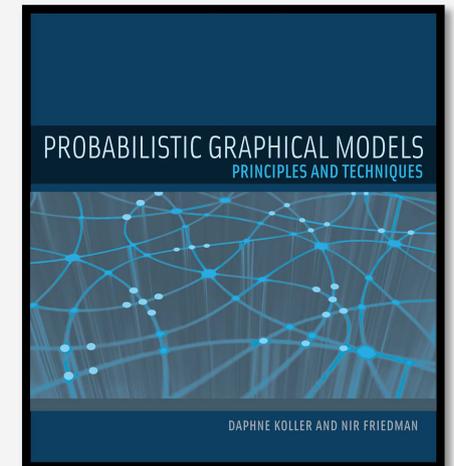
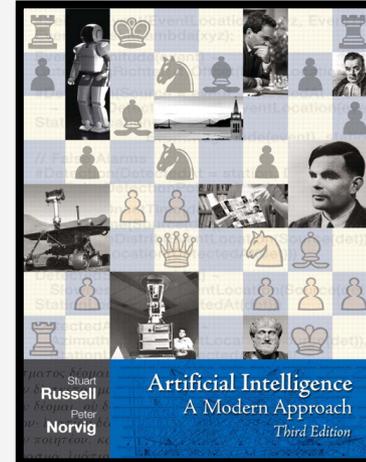


Einführung in die Künstliche Intelligenz

Überblick



Organisatorisches: Vorlesung

- Modul: Einführung in die Künstliche Intelligenz
 - Modulnummer: INF-B-126
 - 3+1 SWS, 6 ECTS
- Vorlesung:

Einführung in die Künstliche Intelligenz

- Fokus: *Probabilistische graphische Modelle*
- Raum
 - Hörsaal **M 3**

Organisatorisches: Termine & Zeitplan

- Termine
 - **Montags, 16.15 – 17.45 Uhr**
 - **Mittwochs, 12.15 – 13.45 Uhr**

#	Mo		Mi	
1	4.4.	Vorlesung	6.4.	Repetitorium
2	11.4.	Vorlesung	13.4.	Übung
3	18.4.	-- (<i>Ostermontag</i>)	20.4.	Vorlesung
4	25.4.	Vorlesung	27.4.	Übung
5	2.5.	Vorlesung	4.5.	Vorlesung
6	9.5.	Vorlesung	11.5.	Übung
7	16.5.	Vorlesung	18.5.	Vorlesung

- Übungen in etwa alle zwei Wochen über 90 Minuten
- Vorläufiger Zeitplan siehe unten

#	Mo		Mi	
8	23.5.	Vorlesung	25.5.	Übung
9	30.5.	Vorlesung	1.6.	Vorlesung
10	6.6.	-- (<i>Pfingstmontag</i>)	8.6.	-- (<i>Ferien</i>)
11	13.6.	Vorlesung	15.6.	Übung
12	20.6.	Vorlesung	22.6.	Vorlesung
13	27.6.	Vorlesung	29.6.	Übung
14	4.7.	Vorlesung	6.7.	Fragerunde

Organisatorisches: Übung

- Übungsbetreuer: *Sagad Hamid*
- Übungsblätter mit unterschiedlichen Aufgabentypen
 - Textaufgaben
 - Verständnis aufzeigen
 - Zusammenhänge erklären
 - Rechenaufgaben
 - Verständnis stärken, Details begreifen
- Ein Übungsblatt deckt im Schnitt drei Vorlesungen ab
 - Erscheint zu Beginn der Vorlesungen, die es abdeckt
- Erste Übung: 6.4.
 - *Repetitorium zu Wahrscheinlichkeitstheorie*

Organisatorisches: Prüfung

- ≤ 20 Teilnehmende: **Mündliche** Prüfung
- > 20 Teilnehmende: **Schriftliche** Prüfung
 - Datum: tba
- Teilnahmebedingungen
 - Prüfungsanmeldung

Inhaltliche Ziele

- Einordnung bzgl. „*Was macht KI aus?*“
 - *Agent* als Abstraktion eines intelligenten Systems, das in einer Umwelt *handelt*
- Umsetzung eines Agenten mittels *probabilistischer graphischer Modelle (PGMs)*
 - PGMs zur Repräsentation der Wissens bzw. der Umwelt
 - Modelltypen: Statisch, temporal, entscheidungstheoretisch
 - Lernalgorithmen um aus Beobachtungen aus der Umwelt ein PGM zu lernen
 - Daten: vollständig, nicht vollständig
 - Struktur: bekannt, unbekannt
 - Inferenzalgorithmen zur Anfragebeantwortung auf PGMs
 - Fragen zur Wahrscheinlichkeit von Ereignissen, zum wahrscheinlichsten Zustand der Umwelt, zur Entwicklung über die Zeit, zur *besten Aktion*
 - Inferenz: Exakt, approximativ

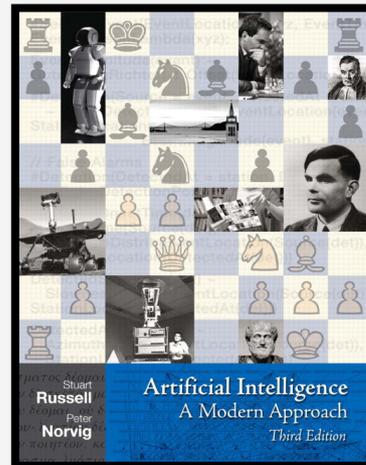
Lernergebnisse

- KI im Allgemeinen
 - Fähigkeit Problemstellungen (und aktuelle Forschungsarbeiten) hinsichtlich ihrer Einordnung in den KI-Kontext zu beurteilen
 - Verständnis des Umfangs und der Schwere des Problems der Umsetzung von KI
 - Aufgezeigt anhand der Umsetzung eines Agenten mittels PGMs
- PGMs im Speziellen
 - Verständnis der theoretischen Grundlagen von PGMs und ihren Algorithmen
 - Verständnis der Möglichkeiten und Einschränkungen der PGMs und ihren Algorithmen
 - Fähigkeit PGMs aufzustellen bzw. ein gegebenes PGM zu beurteilen
 - Fähigkeit die Algorithmen auf gegebene Modelle zum Problemlösen anzuwenden
- Meta-Ebene: Neue komplexe Zusammenhänge erarbeiten können, Zugang zu englischer Literatur des Themas finden

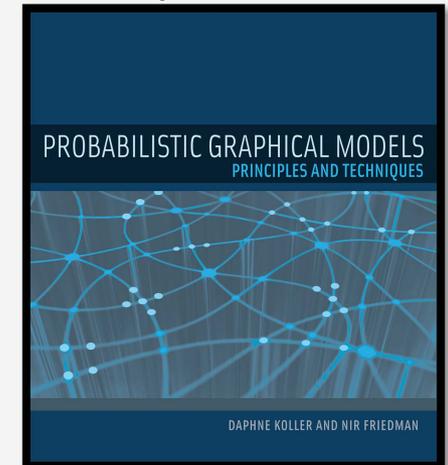
Literatur

- **Artificial Intelligence – A Modern Approach** (3. Auflage; kurz *AIMA*)
 - Stuart Russell, Peter Norvig
 - Deutsche Übersetzung: Künstliche Intelligenz – Ein moderner Ansatz (kurz *AIMAde*)
 - Genutzte Inhalte:
 - Kap. 2 (KI + Agenten)
 - Kap. 13-16, 20 (Unsicheres Wissen & Folgern, Lernen)

Beschreibungen etwas knapp,
daher mit PGM unterfüttert



- **Probabilistic Graphical Models – Principles and Techniques** (kurz *PGM*)
 - Daphne Koller, Nir Friedman
 - Soweit mir bekannt, keine deutsche Übersetzung (außer in diesen Folien)
 - Genutzte Inhalte (voraussichtlich):
 - Kap. 3-4, 6.2 (Modelle)
 - Kap. 9, 10, (11), 12, (13), 15 (Inferenz)
 - Kap. 17-20 (Lernen)
 - Kap. (21), 22, 23 (Entscheidungsfindung)



Grundlagen

- **Wahrscheinlichkeitstheorie**

- Zufallsvariablen
- Wahrscheinlichkeitsverteilungen
- Kettenregel, Bayes'sche Regel
- (Bedingte) Unabhängigkeiten
- Anfragen

→ **Repetitorium am 6.4.**

Wahrscheinlichkeitstheorie & Graphen:
Siehe auch Kap. 2 im *PGM* Buch

- **Graphen**

- Knoten, Kanten, gerichtet, ungerichtet
- Subgraph, vollständig, Clique, maximal
- Pfad, Zyklus
- Zusammenhang, Baum, Polytrees

- **Relationale Algebra**

- Projektion
- Selektion
- (Natürlicher) Join

→ **Am Ende dieses Foliensatzes**

Inhalte (vorläufig)

1. Künstliche Intelligenz & Agenten

- Agentenabstraktion, Rationalität
- Aufgabenumgebung

2. Episodische PGMs

- Gerichtetes Modell: Bayes Netze (BNs)
- Ungerichtete Modelle

3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeits- und Zustandsanfragen
- Direkt auf den Modellen, mittels Hilfsstrukturen

4. Approximative Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeitsanfragen
- Deterministische, stochastische Algorithmen

5. Lernalgorithmen für episodische PGMs

- Bei (nicht) vollständigen Daten, (un)bekannter Struktur

6. Sequentielle PGMs und Inferenz

- Dynamische BNs, Hidden-Markov-Modelle
- filtering / prediction / hindsight Anfragen, wahrscheinlichste Zustandssequenz
- Exakter, approximativer Algorithmus

7. Entscheidungstheoretische PGMs

- Präferenzen, Nutzenprinzip
- PGMs mit Entscheidungs- und Nutzenknoten
- Berechnung der besten Aktion (Aktionssequenz)

8. Abschlussbetrachtungen

Danksagung

- Folien basieren teilweise auf Folien zusammengestellt von Ralf Möller aus Material zur Verfügung gestellt von Lise Getoor, Jean-Claude Latombe, Daphne Koller und Stuart Russell
- Vielen Dank an alle!



Hinweis

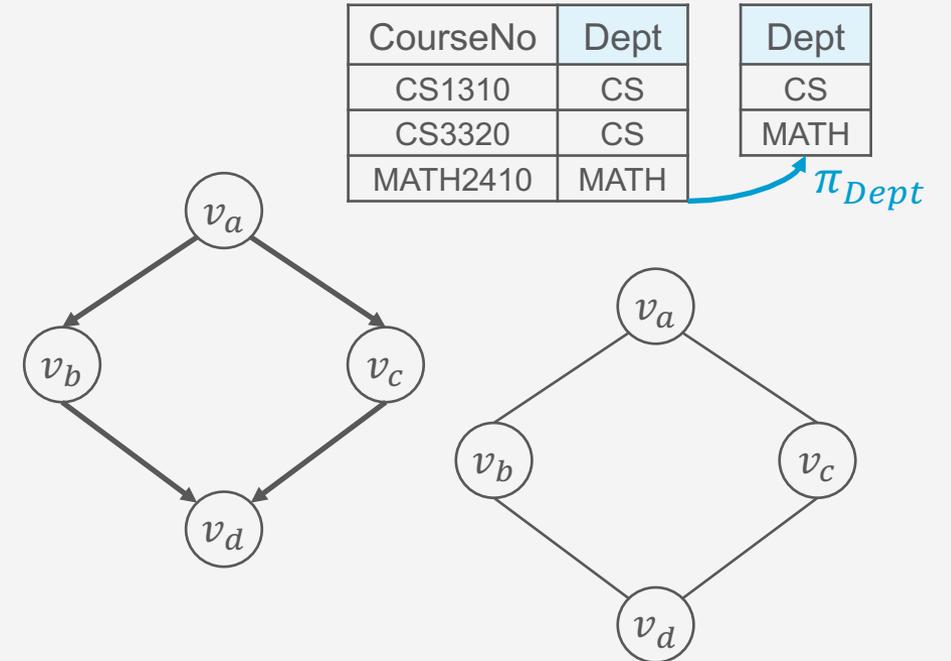
- *Die Vorlesung ist neu (und damit auch die Folien und die Übungsaufgaben)!*
- Was heißt das?
 - Es können sich kurzfristig noch einmal Dinge im inhaltlichen Aufbau ändern
 - Der momentane Aufbau ist schlüssig, kann sich aber als zu ehrgeizig in Hinblick auf die verfügbare Zeit erweisen
 - Die Folien und Übungsblätter werden trotz größtmöglicher Sorgfalt Tippfehler beinhalten
 - Darstellungen, die mir zum Zeitpunkt des Bauens der Folien als sinnvoll erschienen, können sich als nicht hilfreich in der Vorlesung herausstellen

Wenn Sie Fehler finden oder Vorschläge zur besseren Darstellung haben, geben Sie gern Bescheid!

Grundlagen

Kurze Wiederholung zu

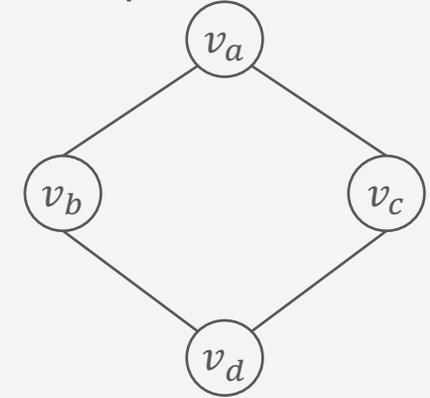
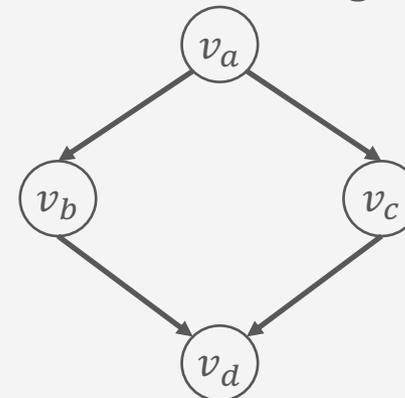
- Graphentheorie
- Relationale Algebra



Bevor es losgeht... Aus der Vorlesung *Diskrete Strukturen: Graphen*

- Graph (V, E)
 - Menge von Knoten $V = \{v_1, \dots, v_n\}$
 - Menge von Kanten E
 - **Gerichtet:** $e = (v_i, v_j)$ mit $v_1 \rightarrow v_2$
 - v_j Kind(knoten), v_i Elternknoten
 - $Pa(v)$, $Ch(v)$ alle Eltern, Kinder von v
 - **Ungerichtet:** $e = \{v_i, v_j\}$ mit $v_1 - v_2$
 - Oft auch (v_i, v_j) mit $(v_i, v_j) = (v_j, v_i)$
 - v_i und v_j Nachbarn, $Nb(v)$ für alle von v
 - **Grad** $deg(v)$: Anzahl an Kanten mit v
 - Grad von G : $deg(G) = \max_{v \in V} deg(v)$
- Ungerichteter Graph eines gerichteten Graphen (V, E)
 - Richtung der Kanten in E ignorieren

- Beispiel: $V = \{v_a, v_b, v_c, v_d\}$ $deg(G) = ?$
 - Gerichtet (links):
 $E = \{(v_a, v_b), (v_a, v_c), (v_b, v_d), (v_c, v_d)\}$
 - v_a Elternknoten von v_b, v_c und v_b, v_c von v_d
 - $Pa(v_a) = \emptyset, Pa(v_d) = \{v_b, v_c\}$
 - Ungerichtet (rechts):
 $E = \{\{v_a, v_b\}, \{v_a, v_c\}, \{v_b, v_d\}, \{v_c, v_d\}\}$
 - Rechts ist der ungerichtete Graph von links



Bevor es losgeht... Aus der Vorlesung *Diskrete Strukturen: Graphen*

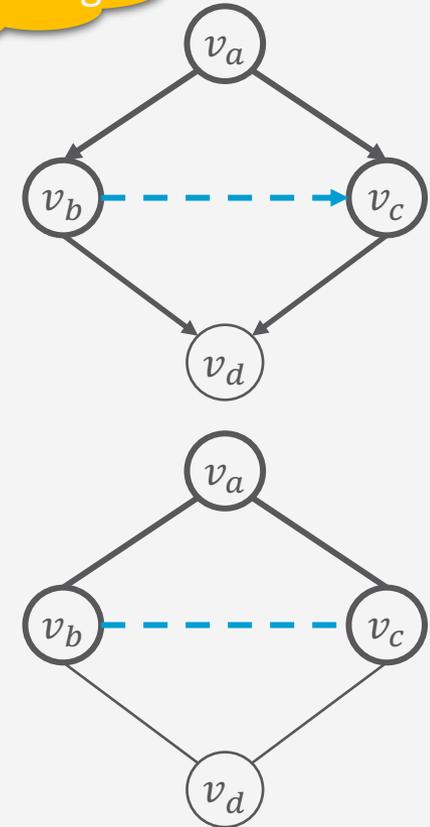
- **Subgraph** (V', E')
 - $V' \subset V$
 - $E' = \{e \mid e \in E \wedge v_i, v_j \in V'\}$
 - v_i, v_j aus e
- **Vollständig**, wenn jedes Paar von Knoten durch eine Kante verbunden ist
 - V' auch **Clique** genannt
 - **Maximal**, wenn für jedes Superset $V'' \supset V'$ aus V gilt, dass V'' keine Clique ist

- Beispiele:

(V', E') vollständig?

- Subgraph: fett markiert
 - $V' = \{v_a, v_b, v_c\}$
 - $E' = \{(v_a, v_b), (v_a, v_c)\}$
- bzw.

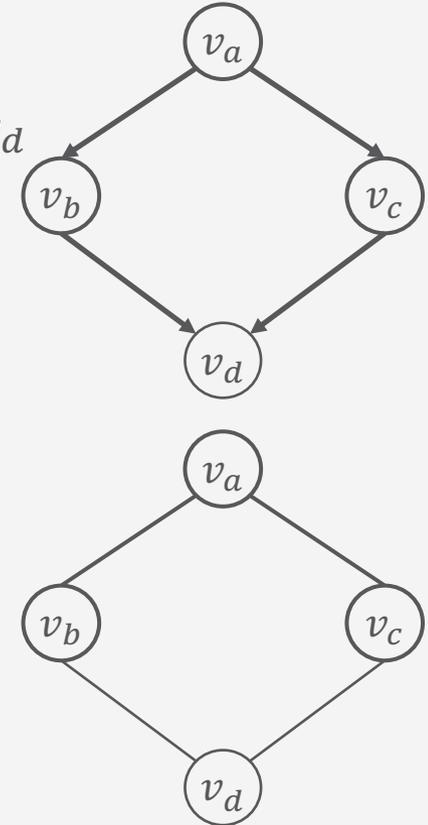
- $E' = \{\{v_a, v_b\}, \{v_a, v_c\}\}$
- (V', E') nicht vollständig
 - Kante e zwischen v_b, v_c fehlt
 - $(V', E' \cup \{e\})$ vollständig
 - V' maximale Clique
 - Nicht maximale Cliques: $\{v_a, v_b\}, \{v_a, v_c\}, \{v_b, v_c\}$



Bevor es losgeht... Aus der Vorlesung *Diskrete Strukturen: Graphen*

- **Pfad** v_1, \dots, v_m
 - $v_i, v_{i+1}, i = 1, \dots, m - 1$, jeweils durch Kante verbunden, ohne doppelt auftretende Knoten
 - In gerichteten Graphen
 - v_j **Nachfahre** von v_i , wenn ein Pfad v_1, \dots, v_m existiert mit $v_1 = v_i, v_m = v_j$
 - v_i **Vorfahre** von v_j , wenn ein Pfad v_1, \dots, v_m existiert mit $v_1 = v_i, v_m = v_j$
 - $Desc(v_i), Anc(v_i)$: Alle Nach/Vorfahren von v_i
 - **Topologische Sortierung** v_1, \dots, v_n
 - Wenn $(v_i, v_j) \in E$, dann v_i vor v_j in v_1, \dots, v_n
- **Zyklus** v_1, \dots, v_m
 - Pfad mit $v_1 = v_m$
 - **Azyklisch**: keine Zyklen

- Beispiele
 - Gerichtet:
 - Pfade: v_a, v_b, v_d und v_a, v_c, v_d
 - Bei $m = 3$
 - v_a Vorfahre von v_d , v_d Nachfahre von v_a
 - Top. Sortierung:
 - v_a, v_b, v_c, v_d
 - v_a, v_c, v_b, v_d
 - Zyklus: *azyklisch*
 - Ungerichtet:
 - Beliebiger Pfad: v_b, v_a, v_c
 - Zyklus: v_a, v_b, v_d, v_c, v_a



Bevor es losgeht... Aus der Vorlesung *Diskrete Strukturen: Graphen*

Hier nur für ungerichtete Graphen genutzt:

- **Zusammenhängend**

- Jeder Knoten ist mit jedem anderen Knoten durch einen Pfad verbunden

- **Baum**

- Azyklisch und zusammenhängend

- **Polytree**

- Gerichteter azyklischer Graph, dessen ungerichteter Graph ein Baum ist

- Beispiele

- Ungerichtet:

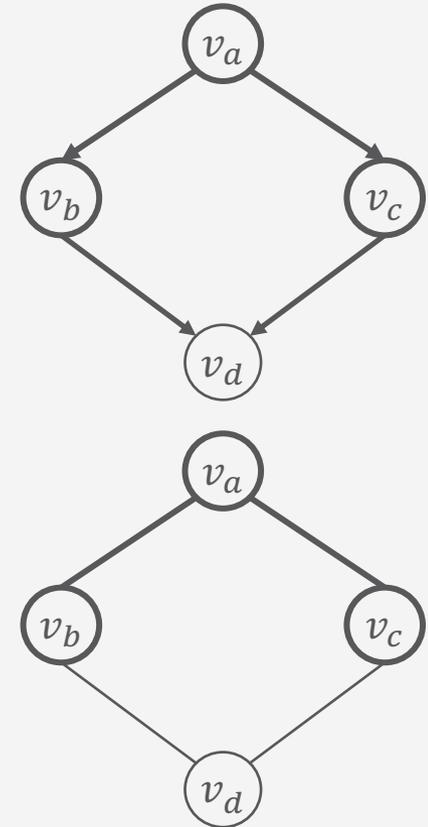
- zusammenhängend
- Kein Baum, da nicht azyklisch

- Gerichtet:

- Kein Polytree, da ungerichtet kein Baum

- Subgraph aus $\{v_a, v_b, v_c\}$

- Ungerichtet: azyklisch und zusammenhängend
→ Baum
- Damit gerichtet: Polytree



Bevor es losgeht... Aus der Vorlesung *Datenbanken: Relationale Algebra*

- **Projektion π** : wählt bestimmte Attribute für eine Menge von Tupeln einer Relation R aus und verwirft die anderen
 - $\pi_{\langle A_1, \dots, A_k \rangle}(r) = \{t[A_1, \dots, A_k] \mid t \in r\}$
- **Selektion σ** : wählt die Tupel einer Relation R aus, die ein Auswahlprädikat p erfüllen
 - $\sigma_p(r) = \{t \mid t \in r \wedge p(t)\}$
- **Natürlicher Join \bowtie** : verbindet die Tupel zweier Relationen R und S , die auf allen Attributen aus $R \cap S = A_1, \dots, A_k$ übereinstimmen
 - $r \bowtie s = \{t_r \cup t_s \mid t_r \in r \wedge t_s \in s \wedge t_r[A_1, \dots, A_k] = t_s[A_1, \dots, A_k]\}$
 - Bei $R \cap S = \emptyset$: $R \bowtie S = R \times S$ (kartesisches Produkt)

CourseNo	Dept
CS1310	CS
CS3320	CS
MATH2410	MATH

CourseNo	Instructor
CS1310	Anderson
CS3320	Knuth

CourseNo	Dept	Instructor
CS1310	CS	Anderson
CS3320	CS	Knuth



CourseNo	Dept
CS1310	CS
CS3320	CS
MATH2410	MATH

Dept
CS
MATH

π_{Dept}

CourseNo	Dept
CS1310	CS
CS3320	CS
MATH2410	MATH

CourseNo	Dept
MATH2410	MATH

$\sigma_{Dept=MATH}$

Für uns heißt das später:

- Attribut = Zufallsvariable
- Relation = Verteilung / Faktor über Zufallsvariablen
- Tupel = Eingabewerte / Werte der Zufallsvariablen

Zwischenzusammenfassung: Grundlagen

Graphen

- Knoten und Kanten
 - Kanten: gerichtet, ungerichtet
 - Grad
- (Vollständige) Subgraphen
 - (Maximale) Cliques
- Pfade, Zyklen
 - Vorfahre, Nachfahre, topologische Sortierung
- Zusammenhängend
 - Baum, Polytrees

Relationale Algebra

- Selektion
- Projektion
- (Natürlicher) Join
 - Kartesisches Produkt

Wiederholung **Wahrscheinlichkeitstheorie**
in der ersten Übung

Inhalte (vorläufig)

1. Künstliche Intelligenz & Agenten

- Agentenabstraktion, Rationalität
- Aufgabenumgebung

2. Episodische PGMs

- Gerichtetes Modell: Bayes Netze (BNs)
- Ungerichtete Modelle

3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeits- und Zustandsanfragen
- Direkt auf den Modellen, mittels Hilfsstrukturen

4. Approximative Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeitsanfragen
- Deterministische, stochastische Algorithmen

5. Lernalgorithmen für episodische PGMs

- Bei (nicht) vollständigen Daten, (un)bekannter Struktur

6. Sequentielle PGMs und Inferenz

- Dynamische BNs, Hidden-Markov-Modelle
- filtering / prediction / hindsight Anfragen, wahrscheinlichste Zustandssequenz
- Exakter, approximativer Algorithmus

7. Entscheidungstheoretische PGMs

- Präferenzen, Nutzenprinzip
- PGMs mit Entscheidungs- und Nutzenknoten
- Berechnung der besten Aktion (Aktionssequenz)

8. Abschlussbetrachtungen