizes:

- vegetarisches Hauptgericht, Tomaten, keine Milchprodukte
- Aber: Indizierung muss die Umstände antizipieren, unter denen ein Fall wiederverwendet werden soll



## ■ Manuell

- Der Benutzer gibt entsprechende Indizes vor

## ■ Check-Liste

- Heuristiken zur Erstellung der Indizes
- Beispiel:
  - Sammle Features, die Lösungen voraussagen
  - Sammle Features, die Ergebnisse voraussagen
  - Erstelle geeignete Generalisierungen



## ■ Differenzbasiert

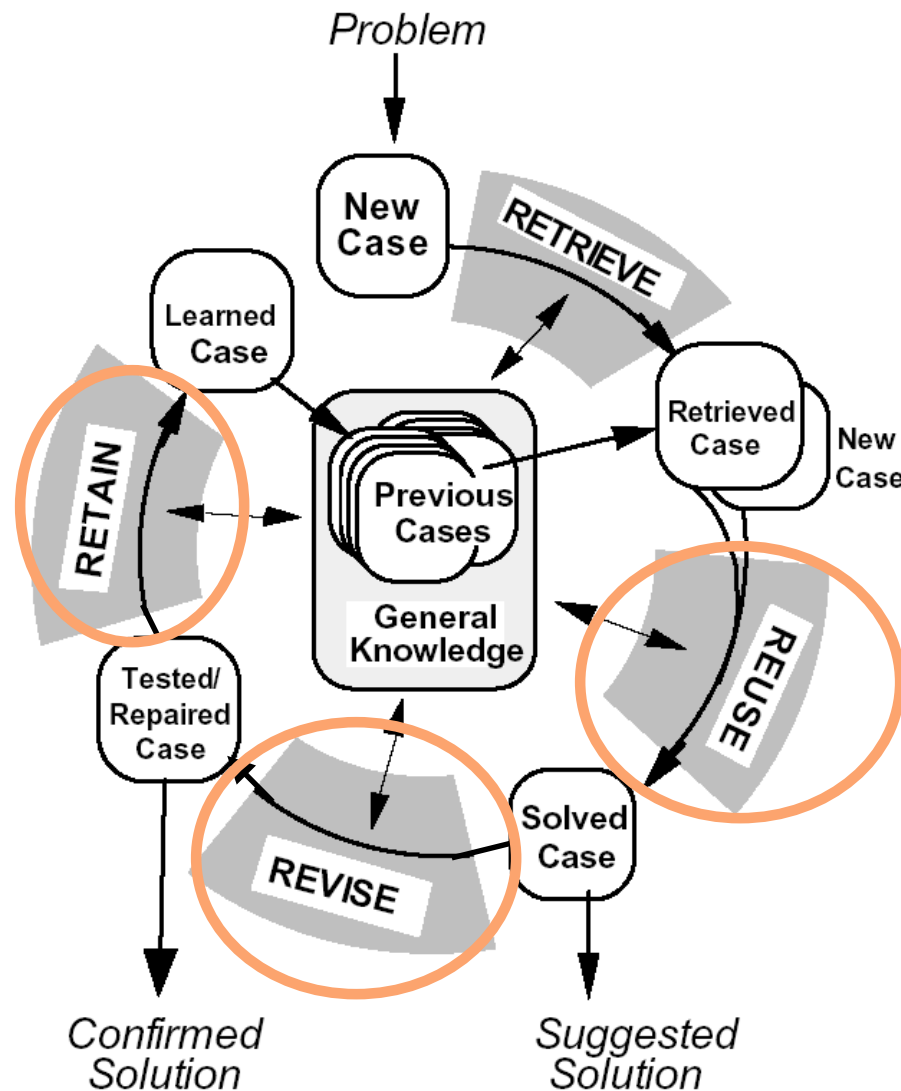
- Lösche solche Attribute, die in fast allen Instanzen vorkommen

## ■ Kombination beider Methoden

- Erst Aufstellung der Checkliste
- Dann Löschen der überflüssigen Attribute durch Differenzverfahren



# CBR-Zyklus (Aamodt & Plaza, 1994)



Siehe [4]



## ■ Lösungsadaption

### ■ Arten der Lösungsübertragung

- Keine Adaption, einfaches Übertragen (Copy)
- Durch Benutzer
- (semi-)automatische Adaption
  - transformational reuse
  - derivational reuse

### ■ Eingesetzte Methoden

- Benutzerinteraktion
- Regelbasiertes Schließen
- Modellbasiertes Schließen
- Planer
- ...



- Überprüfung, Verbesserung der Lösung
- Evaluierung der Lösung
  - Überprüfung durch Simulation
  - Überprüfung in realer Welt
- Verbessern bzw. Reparieren der Lösung
  - Fehler erkennen und erklären
  - Beseitigen unter Berücksichtigung der Fehlererklärungen
- Potentiell iterativ!



# Zurückbehalten (Retain)

- **Bewahrung der gemachten Erfahrung**
- **Was wird gelernt?**
  - Neue Erfahrung (neuer Fall)
  - Alten Fall generalisieren
  - Neue Merkmale (Indizes)
  - Organisation der Fallbasis (Effizienz)
- **Methoden**
  - Auswendiglernen (Speichern neuer Fälle)
  - Induktive/Deduktive Lernverfahren



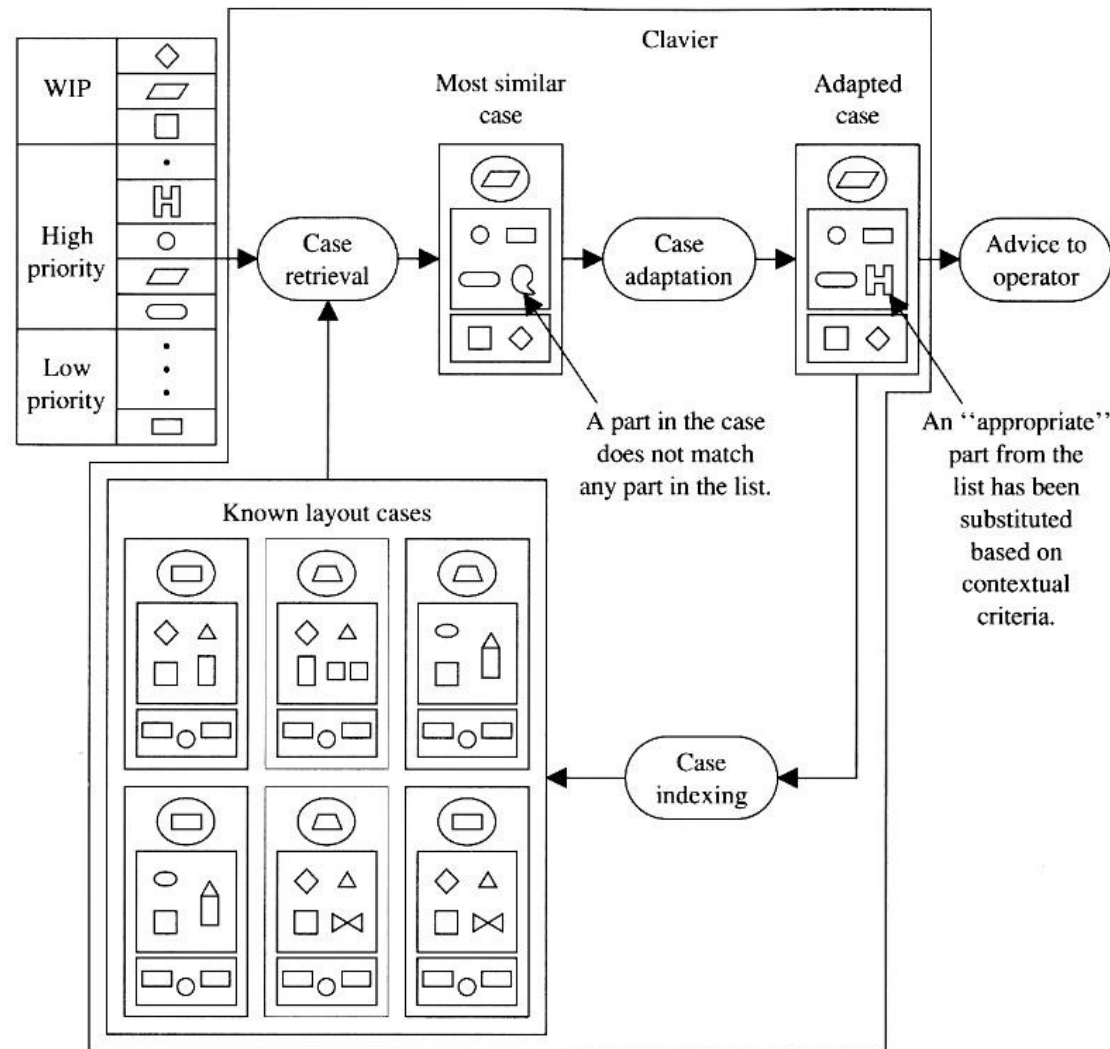
# Beispiel 1: CLAVIER

- Zusammenstellung von Teilepaletten für einen Vulkanisierungs-ofen.
- Einsatz bei Lockheed im Flugzeugbau
- Unterschiedliche Teile benötigen unterschiedliche Zeit im Ofen
- „Black Art“
- Maximierung des Durchflusses
- Begonnen mit 20 Fällen
- Mittlerweile über 300
- Siehe [5]





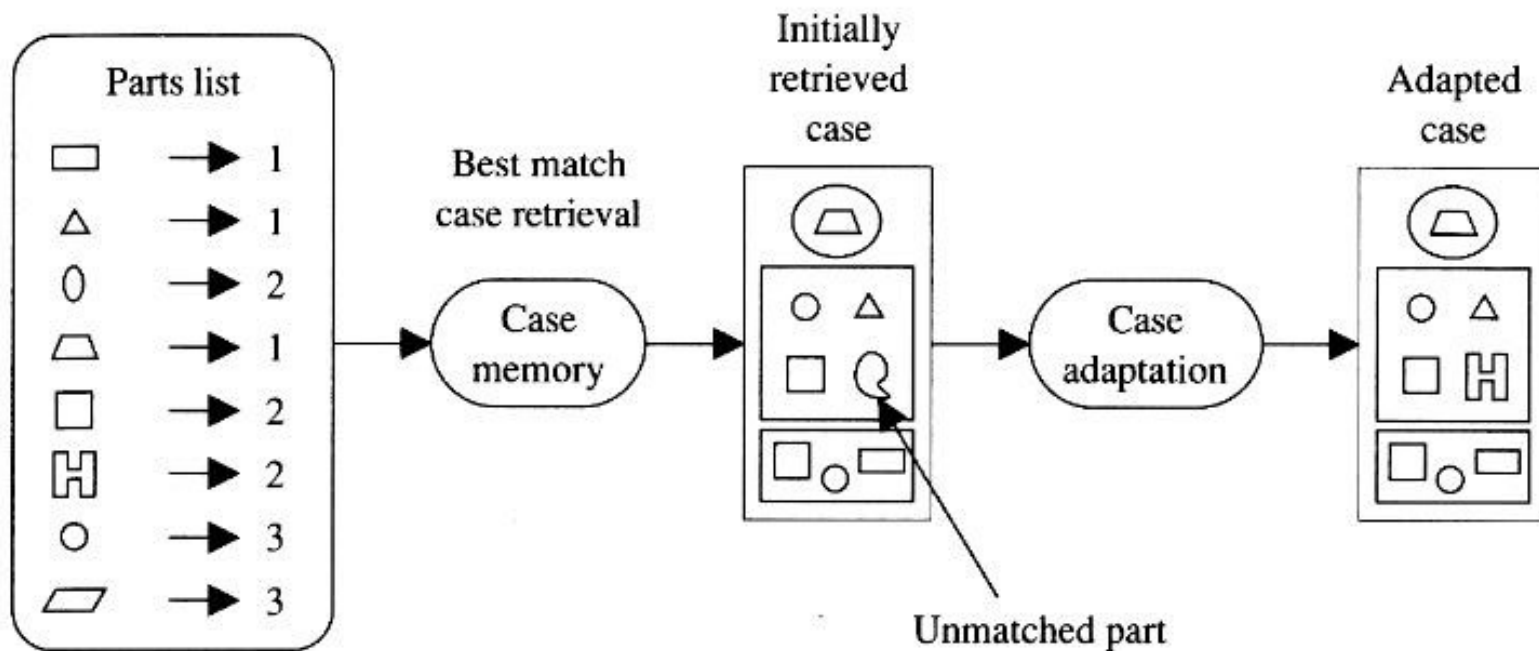
# CLAVIER: Fallbasis





# CLAVIER: Durchlauf

- Suche nach „ähnlichster“ bekannter Zusammenstellung
- Adaption durch Ersetzen möglichst weniger Elemente

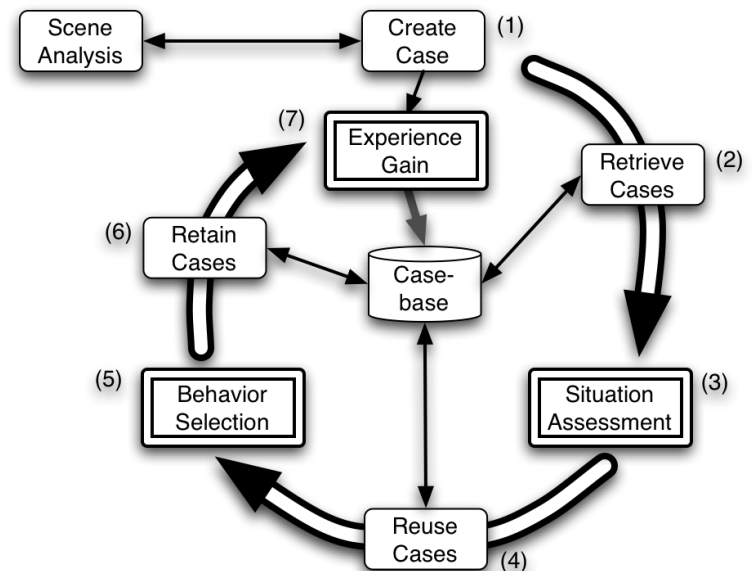






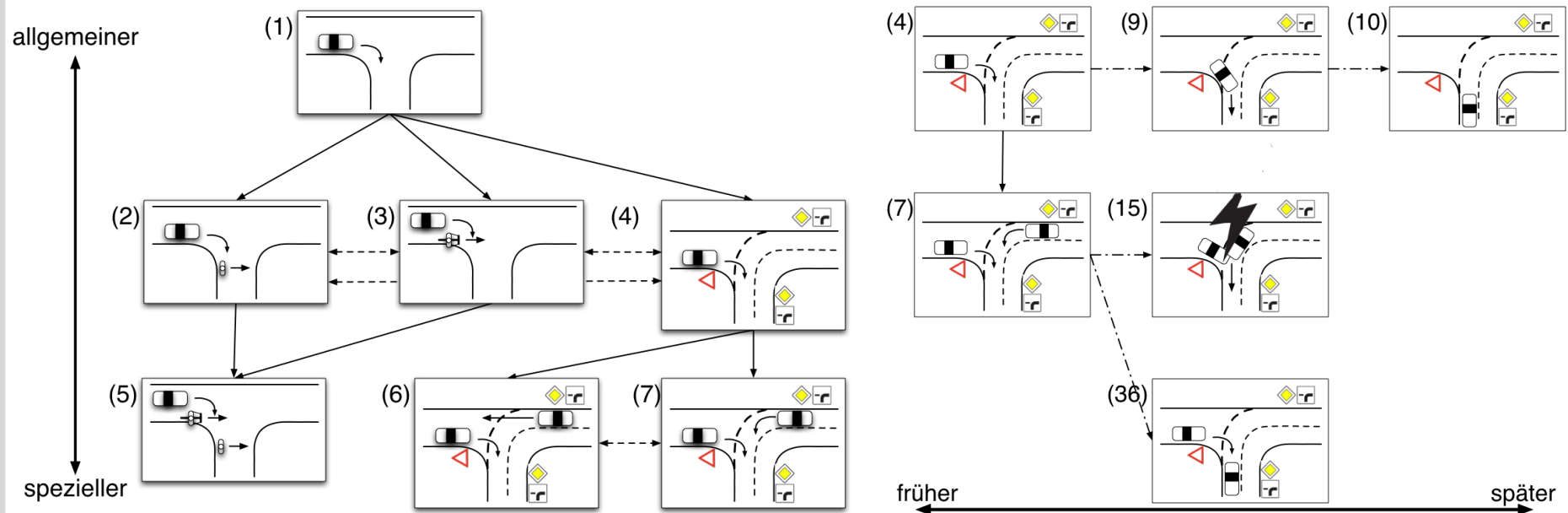
KIT  
Karlsruhe Institute of Technology

- 





- Fall: Szenen-Beschreibung, aktuelles Verhalten, Bewertung
- Vererbungshierarchie zwischen Fällen (DAG)
- Fälle enthalten Verweise auf zeitlich nachfolgende Fälle (abhängig von gewählten Verhalten)





# KogniMobil: Suche nach Fällen

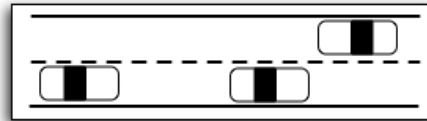


SFB/TR 28  
„Kognitive Automobile“

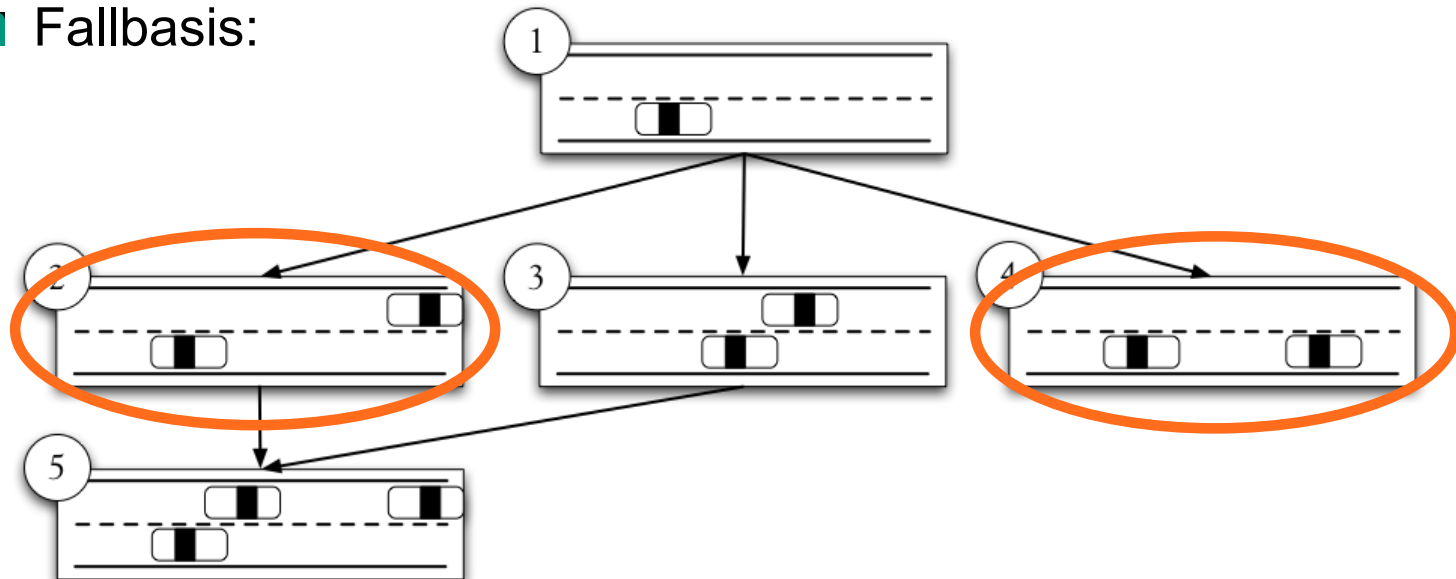


- Tiefensuche in Hierarchie der Fälle
- Ergebnis: (auch teilweise) zutreffende Fälle
- Beispiel:

■ Anfragefall:



■ Fallbasis:





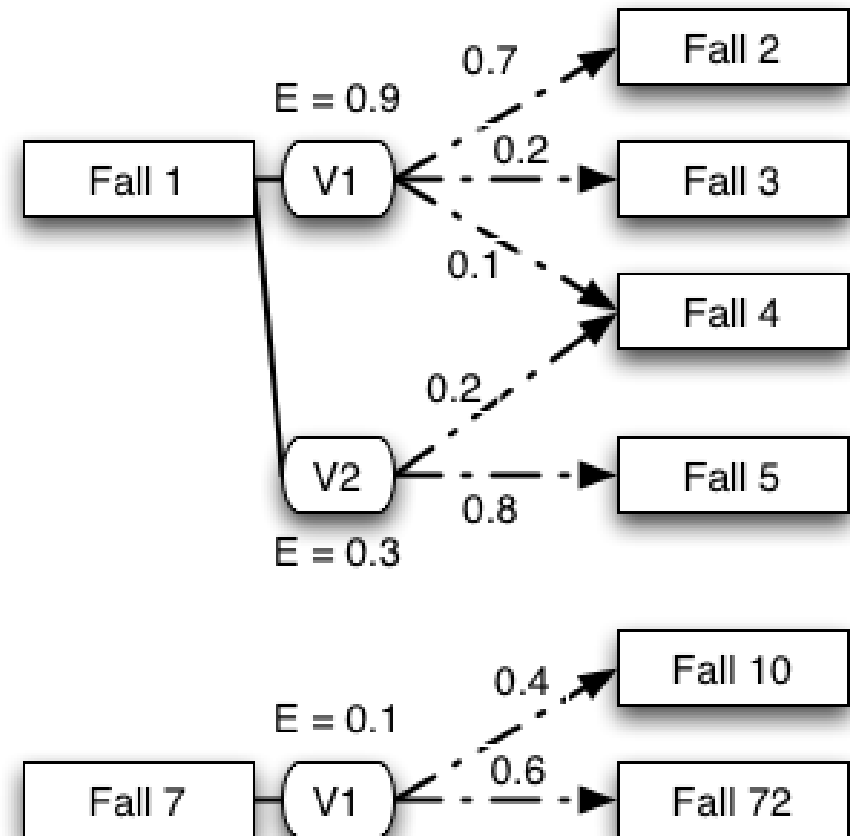
# KogniMobil: Verhaltensauswahl



SFB/TR 28  
„Kognitive Automobile“

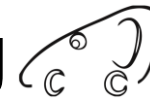


- Verhalten mit bester Bewertung wird gewählt
- Mehrere Fälle gefunden:
  - Minimum für jedes Verhalten über alle gefundenen Fälle
  - Verhalten mit maximaler Bewertung wählen





# KogniMobil: Aktualisierung der Fallbasis



SFB/TR 28  
„Kognitive Automobile“



- Aktualisierung der Informationen in der Fallbasis:
  - Wahrscheinlichkeiten (im zeitlichen Verlauf)
  - Verbindungen (auswählbare Verhalten)
  
- Hinzufügen neuer Fälle zur Fallbasis
  - Neuen Fall anlegen
  - Bewertung der Situation berechnen
  - Verbindungen für den neuen Fall anlegen (Vererbungshierarchie, zeitliche Abfolge)



- Case based reasoning kommt in verschiedenen Bereichen vor
- Zu den Anwendern gehören
  - British Airways (Wartung der Flugzeuge)
  - Canon (Auswahl der Produkte)
  - Compaq (intelligente Bedienanleitungen)
  - DaimlerChrysler (Qualitätskontrolle für Fahrwerke)
  - Microsoft (Intelligenter MS-Office Assistent)
  - Nokia (Benutzerhilfen)
  - Nestlé (Prozesskontrollen)
  - Philips (Einstellung von Strahlungsgeräten)
  - Reuters (Technische Dienstleistungen)
  - Volkswagen (Qualitäts- Garantien)



- + Konzeptuell einfach, aber trotzdem können komplexe Entscheidungsgrenzen gebildet werden
- + Kann mit relativ wenig Information arbeiten
- + Analogie zu menschlichem Problemlösen
- + Lernen ist einfach („one-shot learning“)
- + Günstig für mit Regeln schlecht erfassbare Probleme



- Gedächtniskosten
- Klassifikation kann lange dauern
- Hängt stark von Repräsentation ab
- Problematisch bei komplexen Repräsentationen
- Problematisch: irrelevante Eigenschaften



- Komplexe symbolische Repräsentation
  - andere Ähnlichkeitsmaße als Euklidische Distanz können notwendig werden
  - (z.B. Größe des größten gemeinsamen Subgraphen)
- Mehrere passende Fälle können (sehr komplex) kombiniert werden, um neues Problem zu lösen
- Case Retrieval, wissensbasiertes Schließen und Problemlösen eng verknüpft



# Einordnung CBR

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>



# Was wir heute gemacht haben...

- Einführung in das Instanzenbasierte Lernen
- k-NN
- Case-Based Reasoning Zyklus
- Beispiele für Anwendungen, die CBR einsetzen



- [1] *Tom Mitchell: **Machine Learning, Kapitel 8.*** McGraw-Hill, New York, 1997.
- [2] *David Leake: **Case-Based Reasoning – Experiences, Lessons & Future Directions.*** AAAI Press / MIT Press, Menlo Park, CA, Cambridge, MA, 1996.
- [3] *Janet Kolodner.: **Case-Based Reasoning.*** Morgan Kaufmann Publishers, Inc. San Mateo, CA, 1993.
- [4] *A. Aamodt, E. Plaza: **Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and System Approaches.*** AI Communications, IOS Press, Vol. 7/1, 1994.
- [5] *D. Hennessy, D. Hinkle: **Applying Case-Based Reasoning to Autoclave Loading.*** IEEE Expert, Vol. 7/5, 1992.