

Repräsentation von Bedeutung

[D. Jurafsky, J.H. Martin 2000, Kap. 14]

Die Bedeutung sprachlicher Ausdrücke (Äußerungen) kann in einer formalen Struktur wiedergegeben werden:

Semantische Repräsentation

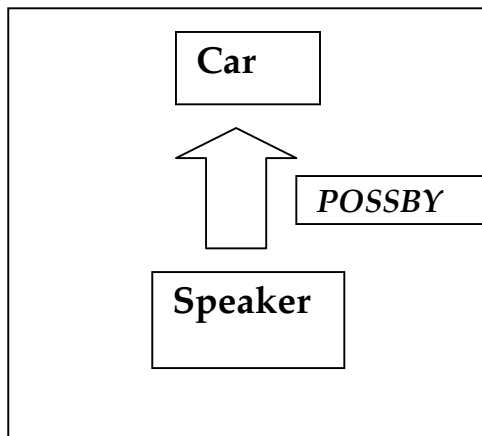
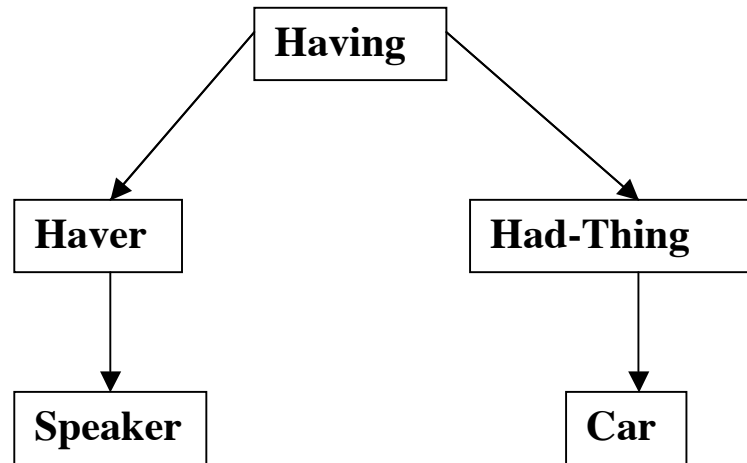
Als Darstellungsmittel werden semantische Repräsentationssprachen entwickelt, deren Funktion es ist, semantische Repräsentationen auf ein Modell eines Weltausschnitts abzubilden.

Semantische Repräsentationen sollen:

- **aus der (morphologischen, syntaktischen) Struktur sprachlicher Äußerungen ableitbar sein.**
- **als Ausgangsbasis für Prozesse dienen, die sprachliche Ausdrücke aus formalen Notationen erzeugen.**

Repräsentationssprachen bestehen aus Symbolen (Relationen, Wörtern, ...) und Kombinationsregeln für diese Elemente.

$\exists x, y \text{ Having } (x) \wedge \text{Haver } (\text{Speaker}, x) \wedge \text{HadThing } (y, x) \wedge \text{Car } (y)$



Having

Haver: Speaker

HadThing: Car

Anforderungen an semantische Repräsentationen

Als Beispielszenario dienen hier Anfragen über Restaurants, die etwa von einem natürlichsprachlichen Beratungssystem für Touristen ‚verstanden‘ und beantwortet werden sollen.

Diskutiert werden Anforderungen hinsichtlich folgender Eigenschaften:

- **Verifizierbarkeit**
- **Eindeutigkeit**
- **Kanonische Form**
- **Inferenzen**
- **Ausdrucksstärke**

Verifizierbarkeit

Diese Eigenschaft einer semantischen Repräsentation bezieht sich auf ihre „Auswertbarkeit“, d.h. auf den Bezug zu einem modellierten Weltausschnitt, für den die Äußerung etwa als ‚zutreffend‘ oder ‚nicht zutreffend‘ bewertet werden kann.

Does Maharani serve vegetarian food?

Eine sehr vereinfachte semantische Repräsentation könnte die folgende Darstellung sein:

Serves (Maharani, VegetarianFood)

Diese Repräsentation kann mit den bekannten Fakten des Modells (der Wissensbasis) verglichen werden.

- Im Erfolgsfall ist die Proposition wahr und die Antwort **Yes**.
- Bei Misserfolg ist die Proposition falsch und die Antwort **No** (unter der closed-world assumption), oder **Unknown** (open-world assumption).

Eine Beziehung zwischen der Repräsentation und dem Modell kann auch indirekt über Inferenzen erfolgen.

Eindeutigkeit

Natürlichsprachliche Ausdrücke sind notorisch mehrdeutig, und dies auf vielerlei Ebenen (morphologisch, lexikalisch, syntaktisch, semantisch, ...).

I wanna eat someplace that's close to ICSI.

Hier ist das direkte Objekt ein unwahrscheinlicher Kandidat für das semantische Objekt von **eat**.

Semantische Repräsentationen sollten möglichst eindeutig sein, um auf ein Modell abgebildet werden zu können.

Gegenbeispiel:

Hans las den Brief seiner Mutter vor.

Mit Mehrdeutigkeit ist der Begriff der Vagheit verbunden, der jedoch nicht immer mehrdeutige semantische Repräsentationen (und deren Auflösung) erfordert. Dies hängt vielmehr vom Anwendungszusammenhang ab.

I want to eat Italian food.

Kanonische Form

Unterschiedliche sprachliche Oberflächenäußerungen sollen auf dieselbe semantische Repräsentation abgebildet werden.

**Does Maharani have vegetarian dishes?
Do they have vegetarian food at Maharani?
Are vegetarian dishes served at Maharani?
Does Maharani serve vegetarian fare?**

Unterschiedliche syntaktische Ausprägungen und lexikalische Realisierungen (**have, served; dishes, food, ...**) bedeuten (in einem Anwendungskontext) das Gleiche.

Solche Lesarten können durch den Kontext (hoffentlich) disambiguiert werden (word-sense disambiguation).

Syntaktische Regularitäten bilden hier eine Hilfe, etwa Aktiv- vs. Passivkonstruktionen:

**Maharani serves vegetarian dishes.
Vegetarian dishes are served by Maharani.**

Inferenzen

Oftmals gibt es keine direkte Entsprechung zwischen semantischen Repräsentationen und Modellelementen.

Can vegetarians eat at Maharani?

Inferenzen (Schlussfolgerungen, Ableitungen) müssen hier für eine Beziehung zwischen semantischer Repräsentation und dem Modell sorgen.

Bei Inferenzen spielen Variablen eine wichtige Rolle, die im Modell instanziiert werden können.

**I'd like to find a restaurant where I
can get vegetarian food.**

Eine sehr einfache Repräsentation wäre hier etwa:

Serves (x, VegetarianFood)

Und die Ergebnisse einer Suche könnte dann die Menge aller Instanzen für ,x' sein.

Prädikat-Argument Struktur

Vielen (wenn nicht allen) natürlichen Sprachen liegt eine Prädikat-Argument Struktur zugrunde, und zwar sowohl im syntaktischen Bereich wie im semantischen.

Verben werden durch ihre Valenz charakterisiert, die sich auf die obligatorischen und fakultativen syntaktischen Funktionen bezieht:

Hans schenkt seiner Frau ein Buch.

Hans schenkt ein Buch.

***Hans schenkt seiner Frau.**

Die syntaktischen Funktionen können auch durch semantische Merkmale beschrieben werden:

(Selektionsrestriktionen, Thematische Rollen, Tiefenkasus).

Ähnliches lässt sich auch für andere Wortklassen nutzen:

Ich sitze in der Kirche. In_{Loc} (ich, Kirche)

Ich gehe in die Kirche. In_{Dir} (ich, Kirche)

**Make a reservation for this evening
for a table for two persons at 8.**

Reservation (Hearer, Today, 8PM, 2)

Prädikatenlogik und sprachliche Ausdrücke

Terme beschreiben Objekte des Modells

- Konstanten stehen für Objekte der modellierten Welt: **Maharani, Harry, Zimmer537**
- Funktionen repräsentieren Kennzeichnungen von Objekten: **LocationOf (Maharani)**
- Variablen stehen für potentielle Objekte des Modells

Prädikate beschreiben Relationen zwischen einer Anzahl von Objekten (Argumenten):

Maharani serves vegetarian food.

Serves (Maharani, VegetarianFood)

Einstellige Prädikate können Attribute oder Kategorien von Objekten darstellen: **Restaurant (Maharani)**

Mithilfe von Konnektiven können komplexe Formeln gebildet werden:

I only have 5 dollars and I don't have a lot of time.

Have (Speaker, FiveDollars) $\wedge$ $\neg$ Have (Speaker, LotOfTime))

Über die geeignete Wahl von Prädikaten, Funktionen usw. macht die Logik keine Aussage. (!!!)

BNF-Definition der prädikatenlogischen Syntax

Formula $\rightarrow$ **AtomicFormula**

| **Formula** **Connective** **Formula**
| **Quantifier** **Variable** ,... **Formula**
| $\neg$ **Formula**
| **(Formula)**

AtomicFormula $\rightarrow$ **Predicate** (**Term**, ...)

Term $\rightarrow$ **Function** (**Term** ,...)

| **Constant**
| **Variable**

Connective $\rightarrow$ $\wedge$ | $\vee$ | $\Rightarrow$

Quantifier $\rightarrow$ $\forall$ | $\exists$

Constant $\rightarrow$ **A** | *VegetarianFood* | *Maharani* ...

Variable $\rightarrow$ **x** | **y** | ...

Predicate $\rightarrow$ *Serves* | *Near* | ...

Function $\rightarrow$ *LocationOf* | *CuisineOf* | ...

Prädikatenlogik und Wahrheit

Prädikatenlogische Formeln erhalten ihre Semantik durch Wahrheitswerte (True, False) auf Grund der Sachverhalte in einem Modell.

Ay Caramba is near ICSI.

Near (LocationOf (AyCaramba), LocationOf (ICSI))

Wenn das Ergebnis der beiden Funktionen der Definition des Prädikats Near entspricht, dann ist die Formel wahr, ansonsten falsch.

Wahrheitstabelle:

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$
<i>F</i>	<i>F</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>T</i>
<i>F</i>	<i>T</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>T</i>	<i>T</i>
<i>T</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>T</i>	<i>F</i>
<i>T</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>T</i>	<i>T</i>	<i>T</i>

Die Semantik von Negation und Konjunktion entsprechen in etwa der alltagssprachlichen Bedeutung von ‚nicht‘ und ‚und‘. Bei der Disjunktion und Implikation ist dies nicht so.

Quantoren und Variablen

Existentiell quantifizierte Variablen entsprechen oft indefiniten Kennzeichnungen:

a restaurant that serves Mexican food near ICSI

$\exists x$ Restaurant (x)

$\wedge$ Serves (x, MexicanFood)

$\wedge$ Near (LocationOf (x), LocationOf (ICSI))

Durch Instanziierung der Variablen erhält man Ausdrücke, die im Modell verifiziert werden können.

Die Gesamtformel ist dann wahr, wenn es mindestens eine gültige Variablenbelegung gibt. .

Für allquantifizierte Variablen müssen alle Instanziierungen verifizierbar sein.

All vegetarian restaurants serve vegetarian food.

$\forall x$ VegetarianRestaurant (x) $\Rightarrow$

Serves (x, VegetarianFood)

Hier zeigt sich die Problematik der Implikation, die eben nicht Kausalität bedeutet. Auch bei falscher Prämisse ist das Ergebnis wahr.

Inferenzen im der Prädikatenlogik

Das zentrale Inferenzverfahren ist Modus Ponens (wenn-dann Ableitungen).

Schema: α α, β seien Formeln

$\underline{\alpha \Rightarrow \beta}$

β

**Wenn die linke Seite (Prämissen) einer Implikation wahr ist,
dann ist auch die rechte Seite (Konklusion) wahr.**

Beispiel:

VegetarianRestaurant (Rudys)

$\forall x \text{VegetarianRestaurant}(x) \Rightarrow \text{Serves}(x, \text{VegetarianFood})$
 $\text{Serves}(\text{Rudys}, \text{VegetarianFood})$

Prinzipiell können neue Fakten die Implikation aktivieren (feuern). Bei dieser Vorwärtsverkettung (Deduktion) werden weitere neue Fakten erzeugt, die wiederum Implikationen auslösen können, usw., usf.

In Produktionssystemen wird die Deduktion durch Kontrollwissen modifiziert, die über das Feuern von Regeln entscheidet.

Das Modus-Ponens Schema kann auch für Rückwärtsverkettung (Abduktion) verwendet werden.

Wenn eine Anfrageformel nicht in der Wissensbasis enthalten ist, dann wird nach einer Implikationsregel gesucht, deren Konklusion der Anfrage entspricht.

Wenn die Prämissen der Regel verifiziert werden können, ist die Anfrageformel wahr.

In obigem Beispiel würde die Anfrageformel

Serves (Rudys, VegetarianFood)

durch Instanziierung der Implikationsregel verifiziert.

Können die Prämissen nicht explizit verifiziert werden (wie im Beispiel), dann spricht man von plausiblen Inferenzen oder Annahmen (die Implikation ist auch dann wahr, wenn die Prämissen falsch sind).

Kategorien (Konzepte und Instanzen)

Eine einfache Repräsentation für die Typsortierung von Instanzen (Konstanten, Objektnamen) sind einstellige Prädikate:

VegetarianRestaurant (Maharani)

Diese Prädikate erlauben es nicht, Aussagen über den Typ zu machen:

MostPopular (Maharani, VegetarianRestaurant)

ist keine zulässige prädikatenlogische Formel.

Ein Ausweg besteht in der Reifikation (Verdinglichung), d.h. die Typzugehörigkeit als Objekt zu modellieren:

ISA (Maharani, VegetarianRestaurant)

Die Relation ISA ordnet Modellobjekte einer Klasse zu.

Auf dieselbe Weise können dann auch Beziehungen zwischen Klassen etabliert werden:

AKO (VegetarianRestaurant, Restaurant)

Durch die Relation AKO (a kind of) können Klassenhierarchien aufgebaut und das Vererben von Eigenschaften realisiert werden.

Instanzen: Modellobjekte, Objektnamen, Referenzobjekte...

Konzepte: Klassen, Typen, Begriffe, ...

Repräsentation von Aktionen, Ereignissen

Die semantische Darstellung von Verben und ihren (obligatorischen und fakultativen) Argumenten durch Prädikat ausdrücke ist problematisch.

- (1) I ate.
- (2) I ate a turkey sandwich.
- (3) I ate a turkey sandwich at my desk.
- (4) I ate at my desk
- (5) I ate lunch.
- (6) I ate a turkey sandwich for lunch.
- (7) I ate a turkey sandwich for lunch at my desk.

Logische Prädikate haben eine feste Argumentenzahl.

- (1s) Eating1 (Sp)
- (2s) Eating2 (Sp, TS)
- (3s) Eating3 (Sp, TS, D)
- (4s) Eating4 (Sp, D)
- (5s) Eating5 (Sp, L)
- (6s) Eating6 (Sp, TS, L)
- (7s) Eating7 (Sp, TS, L, D)

Wenn (7s) wahr ist, dann sind es auch die anderen Prädikate.

Eine Beziehung der **Eating**-Prädikate und Konzepten wie ‚Hunger‘, ‚Nahrung‘ ist mühselig.

Ein möglicher Ausweg: Bedeutungspostulate, wie z.B.:

$$\forall w,x,y,z \text{ Eating7 } (w,x,y,z) \Rightarrow \text{Eating6 } (w, x, y)$$

Dies würde jedoch die semantische Repräsentation von Sätzen sehr kompliziert und mühsam gestalten.

Eine Alternative wäre, ein Prädikat mit maximaler Argumentenzahl und Leerstellen zu wählen:

- (1s') $\exists w, x, y \text{ Eating (Sp, w, x, y)}$
- (2s') $\exists w, x \text{ Eating (Sp, TS, w, x)}$
- (3s') $\exists w \text{ Eating (Sp, TS, w, D)}$
- (4s') $\exists w, x \text{ Eating (Sp, w, x, D)}$
- (5s') $\exists w, x \text{ Eating (Sp, w, L, x)}$
- (6s') $\exists w \text{ Eating (Sp, TS, L, w)}$
- (7s') $\text{Eating (Sp, TS, L, D)}$

Hier würden die Formeln mit ausgefüllten Argumentstellen diejenigen mit Existenz-quantifizierten Variablen implizieren.

Nachteil ist allerdings noch, dass alle semantischen Beschreibungen von Essens-Aktionen mit einer Mahlzeit verbunden sind (3. Argument). Das ist kontraintuitiv.

Außerdem sind Beziehungen zwischen den Prädikatausprägungen formal nicht herleitbar.

Ich aß mein Mittagessen (5s')
Ich aß am Schreibtisch (4s')

impliziert nicht:

Ich aß mein Mittagessen am Schreibtisch
 $\exists w \text{ Eating (Sp, w, L, D)}$

Was fehlt ist die Referenz auf ein spezielles Ereignis.

Hier kann wieder die Reifikation helfen, d.h. für das Prädikat wird ein Term eingeführt, und die Argumentstellen werden zu Prädikaten.

(2) I ate a turkey sandwich.

$\exists w \text{ ISA } (w, \text{Eating}) \wedge \text{Eater } (w, \text{Sp}) \wedge \text{Eaten } (w, \text{TS})$

(1) I ate.

$\exists w \text{ ISA } (w, \text{Eating}) \wedge \text{Eater } (w, \text{Sp})$

(6) I ate a turkey sandwich for lunch.

$\exists w \text{ ISA } (w, \text{Eating})$
 $\wedge \text{Eater } (w, \text{Sp}) \wedge \text{Eaten } (w, \text{TS}) \wedge \text{MealEaten } (w, \text{Lunch})$

Vorteile:

- Für Verben muss keine feste Argumentanzahl vorgesehen werden
- Nur die im Satz spezifizierten thematischen Rollen erscheinen in der semantischen Repräsentation
- Bedeutungspostulate werden nicht benötigt; Ereignisvariablen und ihre Instanziierungen sorgen für die logischen Beziehungen zwischen Formeln.

Repräsentation temporaler Angaben

Die zeitliche Einordnung von Aktionen und Ereignissen wurde bisher vernachlässigt, bzw ausgeklammert.

Man unterscheidet hier zwischen Temporal-Logik und Tempus-Logik.

- Das Phänomen der Zeit kann man sich zunächst als **Zeitstrahl** vorstellen, der kontinuierlich fließt.
- Ereignisse sind auf diesem Zeitstrahl als **Zeitpunkte** oder **Zeitintervalle** angeordnet.
- Es gibt einen ausgezeichneten Zustand **JETZT**, relativ zu dem Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft angeordnet werden können.

Beispiele für dieselbe Ereignissorte aber mit verschiedenem Tempus:

- (1) **I arrived in New York.**
- (2) **I am arriving in New York**
- (3) **I will arrive in New York.**

Ohne Berücksichtigung der Tempusunterschiede:

$\exists w$ ISA (w, Arriving)

$\wedge$ Arriver (w, Speaker) $\wedge$ Destination (w, NewYork)

Zeitliche Information kann der Ereignisvariablen zugewiesen werden, beispielsweise über:

- die Dauer des Ereignisses (Intervall)
- das Ende des Ereignisses (Zeitpunkt)
- die Relation zum JETZT-Zeitpunkt (Sprechzeit)

Für die Beispiele (1) – (3) könnte das wie folgt aussehen:

(1s) $\exists i, e, w \text{ ISA } (w, \text{Arriving})$

**$\wedge \text{Arriver } (w, \text{Speaker}) \wedge \text{Destination } (w, \text{NewYork})$
 $\wedge \text{IntervalOf } (w, i) \wedge \text{EndPoint } (i, e) \wedge \text{Prec } (e, \text{Now})$**

(2s) $\exists i, e, w \text{ ISA } (w, \text{Arriving})$

**$\wedge \text{Arriver } (w, \text{Speaker}) \wedge \text{Destination } (w, \text{NewYork})$
 $\wedge \text{IntervalOf } (w, i) \wedge \text{MemberOf } (i, \text{Now})$**

(3s) $\exists i, e, w \text{ ISA } (w, \text{Arriving})$

**$\wedge \text{Arriver } (w, \text{Speaker}) \wedge \text{Destination } (w, \text{NewYork})$
 $\wedge \text{IntervalOf } (w, i) \wedge \text{EndPoint } (i, e) \wedge \text{Prec } (\text{Now}, e)$**

Leider (und typischerweise) ist die Beziehung zwischen Verbtempus und Zeiteinheiten nicht trivial:

(4) We fly from San Francisco to Boston at 10.

(5) Flight 1390 will be at the gate an hour now

(6) Flight 1902 arrived late.

(7) Flight 1902 had arrived late.

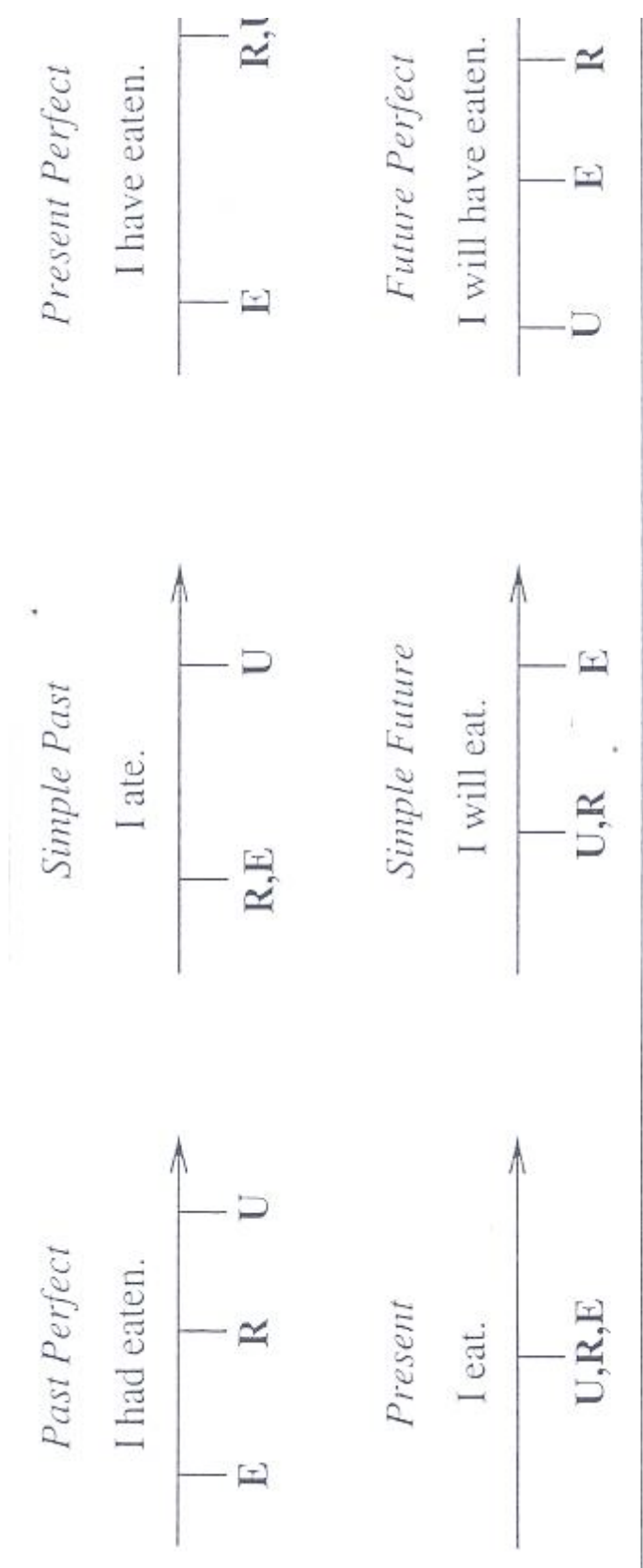


Figure 14.4 Reichenbach's approach applied to various English tenses. In these diagrams, time flows from left to right, an **E** denotes the time of the event, an **R** denotes the reference time, and an **U** denotes the time of the utterance.

1. Die ermordete Frau M. wurde in ihrer Wohnung in der Y-Gasse 7 kurz vor Mitternacht von ihrer Nachbarin, Frau N., aufgefunden, die sofort die Polizei rief.
2. Laut Amtsarzt Dr. Z. muss die Tat zwischen 22.30 und 23.30 ausgeführt worden sein.
3. Verdächtig wurde Herr K. aus O.-hausen, der nachweislich die Bar Annabell in D.-burg um 23.10 Uhr verlassen hatte.
4. Von der Bar Annabell bis zur Y-Gasse 7 braucht man mindestens 30 Minuten.

Die Temporallogik von J. Allen

[Allen 1983, 1984]

Als Basiseinheiten werden Zeitintervalle angenommen, die beliebig klein sein können (und dadurch quasi Zeitpunkte sein können).

Für zwei Zeitintervalle A und B gilt, dass sie in genau 13 Relationen zueinander stehen können, z.B.:

(A before B)

(A overlaps B)

(A meets B)

Der Kalkül definiert Zusammenhänge der Relationen zwischen mehreren Zeitintervallen (Transitivität).

Wenn bekannt ist, dass

(A Relation1 B) und (B Relation2 C)

dann lassen sich Aussagen darüber machen, in welcher Relation A und C stehen können, z.B.:

(A overlaps B) $\wedge$ (B meets C)

$\Rightarrow$ (A before C)

Die 13 primitiven Relationen zwischen Zeitintervallen:

Relation	Symbol	Inverse Relation	Beispiel
(A before B)	<	>	AAAA BBBB
(A equals B)	=	=	AAAA BBBB
(A meets B)	m	mi	AAAABBBB
(A overlaps B)	o	oi	AAAA BBBB
(A during B)	d	di	AAAA BBBBBBB
(A starts B)	s	si	AAAA BBBBBB
(A finishes B)	f	fi	AAAA BBBBBB

B r2 C	<	>	-d	di	o	oi	m	mi	s	si	f	fi
A r1 B												
"before" <	<	no info	< o m d s	<	<	< o m d s	<	< o m d s	<	<	< o m d s	<
"after" >	no info	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	>	>
"during" d	<	>	d	no info	< o m d s	> oi mi d f	<	>	d	> oi mi d f	d	< o m d s
"contains" di	< o m di fi	> oi di mi si	o oi dur con =	di	o di fi	oi di si	o di fi	oi di si	di fi o	di	di si oi	di
"overlaps" o	<	> oi di mi si	o d s	< o m di fi	< o m	o oi dur con =	<	oi di si	o	di fi o	d s o	< o m
"over- lapped-by" oi	< o m di fi	>	oi d f	> oi mi di si	o oi dur con =	> oi mi	o di fi	>	oi d f	oi > mi	oi	oi di si
"meets" m	<	> oi mi di si	o d s	<	<	o d s	<	f fi =	m	m	d s o	<
"met-by" mi	< o m di fi	>	oi d f	>	oi d f	>	s si =	>	d f oi	>	mi	mi
"starts" s	<	>	d	< o m di fi	< o m	oi d f	<	mi	s	s si =	d	< m o
"started by" si	< o m di fi	>	oi d f	di	o di fi	oi	o di fi	mi	s si =	si	oi	di
"finishes" f	<	>	d	> oi mi di si	o d s	> oi mi	m	>	d	> oi mi	f	f fi =
"finished-by" fi	<	> oi mi di si	o d s	di	o	oi di si	m	si oi di	o	di	f fi =	fi

FIGURE 4. The Transitivity Table for the Twelve Temporal Relations (omitting "=").

Repräsentation von Überzeugungen (Beliefs)

Eine Reihe von sprachlichen Ausdrücken sind nicht ohne weiteres auf die reale Welt bzw. auf eine modellierte Welt abbildbar:

glauben, wünschen, sich vorstellen, wissen, ...

Die Objekte dieser Verben sind oft (dass-) Sätze und drücken Beziehungen zwischen dem Subjekt und einer hypothetischen Welt, bzw. möglichen Welt aus.

I believe that Mary ate British food.

Die reifizierte Repräsentation von Ereignissen könnte die folgende Darstellung nahelegen:

**$\exists u, v \text{ ISA}(u, \text{Believing}) \wedge \text{ISA}(v, \text{Eating})$
 $\wedge \text{Believer}(u, \text{Speaker}) \wedge \text{BelievedProp}(u, v)$
 $\wedge \text{Eater}(v, \text{Mary}) \wedge \text{Eaten}(v, \text{BritishFood})$**

Bei der Konjunktion müssen jedoch alle Formeln wahr sein, d.h. auch die drei, in denen nur die Variable **v** vorkommt.

Die einfachere Darstellung von Verben als Prädikate hilft auch nicht:

Believing (Speaker, Eating (Mary, BritishFood))

Dies ist außerdem kein gültiger Ausdruck, denn die Argumente von Prädikaten müssen Terme sein.

Der Ausweg besteht in der Einführung von Operatoren, die vollständige logische Formeln als Argumente haben.

**Believes ($\exists u$ Believer(u , Speaker),
 $\exists v$ ISA(v , Eating)
 $\wedge$ Eater(v , Mary) $\wedge$ Eaten(v , BritishFood)**

Dies ist jedoch eine Anreicherung der Prädikatenlogik und erfordert u.a. zusätzliche Inferenzmechanismen, wie für alle Modallogiken.

Problematisch ist z.B. die Gleichheit von Termen:

Snow has delayed Flight 1054.

John's sister's flight serves dinner.

Wenn diese Terme referenzidentisch sind, können sie substituiert werden.

Dies funktioniert nicht mehr bei Modallogiken:

John knows that snow has delayed Flight 1054.

John knows that his sister's flight serves dinner.

Hieraus kann nicht gefolgert werden:

John knows that snow has delayed his sister's flight.

Man unterscheidet hier zwischen referentiell opaken und referentiell transparenten Kontexten.