

# Grundlagen der Verarbeitung von Wissen über Raum, Zeit und Ereignisse

## 5. Sitzung

### Situationen, Situationsarten, Situationstypen Situationsstrukturen

#### Gliederung

- Natürlichsprachliche Mittel des Zeit- und Situationsbezugs
- Situationsarten: Zustände, Ereignisse, Prozesse
- Situationsindividuen und -typen: Struktur von Situationsbeschreibungen
- Situationsstrukturen
- Ereigniskalkül nach Kowalski & Sergot (1986)

### Beispiel: Informationsextraktion aus Texten Temporales tagging

[Schilder & Habel, 2001]

#### Financial Times Deutschland

{ftd.de} {Fr} {16.3.2001} {11:00}

Schering: US-Geschäft **trübt** die Bilanz

{Nach einem Rekordjahr 2000} **erwartet** der Pharmakonzern Schering auch {für 2001} wieder ein zweistelliges Gewinnwachstum. In den USA **brach** das Betriebsergebnis {im vergangenen Jahr} jedoch ein.

{Im vergangenen Jahr} **steigerte** Schering seinen Konzerngewinn um 24 Prozent auf 336 Mio. Euro. Es **war** {das fünfte Rekordjahr} in Folge für das Berliner Traditionsunternehmen. Mit einem Umsatzanstieg von 22 Prozent auf 4,5 Mrd. Euro **sai** Schering doppelt so schnell wie der weltweite Pharmamarkt gewachsen, **sagte** Vorstandschef Giuseppe Vita {am Freitag} bei der Vorlage der Bilanz {2000}. Mit neuen Produkten **wolle** das Unternehmen auch weiterhin Marktanteile **zugewinnen**. Das Betriebsergebnis **stieg** {im vergangenen Jahr} um 19 Prozent auf 640 Mio. Euro (1,23 Mrd. DM). {2001} **werde** es wegen hoher Marketingkosten für neu eingeführte Produkte aber nur einstellig **wachsen**, **kündigte** Finanzvorstand Klaus Pohle an.

- Zielsetzung: Berücksichtigung der zeitlichen Struktur der im Text kommunizierten Inhalte
- Fokussierte sprachliche Mittel
  - Nominalphrasen und Temporaladverbien
  - Verben

---

## Natürlichsprachliche Mittel des Zeitbezug: Adverbien & Konjunktionen

---

### Temporaladverbien / Präpositionalphrasen

- i.e.S. / datierend (*gestern, bald, nach dem Spiel, während der Vorlesung*)
- Durativadverbial (*stundenlang, seit fünf Uhr, bis zum Urlaub*)
- Zeitrahmenadverbial (*innerhalb von 10 Minuten*)
- Frequenzadverbial (*dreimal, immer wieder, oft, mehrmals*)

### temporale Konjunktionen

(bilden mit dem Nebensatz ein Temporaladverbial)

- i.e.S. / datierend (*als, wenn, während, bevor, nachdem, sobald*)
- durativ (*seitdem, bis, solange*)

### Text- / Diskursstruktur

---

## Natürlichsprachliche Mittel des Zeitbezug: Tempus & Aspekt

---

### Tempus

- absolut: Präsens (*er schläft*), Präteritum (*er schlief*), Futur (*er wird schlafen*)
- relativ: Partizip Perfekt (*geschlafen (haben)*)
- zusammengesetzt: Präsens-Perfekt (*er hat geschlafen*), Plusquamperfekt oder Präteritum-Perfekt (*er hatte geschlafen*), Futur-Perfekt (*er wird geschlafen haben*)

### Aspekt / Aktionsart

- Perfektiv (*er betrat das Zimmer; He entered the room.*)
- Imperfektiv (*er schlief; He was sleeping; Er war am Schlafen*)

---

## Perfektiver Aspekt / Aktionsart

---

- Situationen als begrenztes / abgeschlossenes Ganzes, ohne Thematisierung des Verlaufes
  - **+dynamisch**: Veränderungen
  - **heterogen**: Teilereignisse unterscheiden sich vom Gesamtereignis
- Unterarten
  - **Zustandswechsel**  
*die Mannschaft wechselte den Trainer*
  - **Ingressiv**  
*er betrat das Zimmer; er bestieg den Berg*
  - **Egressiv**  
*er verlies das Zimmer; er entkorkte die Flasche*
  - **Intergressiv**  
*es blitzte; er traf den Pfosten; er las ein Buch*

---

## Tests für perfektiven Aspekt / Aktionsart

---

### Kompatibilität

- **Zeitrahmenadverbial**  
*innerhalb von 5 Minuten betrat er das Zimmer*
- **Frequenzadverbial**  
*es blitzte dreimal.*

### Inkompatibilität

- **Durativadverbial**  
*Stundenlang betrat er das Zimmer / wechselte die Mannschaft den Trainer.*  
*\* He entered the room for hours.*

---

## Imperfektiver Aspekt / Aktionsart

---

- Situation in ihrem Verlauf,  
ohne Thematisierung der Begrenztheit / Abgeschlossenheit
  - **homogen**: Teilabschnitte ähneln der Gesamtsituation
- Unterarten
  - **Zustand**  
*er lag im Bett*
  - **Prozess**  
*er wanderte*
  - **iterativer Vorgang**  
*er hustet (immer wieder)*
  - **habituellem Vorgang**  
*er raucht*

---

## Tests für imperfektiven Aspekt / Aktionsart

---

### Kompatibilität

- **Durativadverbial**  
*Stundenlang lag er im Bett, jahrelang hat er geraucht*

### Inkompatibilität / Uminterpretation

- **Zeitrahmenadverbial**  
*innerhalb von 5 Minuten lag er im Bett (→ ingressiv)*  
*\*He was lying in his bed in five minutes.*
- **Frequenzadverbial**  
*Er lag dreimal im Bett. (→ maximale Phasen)*  
*\*Three times, he was lying in his bed.*

## Aspekt in der natürlichen Sprache

### Aspektuelle Unterschiede

- beziehen sich auf die sprachliche *Darstellung / Beschreibung* der Situation, nicht auf deren (ontologische) Charakteristika.
  - (Fast) jede Situation kann perfektiv und imperfektiv dargestellt werden.
- John wrote that article yesterday. While he was writing it, his girlfriend came.*

### Aspekt-/Aktionsartenanpassung

- Durch Adverbiale
  - *Innerhalb eines Jahres war Hans [dreimal] krank.*
- Durch Charakteristika von Objekt(-bezeichnungen)
  - *lesen vs. ein Buch lesen*
  - *einen Berg besteigen vs. Berge besteigen*
- Durch anpassende Interpretation (wegen Plausibilität)
  - Iteration: *fünf Stunden lang aufwachen*
  - Ingressiv: *innerhalb von fünf Minuten im Bett liegen*
  - Phasenbildung: *dreimal krank sein*

## Arten von Situationsbeschreibungen

Typ	Punkt – Periode	Ver- änderung	Zeitbezug	Aspekt
<b>Zustands- beschreibungen</b> <i>schlafen, liegen, müde sein</i>	Punkt- und Perioden- bezogen	keine: –dyn	homogen: für alle Teilintervalle und Punkte gilt der Zustand auch	im- perfektiv
<b>Prozess- beschreibungen</b> <i>laufen, betrachten, schreiben, suchen</i>	Perioden- bezogen, niemals punktuell	kontinuier- lich: +dyn	beschränkt homogen: in gewissen Teilintervallen findet der Prozess auch statt	im- perfektiv
<b>Ereignis- beschreibungen</b> <i>betreten, blitzen, ein Buch schreiben, finden</i>	punktuell oder ausgedehnt	eine: +dyn	heterogen: in Teilintervallen findet das Ereignis nicht statt	perfektiv

---

## Situationsbezüge in der natürlichen Sprache

---

### Anaphern

- *Hans war gestern im Zoo. Das hat ihm viel Spaß gemacht.*

### Nomen und Nominalisierungen

- *der Unfall, der Krieg*
- *die Besteigung des Mount Everest, die Geburt, der Schlaf*
- *das Schlafen, das Laufen, das Sitzen*
- *die Rennerei, das Gerenne*

### Adverbien

- Davidson (1967): Situationen (Ereignisse) als eigenständige Entitäten

*John buttered the toast in the bathroom with a knife at midnight.*

butter\_ev(J, T, B, K, M)

butter\_ev(e)  $\wedge$  agent(e, J)  $\wedge$  object(e, T)  $\wedge$  place(e, B)  $\wedge$  tool(e, K)  $\wedge$  time(e, M)

→ Es liegt nahe, Situationen als eigenständige Individuen zu behandeln, die wir benennen und beschreiben können.

→ Reifizierung / Reifikation von Situationsindividuen

---

## Zeit und Situationen in der natürlichen Sprache: Ein Fazit

---

### Verben und Verbalphrasen

- Verschiedene Mittel zur Kodierung (unterschiedlicher Arten) temporaler Information
- Teil des grammatischen Inventars (z.B. Tempus- / Aspekt-Morpheme)
- Tempus unterscheidet temporale Einordnungen
- Aspekt / Aktionsart unterscheidet Situationsarten / Sichten auf Situationen

### Nomen

- Pronomen und Nominalphrasen können auf Situationen verweisen
- Nominalisierungen sind ein systematisches Mittel für die individuierende Bezugnahme auf Situationen.
- Nominale (individuierende) Bezugnahme wird als Indiz für die Existenz von Individuen, auf die Bezug genommen wird, gesehen

### Das Deutsche

- Keine expliziten Aspektmarkierungen
- Subkategorisierung von Verben nach Aktionsart
- Interpretationsvariabilität hinsichtlich Aspekt

---

## Struktur von Situationsbeschreibungen (1)

---

### Situationsbeschreibungen ordnen Situationsindividuen inhaltliche und temporale Eigenschaften zu

- Datierung von Situationsindividuen durch Abbildung in die Zeit ( $\tau$ )
  - Verschiedene Situationen können übereinstimmende Eigenschaften aufweisen.
    - *Hans war im Zimmer.*  $\tau(s_1) < t^* \wedge \text{in}(s_1, \text{Hans}, \text{Zimmer})$
    - *Hans betrat das Zimmer.*  $\tau(s_2) < t^* \wedge \text{betritt}(s_2, \text{Hans}, \text{Zimmer})$
- Formaler Unterschied zwischen Teilsituationen und Situationen, die in derselben Zeit stattfinden.  
(Die ersten fünf Schritte sind Teil des Spaziergangs, dass gleichzeitig in China ein Vogel singt, nicht)  
 $s \sqsubseteq s'$  vs.  $\tau(s) \sqsubseteq \tau(s')$
- Homogenität  
 $\forall s s' [\text{in}(s', \text{Hans}, \text{Zimmer}) \wedge s \sqsubseteq s' \rightarrow \text{in}(s, \text{Hans}, \text{Zimmer})]$

Diese und nächste Sitzung (Ereigniskalkül, Situationskalkül)

---

## Struktur von Situationsbeschreibungen (2)

---

### Situationsbeschreibungen verbinden Situationstypen mit Gültigkeitszeiten

#### Situationstypen als Relationen / Prädikate mit Zeit-Argument

- *Hans war im Zimmer.*  $t_1 < t^* \wedge \text{in}(t_1, \text{Hans}, \text{Zimmer})$
  - *Hans betrat das Zimmer.*  $t_2 < t^* \wedge \text{betritt}(t_2, \text{Hans}, \text{Zimmer})$
- Homogenität  
 $\forall t t' [\text{in}(t', \text{Hans}, \text{Zimmer}) \wedge t \sqsubseteq t' \rightarrow \text{in}(t, \text{Hans}, \text{Zimmer})]$

#### Reifizierte Situationstypen

- *Hans war im Zimmer.*  $t_1 < t^* \wedge \text{holds}(t_1, \text{in}(H, Z))$
  - *Hans betrat das Zimmer.*  $t_2 < t^* \wedge \text{occurs}(t_2, \text{betritt}(H, Z))$
- Homogenität  
 $\forall t t' [\text{holds}(t', s) \wedge t \sqsubseteq t' \rightarrow \text{holds}(t, s)]$

Übernächste Sitzung (McDermotts Zeitlogik, Allen-Ansatz)

---

## Situationsindividuen und Situationstypen

---

### Situationsindividuen/token

- haben eine feste Zeitzuordnung (Datum), Ort, Teilnehmer, ...
- sind nicht wiederholbar
- sind temporal zusammenhängend
- übliche Darstellung: Terme / Namen / Individuenvariablen

### Situationstypen

- können mehrere Zeitzuordnungen haben (Gültigkeitszeiten)
- sind wiederholbar
- Gültigkeitszeit muss nicht zusammenhängen
- übliche Darstellung: Prädikate über Zeiten

### Arten von Situationsbeschreibungen

- basieren auf Unterschieden zwischen Situationsindividuen (Sortierung von Individuen)
- oder
- basieren auf Unterschieden zwischen Situationstypen hinsichtlich ihrer Interaktion mit der Zeitstruktur (Monotonie, Homogenität)

---

## Zusammenfassung: Situationen und Situationstypen

---

### Situationsartenunterscheidung

- $\pm$ Dynamik, Veränderung: Zustände vs. Ereignisse & Prozesse
- $\pm$ Homogenität, Gleichförmigkeit: Ereignisse vs. Zustände & Prozesse
- natürliche Sprache: Aspekt und Aktionsarten

### Situationsindividuen vs. Situationstypen

- Struktur der Repräsentation
- Token vs. Type, Individuum vs. Eigenschaft
- Einmaligkeit vs. Wiederholbarkeit
- natürliche Sprache: Referenz auf Situationen, Anbindung optionaler Informationen



Es gibt in der KI / Informatik keine einheitliche, etablierte Terminologie zur Bezugnahme auf die Situationsarten und -typen und Arten von Typen.

---

## Zeitontologie III: Situationsstrukturen (nach Kamp, 1979)

---

[Def] Eine **Situationsstruktur**  $\mathcal{E} = \langle E, <, \asymp \rangle$  ist ein geordnetes Tripel mit einer nichtleeren Menge  $E$  (die Situationsindividuen) und zwei binären Relationen über  $E$ : **temporale Präzedenz** ( $<$ ) und (partielle) **Simultanität** oder Überlappung ( $\asymp$ ).

→ werden häufig auch als ‚Ereignisstrukturen‘ bezeichnet

- (Im weiteren sind  $<, \asymp$  die formalsprachlichen Gegenstücke zu  $<, \asymp$ )

### Weitere Bedingungen

[Asym ( $<$ )]  $\forall e_1 e_2 [e_1 < e_2 \rightarrow \neg e_2 < e_1]$

[Symm ( $\asymp$ )]  $\forall e_1 e_2 [e_1 \asymp e_2 \rightarrow e_2 \asymp e_1]$

[Refl ( $\asymp$ )]  $\forall e [e \asymp e]$

[Separiert]  $\forall e_1 e_2 [e_1 < e_2 \rightarrow \neg e_1 \asymp e_2]$

[allg. Trans]  $\forall e_1 e_2 e_3 e_4 [e_1 < e_2 \wedge e_2 \asymp e_3 \wedge e_3 < e_4 \rightarrow e_1 < e_4]$

[Linearität]  $\forall e_1 e_2 [e_1 < e_2 \vee e_1 \asymp e_2 \vee e_2 < e_1]$

---

## Zeitontologie III: Situationsstrukturen (Kamp, 1979) – Forts.

---

### Theoreme

$\forall e_1 e_2 [e_1 \asymp e_2 \leftrightarrow \neg(e_1 < e_2 \vee e_2 < e_1)]$

[Trans ( $<$ )]  $\forall e_1 e_2 e_3 [e_1 < e_2 \wedge e_2 < e_3 \rightarrow e_1 < e_3]$

→ Die Aufgabe von Linearität erlaubt eine mereologische Deutung von  $\asymp$  (Überlappung)

→ Die Struktur der Zeit ergibt sich als Abstraktion aus der Struktur der Situationen

---

## Situationsstrukturen (temporal und mereologisch)

---

[Def] Eine Situationsstruktur  $\mathcal{E} = \langle E, <, \sqsubseteq \rangle$  ist ein geordnetes Tripel mit einer nichtleeren Menge  $E$  und zwei binären Relationen über  $E$ : temporale Präzedenz ( $<$ ) und Teil-von ( $\sqsubseteq$ ).

[D  $\asymp$ ]  $e_1 \asymp e_2 \leftrightarrow \text{def } \neg(e_1 < e_2 \vee e_2 < e_1)$

[D  $\circ$ ]  $e_1 \circ e_2 \leftrightarrow \text{def } \exists e_3 [e_3 \sqsubseteq e_1 \wedge e_3 \sqsubseteq e_2]$

### Weitere Bedingungen

[Asym ( $<$ )]  $\forall e_1 e_2 [e_1 < e_2 \rightarrow \neg e_2 < e_1]$

[allg. Trans]  $\forall e_1 e_2 e_3 e_4 [e_1 < e_2 \wedge e_2 \asymp e_3 \wedge e_3 < e_4 \rightarrow e_1 < e_4]$

[TRANS( $\sqsubseteq$ )]  $\forall e_1 e_2 e_3 [e_1 \sqsubseteq e_2 \wedge e_2 \sqsubseteq e_3 \rightarrow e_1 \sqsubseteq e_3]$

[REF( $\sqsubseteq$ )]  $\forall e [e \sqsubseteq e]$

[ANTIS( $\sqsubseteq$ )]  $\forall e_1 e_2 [e_1 \sqsubseteq e_2 \wedge e_2 \sqsubseteq e_1 \rightarrow e_1 = e_2]$

[vRef( $\asymp, \circ$ )]  $\forall e_1 e_2 [e_1 \circ e_2 \rightarrow e_1 \asymp e_2]$

- Die Struktur der Zeit ergibt sich als Abstraktion aus der Struktur der Situationen
- Linearität:  $\asymp$  muss als (partielle) Simultanität gedeutet werden

---

## Modellierung zeitlicher Aussagen in der KI

---



In jedem Ansatz findet sich ein eigenes Verständnis der Ausdrücke ‚Ereignis‘, ‚Situation‘, ‚Zustand‘, ‚Fakt‘, ‚Proposition‘ etc.



→ Überprüfe stets, was der Autor wohl meint!



In vielen (alten) Ansätzen steht eine Situationsart im Vordergrund und die anderen werden ignoriert oder darauf aufgebaut.



→ Ist der Ansatz dem Ziel / der Anwendung angemessen?



Unterscheidung zwischen der Repräsentation von Veränderungen der Welt und der Veränderung der Repräsentation der Welt



→ Erfolgt in frühen Ansätzen nicht systematisch: Löschen nicht mehr gültiger Aussagen

Ist auch in anderen Bereichen (Datenbanken) ein zentrales Problem

---

## Der Ereigniskalkül von Kowalski & Sergot (1986)

---

- Repräsentation von *Ereignissen* und *Gültigkeitsperioden* (“time periods”)
  - Ereignisse und Gültigkeitsperioden sind nicht-wiederholbare Individuen.
  - Einem Fakt können mehrere Gültigkeitsperioden zugeordnet sein (Typen).
  - Gültigkeitsperioden von Fakten werden durch Ereignisse ausgelöst und beendet.
  - Das Stattfinden von Ereignissen impliziert die Existenz von Gültigkeitsperioden für bestimmte Fakten.
- Ereignisse werden nicht als Änderungen der Faktengültigkeit verstanden, sondern Änderungen der Faktengültigkeit als Resultat von Ereignissen.
- Die Gültigkeit von Fakten ist immer an das Stattfinden von Ereignissen gebunden.

---

## Der Ereigniskalkül von Kowalski & Sergot (1986) – Forts.

---

### Charakteristika

- Schlussverfahren im Rahmen der Logik-Programmierung
- Monotonie im Datenbestand: ausschließlich *Hinzufügen* neuer Informationen
- statt Löschung von Fakten gibt es Informationen über das Ende ihrer Gültigkeit
- Nichtmonotonie im Inferenzverhalten: Defaults über Negation-by-failure (PROLOG)

### Anwendungen

- Aktualisierung von Daten- /Wissensbanken
- Verstehen narrativer Texte
- Monitoring komplexer Abläufe

---

## Beispiel

---

### Text / "Erzählung"

- (1) *Mary was hired as a lecturer on 10 May 1970.*
- (2) *John left as lecturer on 1 June 1975.*
- (3) *Mary left as professor on 1 October 1980.*
- (4) *Mary was promoted from lecturer to professor on 1 June 1975.*

### Entsprechende Einträge über Ereignisse in der Datenbasis

Hire(Mary, lecturer, e1)	Time(e1, 10.May 1970)
Leave(John, lecturer, e2)	Time(e2, 1.June 1975)
Leave(Mary, professor, e3)	Time(e3, 1.Oct. 1980)
Promote(Mary, lecturer, professor, e4)	Time(e4, 1.June 1975)

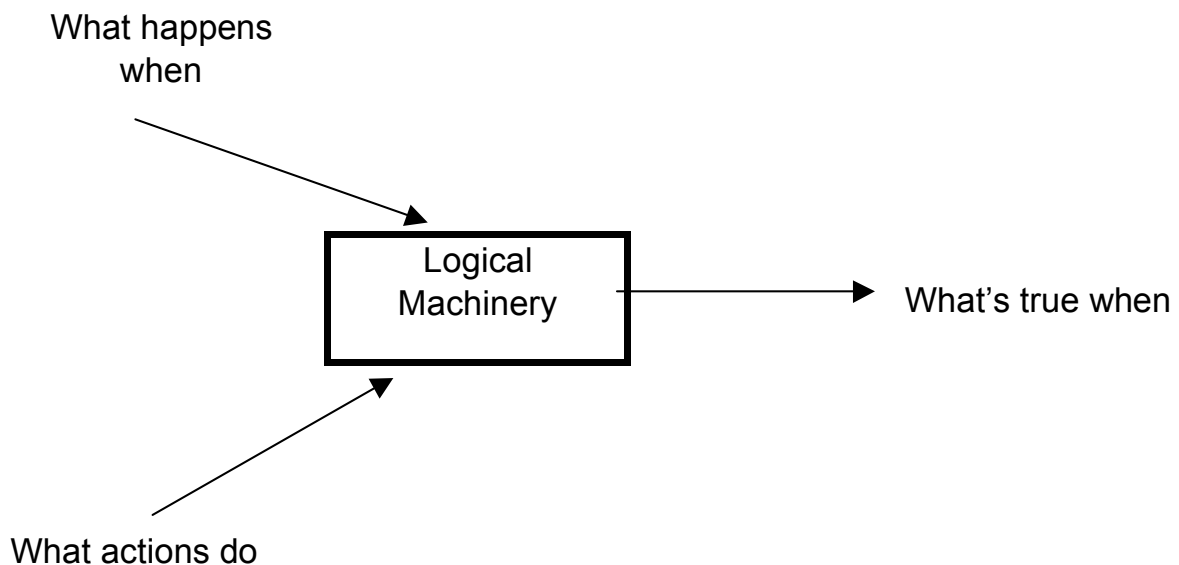
### Zeitliche Relationen zwischen den Ereignissen

$e1 < e2$	$e1 < e3$	$e1 < e4$
$e2 < e3$	$e2 \asymp e4$	$e4 < e3$

---

## Grundschema des Schließens im Event-Kalkül

---



---

## Textverstehen

---

- **Bestimmung der relativen zeitlichen Positionen** von Ereignissen und Gültigkeitsperioden von Fakten
- Die Wissensanreicherung muss nicht in der gleichen Reihenfolge wie die zugrundeliegenden Ereignisse geschehen.
  - Wissen über die Vergangenheit kann auch nachträglich präzisiert werden.
- Regeln definieren, wie Fakten und ihre Gültigkeitsperioden mit Ereignissen assoziiert sein können und wie die Perioden miteinander in Beziehung stehen.

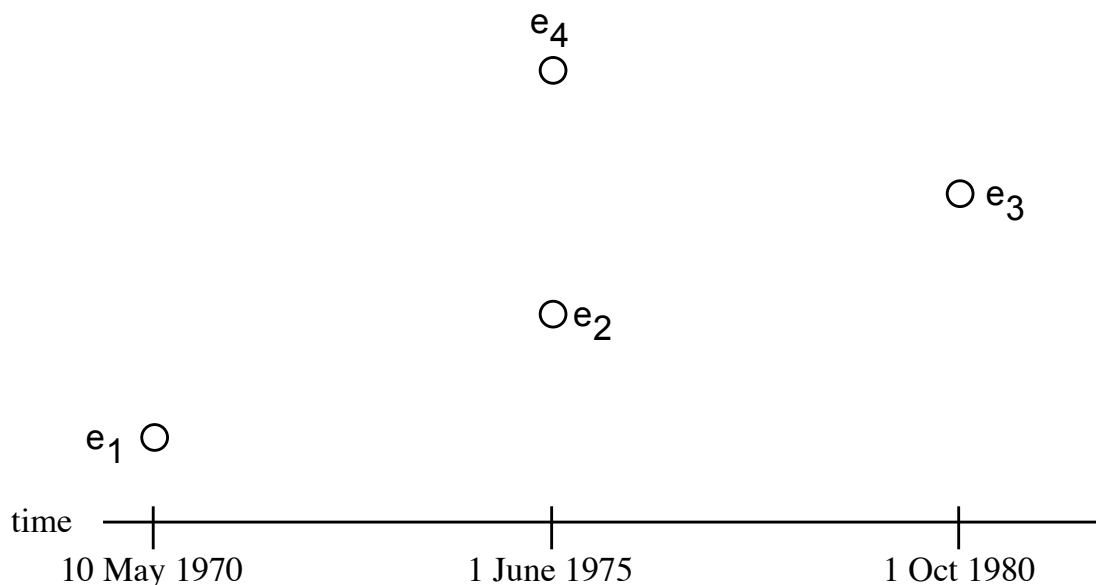
### Beispiel

- **e<sub>4</sub>** Ereignis von Marys Beförderung von der Dozentin zur Professorin
- **f<sub>1</sub>** Fakt, dass Mary Dozentin ist (wird ungültig durch **e<sub>4</sub>**)
- **f<sub>2</sub>** Fakt, dass Mary Professorin ist (wird gültig durch **e<sub>4</sub>**)
- **p<sub>1</sub>** die Phase, in der Mary Dozentin ist und die durch **e<sub>4</sub>** beendet wird
- **p<sub>2</sub>** die Phase, in der Mary Professorin ist und die durch **e<sub>4</sub>** begonnen wird

---

## Ereignisse in der zeitlichen Ordnung

---



---

## Von Ereignissen zu Gültigkeitsperioden

---

### Ereignisse starten und beenden Gültigkeitsperioden

- Jedes Ereignis  $e$  beendet seine charakteristische Vorperiode  $\text{before}(e)$
- Jedes Ereignis  $e$  startet seine charakteristische Nachperiode  $\text{after}(e)$ 
  - Start( $\text{after}(e)$ ,  $e$ )
  - End( $\text{before}(e)$ ,  $e$ )



---

### Regeln zu den Anstellungs-, Verlassens- und Beförderungereignissen

---

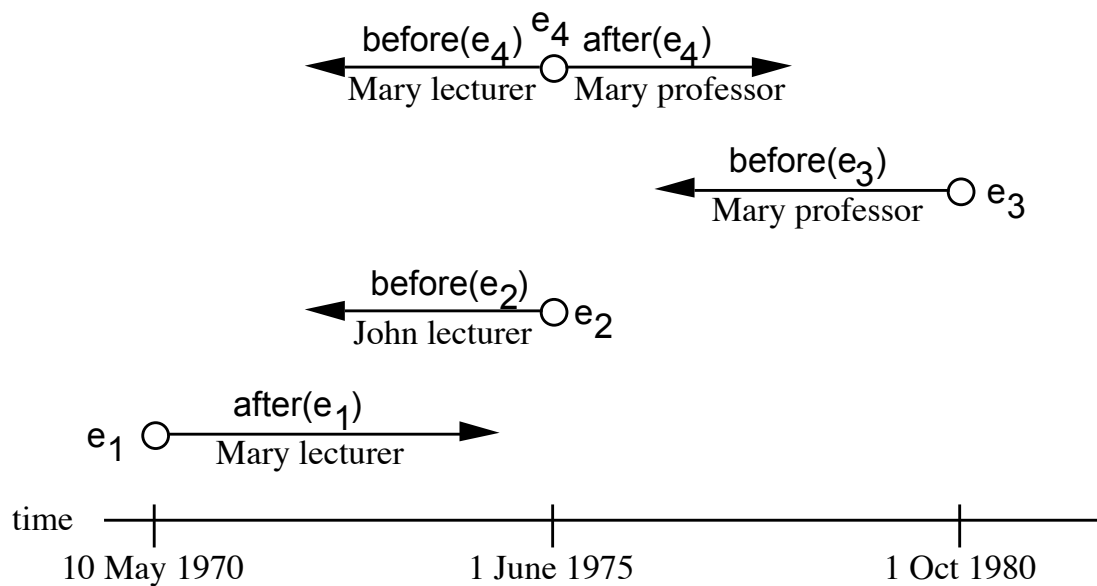
- Das Anstellungsereignis  $e$  von  $x$  als  $y$  startet eine Periode in der  $x$  die Position  $y$  hat.  
 $\text{Hire}(x, y, e) \rightarrow \text{Rank}(x, y, \text{after}(e))$
- Das Verlassen  $e$  von  $x$  als  $y$  beendet eine Periode in der  $x$  die Position  $y$  hat.  
 $\text{Leave}(x, y, e) \rightarrow \text{Rank}(x, y, \text{before}(e))$
- Die Beförderung  $e$  von  $x$  von einem  $y$  zu einem  $z$  beendet eine Periode in der  $x$  die Position  $y$  hat und startet eine Periode in der  $x$  die Position  $z$  hat.  
 $\text{Promote}(x, y, z, e) \rightarrow \text{Rank}(x, y, \text{before}(e))$   
 $\text{Promote}(x, y, z, e) \rightarrow \text{Rank}(x, z, \text{after}(e))$

! Diese Notation wird später verworfen!

---

## Ereignisse und Gültigkeitsperioden

---



---

## Defaultregeln

---

- Über viele Zusammenhänge haben wir **kein sicheres Wissen**, treffen aber dennoch **(sinnvolle) Annahmen**.
- partielle Information über Ereignisse, Fakten und Zeiten
- Default-Schlüsse müssen automatisch zurückgenommen werden, wenn sie sich durch Hinzufügen neuer, spezifischer Informationen als unzutreffend erweisen.
- Diese Forderung an Default-Systeme ist unabhängig von der Domäne  
*Raum, Zeit & Ereignisse*

---

## Ein Default-Schluss in der Anstellungsdomäne

---

- Die Identität von Gültigkeitsperioden lässt sich über ihren Gehalt und die temporale Ordnung ihrer Start- bzw. Endereignisse bestimmen.

$$\begin{aligned} & \text{Rank}(x, y, \text{after}(e)) \wedge \text{Rank}(x, y, \text{before}(e')) \wedge e < e' \wedge \\ & \text{NOT}(e < e^* \wedge e^* < e' \wedge \\ & (\text{Rank}(x, y', \text{after}(e^*)) \vee \text{Rank}(x, y', \text{before}(e^*)))) \\ & \rightarrow \text{after}(e) = \text{before}(e') \end{aligned}$$

- “Es kann (beim derzeitigen Stand des Wissens) nicht gezeigt werden, dass zwischendurch ein Ereignis stattfand, das den Rang von x betraf.”

- NOT als Negation durch Fehlschlag
- Korrespondiert zu anderen Ansätzen des nicht-monoten Schließens.

---

## Beispiel

---

Rank(Mary, lecturer, after(e1))

Rank(Mary, lecturer, before(e4)) e1 < e4 < e3

Rank(Mary, professor, after(e4))

Rank(Mary, professor, before(e3))

$$\begin{aligned} & \text{Rank}(Mary, \text{lect.}, \text{after}(e1)) \wedge \text{Rank}(Mary, \text{lect.}, \text{before}(e4)) \wedge e1 < \\ & e4 \wedge \text{NOT}((\text{Rank}(Mary, y', \text{after}(e^*)) \vee \\ & \text{Rank}(Mary, y', \text{before}(e^*))) \wedge \\ & e1 < e^* \wedge e^* < e4) \rightarrow \text{after}(e1) = \text{before}(e4) \end{aligned}$$

entsprechend ...  $\rightarrow \text{after}(e4) = \text{before}(e3)$

### Substitutionsregeln

$\text{after}(e) = \text{before}(e') \rightarrow \text{Start}(\text{before}(e'), e)$

$\text{after}(e) = \text{before}(e') \rightarrow \text{End}(\text{after}(e), e')$

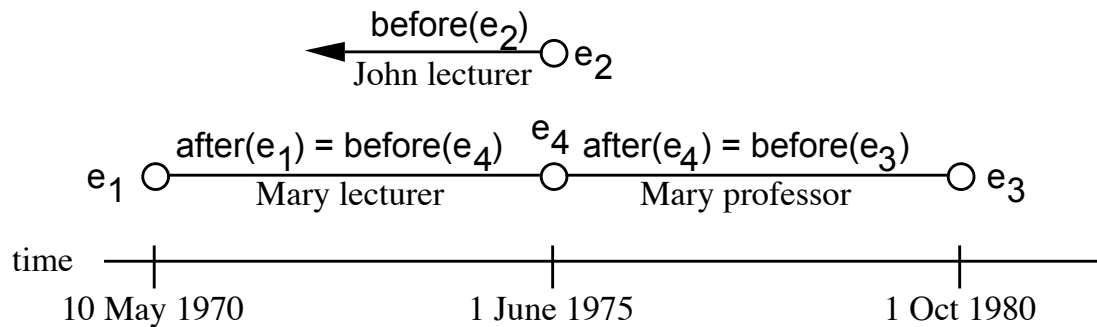
→  $\text{Start}(\text{before}(e3), e4)$        $\text{End}(\text{after}(e4), e3)$

$\text{End}(\text{after}(e1), e4)$        $\text{Start}(\text{before}(e4), e1)$

---

## Resultat der Identifizierung von Gültigkeitsperioden

---



---

## Gültigkeitsperioden und Fakten

---

- **after( $e$ ) = before( $e'$ )** legt die Gültigkeitsperiode für den Fakt, der durch Ereignis  $e$  ausgelöst und durch Ereignis  $e'$  wieder aufgehoben wird, zeitlich fest.
- Ein Fakt gilt zu allen Zeitpunkten innerhalb einer zugehörigen Gültigkeitsperiode.
- Gültigkeitsperioden sind zeitlich zusammenhängend und begrenzt.
- Gültigkeitsperioden sind maximal: vorher und hinterher gilt das zugehörige Fakt (erstmal) nicht.

---

## Zeitpunkte

---

- Gültigkeit zu einem Zeitpunkt ergibt sich aus der Gültigkeit in einer Periode

$\text{Rank}(x, y, p) \wedge t \text{ in } p \rightarrow \text{RankAt}(x, y, t)$

- Allgemein

$\text{Start}(p, e) \wedge \text{End}(p, e') \wedge$

$\text{Time}(e, t_1) \wedge \text{Time}(e', t_2) \wedge t_1 < t \wedge t < t_2 \rightarrow t \text{ in } p$

- Default-Nutzung

$\text{Start}(p, e) \wedge \text{Time}(e, t_1) \wedge$

$t_1 < t \wedge \text{NOT}(\text{End}(p, e')) \rightarrow t \text{ in } p$

---

## Ein Ereignis – mehrere Fakten – mehrere Gültigkeitsperioden

---

“John drove his car to the airport.”

- Dieses Ereignis startet zwei distinkte Gültigkeitsperioden
  - die Periode, zu der sich John am Flughafen befindet,
  - die Periode, zu der sich Johns Auto am Flughafen befindet.
- Diese Perioden können unterschiedliche Dauer haben,
  - John kann mit dem Flugzeug fortfliegen, während sein Auto dort bleibt
  - Johns Auto kann abgeschleppt werden, während er auf einen Fluggast wartet.

---

## Neue Notation für Gültigkeitsperioden

---

- Der Term  $\text{after}(e)$  reicht nicht, um die verschiedenen durch  $e$  gestarteten Perioden zu benennen.
  - Gültigkeitsperioden werden nun durch Terme der Form  $\text{after}(e, u)$  und  $\text{before}(e, u)$  benannt. Der zweite Parameter dient der Unterscheidung verschiedener Fakten
    - $\text{after}(E, \text{at}(\text{John}, \text{airport}))$
    - $\text{after}(E, \text{at}(\text{car-of}(\text{John}), \text{airport}))$
- Gültigkeitsperioden sind damit eindeutig mit dem zugehörigen Fakt verbunden.
- Weitere Generalisierungen werden möglich und erforderlich

---

## Ereigniskalkül: Zusammenfassung und Diskussion (1)

---

- Ereignisse werden individuell repräsentiert und zeitlich eingeordnet.
- Gültigkeitsperioden werden individuell repräsentiert: ununterbrochen und maximal.
- Partielle Information ist darstellbar.

### Schlussverfahren des Ereigniskalküls

- sukzessive / monotone Informationsanreicherung über Ereignisse und Fakten
- Aktuelle Diskussion zu temporalen / historischen Datenbanken
- nicht-monotone Schlussverfahren realisieren Standardannahmen
- keine Unterscheidung von gültigen Inferenzen und Default-Schlüssen

### Unklar oder nicht berücksichtigt

- Struktur der Zeit (was repräsentieren die Datumsangaben?)
- gleichförmige Veränderungen (Prozesse)
- Monotoniebedingungen von Gültigkeitszeiten
- Können Gültigkeitsperioden verschiedener Fakten identisch sein (wenn sie temporal zufällig ununterscheidbar sind)?
- Dass ein Fakt gilt, kann nur in Zusammenhang mit dem auslösenden oder beendenden Ereignis repräsentiert werden.
- Situationen werden immer mit ihren Begrenzungen erfasst
- eigentlich nur Ereignisse

---

## Ereigniskalkül nach Shanahan (1997)

---

### Ontologie

- Fortführung der Behandlung von Ereignisindividuen
- Gültigkeitsperioden werden nicht mehr als Individuen behandelt, Entsprechende Aussagemöglichkeiten werden durch neue Relationen geschaffen
- Zeitmodell punktbasiert

### Sprache / Terminologie

- stärkere Anlehnung an andere Ansätze (Situationskalkül, Allen-Ansatz) die wir in den nächsten Sitzungen behandeln
  - Fluent: Aussage mit zeitlich variierendem Wahrheitswertverlauf
  - (Initiale) Weltbeschreibung:  $\text{InitiallyP}(f)$ ,  $\text{InitiallyN}(f)$ ,  $\text{HoldsAt}(f, t)$ ,  $\text{Clipped}(t1, f, t2)$ ,  $\text{Declipped}(t1, f, t2)$
  - Ereignisse finden statt:  $\text{Happens}(e, t)$ ,  $\text{Happens}(e, t1, t2)$
  - Ereignisse Verändern die Welt:  $\text{Initiates}(e, f, t)$ ,  $\text{Terminates}(e, f, t)$ ,  $\text{Releases}(e, f, t)$

- Davidson, Donald (1967): The logical form of action sentences. In: N. Rescher (ed.): *The Logic of Decision and Action*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press. 81–95. (repr. in: D. Davidson (1980): *Essays on Action and Events*. Oxford: Oxford UP. 105–148.)
- Kamp, Hans (1979): Events, instants, and temporal reference. In: R. Bäuerle, U. Egli & A. von Stechow (eds.): *Semantics from Different Points of View*. Berlin: Springer. 376–417.
- Kowalski, Robert & Marek Sergot (1986): A logic-based calculus of events. *New Generation Computing* 4. 67–95.
- Shanahan, Murray (1990). Representing continuous change in the event calculus. In *Proceedings of the 9th ECAI-90* (pp. 598–603).
- Miller, R. & M. Shanahan (1996). Reasoning about discontinuities in the event calculus. In L.C. Aiello, J. Doyle & S.C. Shapiro (eds.) *Principles of Knowledge Representation and Reasoning, KR-96* (pp. 105–110). Morgan Kaufmann: San Francisco, CA.

- Shanahan, Murray (1997). Event calculus planning revisited. In A. Steel & R. Alami (eds.), *Recent Advances in AI Planning* (pp. 290–402). Berlin: Springer-Verlag. (4th European Conference on Planning, ECP'97, Proceedings. LNAI 1348.)
- Shanahan, Murray (1999). The event calculus explained. In M.J. Wooldridge & M. Veloso (eds.) *Artificial Intelligence Today* (pp. 409–430). Springer. Lecture Notes in Artificial Intelligence 1600