

# SMART Systems (Vorlesung: KI & XPS)

---

Ralf Möller, Univ. of Applied Sciences, FH-Wedel

- Beim vorigen Mal: Semantic Web, Beweisverfahren
- Inhalt heute:
  - Zeitliche und räumliche Zusammenhänge
  - Qualitative Beziehungen:
    - Intervall-Relationen
    - Topologie
  - Constraint-Solving-Techniken für qualitative Zusammenhänge
- Lernziele:
  - Qualitativ-Relationales Schließen

# Acknowledgments

---

- Diese Vorlesung verwendet u.a. Material von
  - Bernhard Nebel (Univ. Freiburg) und
  - Carsten Lutz (RWTH Aachen)

# Qualitative Temporale Beziehungen

---

- Gegeben eine Menge von *Ereignissen*, die zu einer bestimmten (aber nicht genau spezifizierten) Zeit stattfinden und
- Aussagen über die relativen temporalen Beziehungen zwischen diesen Ereignissen.
- Frage: Welche Beziehungen gelten zusätzlich (und welche sind unmöglich)?

# Beispiel

---

1. Die Mensa öffnet morgens.
2. Die Vorlesung  $A$  liegt vormittags.
3. Die Vorlesung  $A$  liegt vor der Vorlesung  $B$ .
4. Während der Vorlesung  $B$  schließt die Mensa.
5. Frage: Ist die Mensa während der gesamten Vorlesung  $A$  geöffnet?

Ja (falls alle relevanten Tatsachen angegeben wurden)

## Punkte oder Intervalle (1)

---

Wenn wir über die *Zeit* reden, zu der ein *Ereignis* stattfindet oder eine *Eigenschaft* gilt, so kann diese Zeit entweder ein *Zeitpunkt* oder ein *Zeitintervall* sein.

- Die Mensa ist geöffnet zum Zeitpunkt  $t_1$ .
- Die Mensa ist während des Zeitintervalls  $(t_1, t_2)$  geöffnet.
- Die Vorlesung *A* beginnt zum Zeitpunkt  $t_3$ .
- Die Vorlesung *B* fand im Intervall  $(t_5, t_6)$  statt.

## Punkte oder Intervalle (2)

---

Verschiedene Arten von temporalen Aussagen:

- Zustände: gültig über Intervallen und Punkten
- Ereignisse: gültig über Intervallen, nicht notwendig über Punkten

## Punkte oder Intervalle (3)

---

Ausgehend von der Beobachtung, daß manchmal Zeitpunkte und manchmal Zeitintervalle adäquater sind, gibt es eine lange Debatte darüber, ob man Zeitpunkte oder Zeitintervalle oder beide als *Primitive* für eine Repräsentationssprache einsetzen sollte.

Im Allenschen Ansatz [Allen CACM-84] gibt es nur *Zeitintervalle*, da auch scheinbar punktförmige Ereignisse eine zeitliche Ausdehnung haben.

# Intervalle

---

Ein **Zeitintervall**  $X$  ist ein Paar  $(X^-, X^+)$ , wobei  $X^-$  und  $X^+$  über den rationalen Zahlen interpretiert werden und  $X^- < X^+$  gilt (keine Punkte!)

**Beachte:** Wir fassen Zeitintervalle *nicht* als Menge von Punkten auf (keine Unterscheidung zwischen offen und geschlossen!)



# Das Beispiel

---

## ■ semi-formal

### Zeitintervalle:

*M* morgens

*V* vormittags

*O* Mensa öffnet

*S* Mensa schließt

*G* Mensa ist geöffnet

*A* Vorlesung *A* findet statt

*B* Vorlesung *B* findet statt

### Aussagen:

Implizit: *M* liegt direkt vor *V*

Implizit: *G* liegt direkt nach *O*

Implizit: *G* liegt direkt vor *S*

1: *O* liegt innerhalb von *M*

2: *A* liegt innerhalb von *V*

3: *A* liegt vor *B*

4: *S* liegt innerhalb von *B*

Frage: *A* liegt innerhalb von *G*?

## Auf wieviele Arten...

---

Auf wieviele (qualitativ) unterscheidbare Weisen können zwei *konkrete* Zeitintervalle zueinander in Beziehung stehen?

Auf wieviele qualitativ unterscheidbare Arten können wir  $X^-$ ,  $X^+$ ,  $Y^-$ ,  $Y^+$  auf dem Zahlenstrahl anordnen?

# Die Basisrelationen

Menge	$R$	Name
$\{(X, Y) \mid X^- < X^+ < Y^- < Y^+\}$	$\prec$	before
$\{(X, Y) \mid X^- < X^+ = Y^- < Y^+\}$	m	meets
$\{(X, Y) \mid X^- < Y^- < X^+ < Y^+\}$	o	overlaps
$\{(X, Y) \mid X^- = Y^- < X^+ < Y^+\}$	s	starts
$\{(X, Y) \mid Y^- < X^- < X^+ = Y^+\}$	f	finishes
$\{(X, Y) \mid Y^- < X^- < X^+ < Y^+\}$	d	during
$\{(X, Y) \mid Y^- = X^- < X^+ = Y^+\}$	$\equiv$	equal

... und die **konversen** Relationen (d.h.  $X$  und  $Y$  vertauschen) Notation:  $R^\sim$ .

Insgesamt  $(2 \times 7) - 1$  mögliche **Basisrelationen**, die *erschöpfend* und *disjunkt* sind.

# Die Basisrelationen graphisch dargestellt

before/after  $X \prec Y \quad Y \succ X$      X         Y    

meets  $X \text{ m } Y \quad Y \text{ m- } X$      X         Y    

overlaps  $X \circ Y \quad Y \circ- X$      X         Y    

starts  $X \text{ s } Y \quad Y \text{ s- } X$      X         Y    

finishes  $X \text{ f } Y \quad Y \text{ f- } X$      Y         X    

during  $X \text{ d } Y \quad Y \text{ d- } X$      Y         X    

equal  $X \equiv Y \quad Y \equiv X$      X      
    Y

# Vokabular und Semantik

---

Wie üblich beschreiben wir *indefinite* Information durch Vereinigung von Relationen – geschrieben als Mengen von Basisrelationen, z.B.

$$X\{\mathbf{s}, \mathbf{d}, \mathbf{f}\}Y$$

$\rightsquigarrow 2^{13}$  mögliche Relationen (inkl.  $\mathbf{B}$  und  $\emptyset$ )

$\rightsquigarrow \mathcal{A} = 2^{\mathbf{B}}$

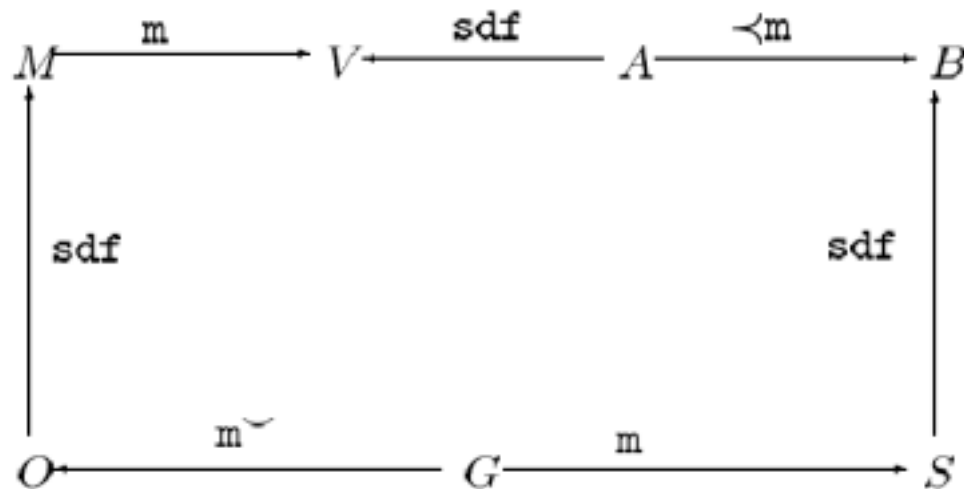
Eine Formel  $X R Y$  mit  $R \in \mathcal{A}$  heißt **Intervallformel**.

Mengen  $\Theta$  solcher Intervallformeln bilden Szenariobeschreibungen (= Intervall-CSPs)

Diese werden über *Paaren von rationalen Zahlen* interpretiert (= **Intervallinterpretationen**), die die möglichen Lösungen des CSPs darstellen.

# Das Beispiel nochmal...

## ... als CSP



### Zeitintervalle:

- M* morgens
- V* vormittags
- O* Mensa öffnet
- S* Mensa schließt
- G* Mensa ist geöffnet
- A* Vorlesung *A* findet statt
- B* Vorlesung *B* findet statt

### Aussagen:

- Implizit: *M* {*m*} *V*
- Implizit: *G* {*m~*} *O*
- Implizit: *G* {*m*} *S*
- 1: *O* {*s, d, f*} *M*
- 2: *A* {*s, d, f*} *V*
- 3: *A* {<, *m*} *B*
- 4: *S* {*s, d, f*} *B*
  
- Frage: *A* {*s, d, f*} *G?*

# Komposition von Basisrelationen

**Beispiel 1:**  $\prec \circ \prec$ .

D.h. In welcher Beziehung stehen  $X$  und  $Y$  falls

$X \prec Z$  und  $Z \prec Y$ .

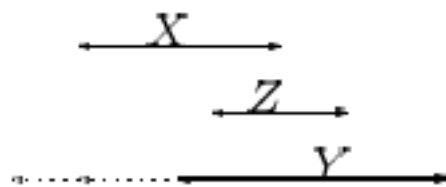
Da  $X^+ < Z^- < Z^+ < Y^-$  folgt  $X^+ < Y^-$

$\rightsquigarrow X\{\prec\}Y$

**Beispiel 2:**  $\circ \circ d$ .

D.h. In welcher Beziehung stehen  $X$  und  $Y$  falls

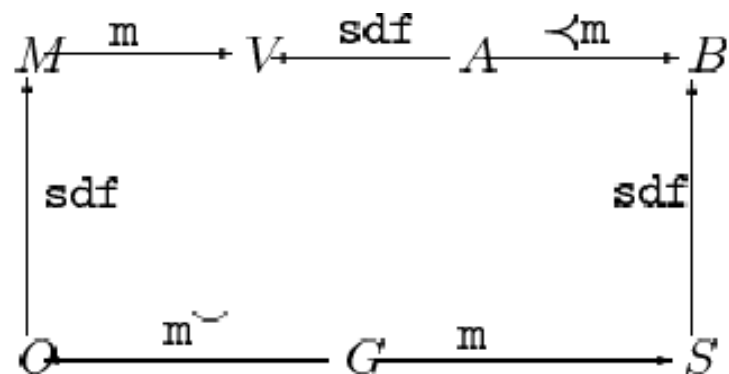
$X \circ Z$  und  $Z d Y$ .



$\rightsquigarrow X\{d, \circ, s\}Y$ .







$$\begin{aligned}
 & G\{m\tilde{\ } \} \circ \{s, d, f\}M \\
 \rightsquigarrow & G\{d, f, o\tilde{\ }, m\tilde{\ } \}M \\
 & G\{d, f, o\tilde{\ }, m\tilde{\ } \} \circ \{m\}V \\
 \rightsquigarrow & G\{\sphericalangle, m, o, d, f\tilde{\ }, s, s\tilde{\ }, \equiv\}V \\
 & G\{\sphericalangle, m, o, d, f\tilde{\ }, s, s\tilde{\ }, \equiv\} \circ (\{s, d, f\})\tilde{\ }A \\
 \rightsquigarrow & G\{\sphericalangle, m, o, d\tilde{\ }, f\tilde{\ }, s, s\tilde{\ }, \equiv\}A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & G\{m\} \circ \{s, f, d\}B \\
 \rightsquigarrow & G\{o, d, s, m\}B \\
 & G\{o, d, s, m\} \circ (\{\sphericalangle, m\})\tilde{\ }A \\
 \rightsquigarrow & G\{\sphericalangle, o\tilde{\ }, m\tilde{\ }, d\tilde{\ }, s\tilde{\ }, f, f\tilde{\ }, \equiv\}A
 \end{aligned}$$


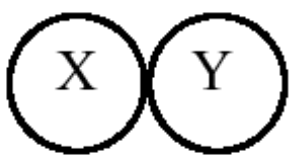

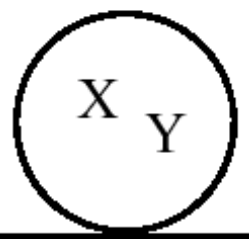
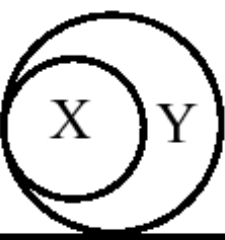
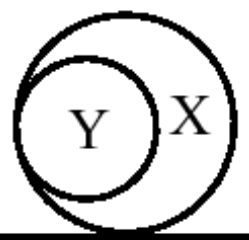

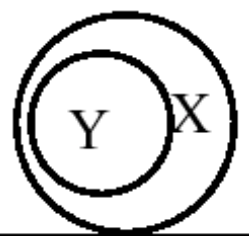
$$\rightsquigarrow G\{d\tilde{\ }, s\tilde{\ }, f\tilde{\ }, \equiv\}A$$

# Qualitative zeitliche Beziehungen

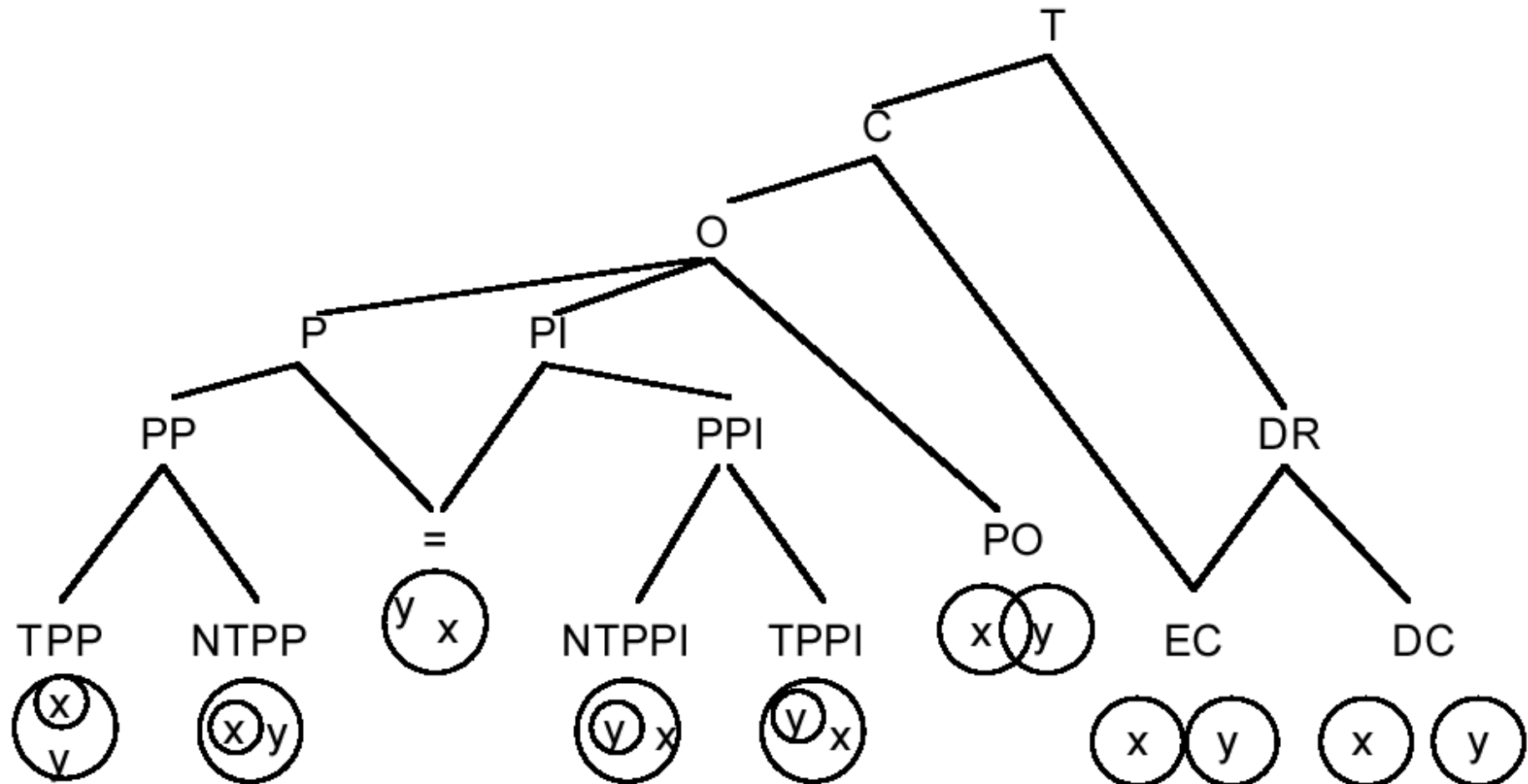
---

- Allen-Relationen
- Konsistenz von Allen-CSPs
  - Pfadkonsistenz  
(Pruning durch Anwendung der Kompositionstabelle)
  - Backtracking über Kombinationen von Basisrelationen
- Konsistenztest i.a. NP-vollständig
- Traktable Fragmente bestimmbar

# Qualitative räumliche Beziehungen

$DC(X, Y)$ DisConnected		$EC(X, Y)$ Externally Connected	
$PO(X, Y)$ Partially Overlapping		$EQ(X, Y)$ EQual	
$TPP(X, Y)$ Tangential Proper Part		$TPPI(X, Y)$ Tangential Proper Part Inverse	
$NTPP(X, Y)$ Non-Tangential Proper Part		$NTPPI(X, Y)$ Non-Tangential Proper Part Inverse	

# Hierarchie von Relationen



	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TPPi	NTPPi	EQ
DC	?	DR,PO, PP	DR,PO, PP	DR,PO, PP	DR, PO, PP	DC	DC	DC
EC	DR,PO, PPi	DR,PO, TPP,TPi	DR,PO, PP	EC,PO, PP	PO, PP	DR	DC	DC
PO	DR,PO, PPi	DR, PO, PPi	?	PO,PP	PO, PP	DR, PO, PPi	DR, PO, PPi	PO
TPP	DC	DR	DR,PO, PP	PP	NTPP	DR,PO, TPP,TPi	DR, PO, PPi	TPP
NTPP	DC	DC	DR,PO, PP	NTPP	NTPP	DR,PO, PP	?	NTPP
TPPi	DR,PO, PPi	EC,PO, PPi	PO,PPi	PO,TPP ,TPi	PO, PP	PPi	NTPPi	TPPi
NTPPi	DR,PO, PPi	PO,PPi	PO,PPi	PO,PPi	O	NTPPi	NTPPi	NTPPi
EQ	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TPPi	NTPPi	EQ

# Qualitative räumliche Relationen

---

- RCC-8-Relationen
- Konsistenz von RCC-8-CSPs
  - Pfadkonsistenz  
(Pruning durch Anwendung der Kompositionstabelle)
  - Backtracking über Kombinationen von Basisrelationen
- Konsistenztest i.a. NP-vollständig
- Traktable Fragmente bestimmbar

# Zusammenfassung, Kernpunkte



- Qualitatives Schließen
  - Zeit: Intervalle, Allen-Relationen
  - Raum: Topologische Relationen, RCC-8
- Kopplung mit Beschreibungslogiken:  $ALCRP(D)$
- Einsichten:
  - Schließen mit und über Relationen notwendig
  - Transitivität ist nicht genug!