

Ein Rahmenwerk für die Analyse von natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen

Matthias Wester-Ebbinghaus

Abteilung WSV
Fachbereich Informatik
Universität Hamburg

Projekt: Routeninstruktionen mit Sprache und Skizzen (Teil 1) 18.340

Revision: 9. Mai 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Erste Ebene - Textuelle Repräsentation	5
2.1	Globale Einheiten	6
2.2	Lokale Einheiten	6
2.2.1	Landmarken und räumliche Relationen	6
2.2.2	Lokale Einheiten in <i>sequences</i>	8
2.2.2.1	<i>Action</i>	8
2.2.2.2	<i>Indicator-of-objects</i>	11
2.2.2.3	<i>map-survey</i>	11
2.2.2.4	<i>Path-relation</i> und <i>direction</i>	13
2.2.3	Lokale Einheiten in <i>connections</i>	14
2.3	Probleme	15
3	Zweite Ebene - Routenmodell	17
3.1	Umformungsregeln	18
3.2	Strukturregeln	19
3.3	Unsicherheiten	30
3.4	Probleme	31
A	Beispiele	33
A.1	Beispiel 1	33
A.1.1	Text	33
A.1.2	Textuelle Repräsentation	33
A.1.3	Routenmodell	36
A.2	Beispiel 2	40
A.2.1	Text	40
A.2.2	Textuelle Repräsentation	40
A.2.3	Routenmodell	44
A.3	Beispiel 3	47
A.3.1	Text	47
A.3.2	Textuelle Darstellung	48
A.3.3	Routenmodell	50

Kapitel 1

Einleitung

Diese Arbeit stellt ein allgemeines Rahmenwerk zur Analyse von natürlich-sprachlichen Routenbeschreibungen vor. Routenbeschreibungen sind ein üblicher kommunikativer Akt des täglichen Lebens. Sie vermitteln räumliche Informationen über Umgebungen, Routen in diesen Umgebungen und zusätzlich temporale Informationen über Aktionen, die der Instruierte in der beschriebenen Umgebung ausführen muß, um zu seinem Ziel zu gelangen. Der Vollständigkeit halber müßte eine Betrachtung dieser Thematik eigentlich sowohl die Rolle des Instruierenden als auch des Instruierten berücksichtigen, vor allem wenn es sich um Diskurs handelt, in dem der Instruierte Rückfragen stellen kann. Die meisten wissenschaftlichen Arbeiten zu dem Thema widmen sich hingegen größtenteils der Produktionsseite. In dieser pseudo-interaktiven Situation artikuliert der Instruierende vorweg eine Routeninstruktion, die im Nachhinein von einer anderen Person (oder einem Roboter) genutzt wird. Die Instruktions- und Ausführungsphase sind also temporal voneinander getrennt. Die Interpretation der Routenbeschreibung basiert allein auf linguistischem Wissen und generellem Wissen über temporale und räumliche Aspekte (s.a. [Tschander et. al., 2003]). Auch in dieser Arbeit werden nur solche vollständigen Routenbeschreibungen betrachtet, doch konzentriert sich diese Arbeit auf die Seite des Instruierten, also die Frage, wie eine natürlich-sprachliche Routeninstruktion adäquat interpretiert werden kann, damit der Ausführende mit ihrer Hilfe sein Ziel finden kann. Nach [Denis, 1997] sind drei grundlegendes kognitive Operationen in die Produktion einer Routenbeschreibung eingebunden:

1. Aktivierung einer internen Repräsentation der Umgebung, in welcher die Navigation stattfinden wird
2. Planen einer Route in dem relevanten Teilbereich der aktivierten Repräsentation
3. Formulierung der Prozedur (Aktionen), welche der Instruierte befolgen muss, um sein Ziel zu erreichen

Auf die ersten beiden Aspekte wird in dieser Arbeit nicht eingegangen. Zur internen Repräsentation sei nur gesagt, daß in der kognitiven Wissenschaft davon ausgegangen wird (siehe auch [Denis, 1997] und [Fraczak, 1998]), nur ein Teil räumlichen Wissens des Menschen liege in linguistischer Form vor, ein deutlich größerer Teil aber in nicht-linguistischer Form (vermutlich visuell-räumlich), in sogenannten *cognitive maps*. Diese analogen Repräsentationen sind im Langzeitgedächtnis des Menschen gespeichert und enthalten daher auf natürliche Art und Weise Verzerrungen und Fehler (im Gegensatz zu den üblichen Städte- bzw. Landkarten, deren Nutzen nicht zuletzt von der starken strukturellen Ähnlichkeit zur beschriebenen Umgebung herrührt), was sich zwangsläufig auf die Planung der Route und dadurch letztlich auch auf die Formulierung der Routenbeschreibung auswirkt. Ein Ansatz zur Analyse muss dementsprechend diesen Unsicherheiten Rechnung tragen, was nicht immer möglich ist. Diese Arbeit stellt einen Ansatz vor, dessen Ablauf ähnlich wie in [Fraczak, 1998] dem oben beschriebenen entgegen gerichtet ist: ausgehend von einer Routenbeschreibung wird eine interne Repräsentation der beschriebenen Route auf Seiten des Instruierten generiert. Diese interne Repräsentation (bei [Fraczak, 1998] *mental map*, hier einfacher *Routenmodell*) ist die letzte Stufe eines mehrstufigen Prozesses (s.u.).

Das Hauptkriterium für die Adäquatheit einer Routenbeschreibung ist nach [Tschander et. al., 2003], ob der Ausführende anhand ihrer die beschriebene Route finden kann. Die Adäquatheit hänge von verschiedenen Parametern ab, beispielsweise Parameter, welche das Wissen des Ausführenden und des Instruierenden betreffen, Parameter der Perzeption und linguistische Parameter. Nach [Denis, 1997] gibt es zwei wesentliche Komponenten von Routenbeschreibungen. Einerseits die Nennung und Beschreibung von *Landmarken*, in der Welt entweder dreidimensionale physische Objekte der Umgebung wie Gebäude oder zweidimensionale Einheiten wie Straßen. Andererseits die Beschreibung von *Aktionen*, auszuführen vom Instruierten, um vom Start zum Ziel zu gelangen. Diese beiden Komponenten kommen in unterschiedlicher Form und in unterschiedlichen Kombinationen vor. In [Denis, 1997] wird angenommen, eine „gute“ Routenbeschreibung müsse eine ausgewogene Mischung beider Komponenten beinhalten. Es dürfe nicht Ziel des Instruierenden sein, dem Ausführenden einen zu großen Teil seiner internen Repräsentation zu vermitteln. Es sei also eine Restriktion der Repräsentation vonnöten, welche in sich auf den relevanten Teil der Route beschränke. Eng im Zusammenhang mit den beiden Komponenten Landmarken und Aktionen wird außerdem eine Unterscheidung vorgenommen, beispielsweise von [Denis, 1997] und [Maaß, 1994]), zwischen Elementen von Routenbeschreibungen, die den Instruierten mit Informationen versorgen, welche Aktionen er ausführen soll (nach [Maaß, 1994] *route knowledge* mit eher prozeduralen Aspekten), und schlicht Beschreibungen der Umgebung, welche nicht in direktem Zusammenhang mit der zukünftigen Bewegung des Instruierten stehen (nach [Maaß, 1994] *survey* oder *map knowledge* mit eher abstrakten Aspekten). Diese beiden Formen werden in Routenbeschreibungen gemischt und es ist nicht trivial, zu identifizieren, wann ein Element, welches eigentlich der zweiten Gruppe zuzuordnen ist, implizit eine Aktion für den Instruierten bezeichnet. Zusätzlich

stellt unrestringierte natürliche Sprache als nur eine Form der Formulierung von Routenbeschreibungen einen Analyseansatz vor größere Probleme als mögliche strenger durchformalisierte Beschreibungsformen. Auf diese Probleme geht Kapitel 2 näher ein. Es wird ein Ansatz vorgestellt, der bis zu einem gewissen Grad in der Lage ist, die Variationen der menschlichen Sprache bei der Identifizierung der relevanten Elemente der Routenbeschreibung zu berücksichtigen. Dabei darf aber nicht außer acht gelassen werden, daß ein zu großer Overhead an grammatikalischen Regeln und lexikalischen Einträgen die effiziente Bearbeitung nicht zu sehr beeinträchtigen darf. Es wird also zwangsläufig in Kauf genommen, mit dem vorgestellten Ansatz gewisse Routenbeschreibungen nicht analysieren zu können. Die Essenz des zweiten Kapitels ist somit, zu einer formalen Repräsentation der natürlichsprachlichen Routenbeschreibung zu gelangen, also zu einer Formalisierung des eigentlichen (gesprochenen oder geschriebenen) *Textes*.

[Denis, 1997] beschreibt Die Form einer Route als eine lineare Struktur, welche eine Sequenz von Knoten beinhaltet, die durch gerichtete Segmente verbunden sind. Die beste bzw. exakteste Vorgehensweise bei der natürlichsprachlichen Formulierung einer Route ist demnach, diese Struktur auf die verbalen Ausdrücke abzubilden, alternierende Beschreibung von Knoten und Segmenten. Im Prinzip wäre eine solche Beschreibung allein mittels metrischer Ausdrücke möglich. Dies ist im allgemeinen nicht die Art und Weise, wie Menschen Routenbeschreibungen formulieren. Dennoch lassen sich auch in natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen von Menschen die grundsätzlichen Elemente der oben beschriebenen linearen Struktur einer Route wiederfinden: Punkte der Umorientierung des Instruierten, meist gekennzeichnet durch Landmarken, und benannte Aktionen, die (Vorwärts-)Bewegungen denotieren. Diese folgen aber nicht immer dem strengen Schema der Knotensequenz, verbunden durch gerichtete Segmente. Einige Gründe dafür werden in Kapitel 3 genannt. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Transformation der formalen Repräsentation des Textes aus Kapitel 2 in eine Repräsentation der tatsächlich beschriebenen Route. Die oben beschriebene lineare Struktur, die jeder Route zu eigen ist, soll aus beliebigen Routenbeschreibungen abstrahiert werden.

Dieser zweistufige Gesamtprozess zur Analyse von Routenbeschreibungen wird anhand mehrerer Beispiele (s. Anhang) veranschaulicht. die Routenbeschreibungsbeispiele wurden alle von unterschiedlichen Subjekten formuliert und zeigen bereits die große Variation innerhalb natürlichsprachlicher Routenbeschreibungen auf. Probleme und Unzulänglichkeiten des hier vorgestellten Ansatzes werden an geeigneter Stelle aufgezeigt und teilweise mögliche Lösungsansätze vorgestellt.

Kapitel 2

Erste Ebene - Textuelle Repräsentation

Routenbeschreibungen können in verschiedenster Weise kommuniziert werden. Verbale oder natürlichsprachliche Beschreibungen sind aber eine im Alltag sehr gebräuchliche Form. Wird unrestringierter Sprachgebrauch zugelassen (im Gegensatz beispielsweise zu einem endlichen Inventar an zugelassenen Formulierungen) treten durch die Vielfältigkeit der Sprache für eine automatisierte Analyse diverse Probleme auf, die eine restringiertere Form der Beschreibung umgehen könnte. Dennoch bietet der Teilbereich Routenbeschreibungen des natürlichsprachlichen Diskurses in gewissen Grenzen gute Möglichkeiten einer effizienten Analyse. So identifiziert [Maaß, 1994] die Satzstruktur von kompletten Routenbeschreibungen als durchaus restringiert und teilweise sogar schematisch, mit nur wenigen verschiedenen häufig verwendeten Verben der Bewegung und Arten der Beschreibung von räumlichen Relationen. Zu ähnlichen empirischen Ergebnissen gelangt [Bugmann et. al., 2001]: in 96 Routenbeschreibungen finden sich dort lediglich 270 verschiedene Wörter und 12 verschiedene Prozeduren. Und doch wird im Gegenzug auch festgestellt, daß beide Inventare nicht abgeschlossen sind. Mit steigender Anzahl neuer Routeninstruktionen müssen beide Mengen erweitert werden. Die Wachstumsrate beträgt bei den Worten im Durchschnitt eines pro neuer Routeninstruktion und bei den Prozeduren eine pro 25 neuer Instruktionen. Trotz der Wachstumsrate von einem neuen Wort pro Beschreibung im Schnitt enthielten mehr als die Hälfte der Beschreibungen bei der Analyse keine neuen Worte.

Die rein textuelle Interpretation der Routenbeschreibungen, im hier vorgestellten Ansatz die erste Ebene, basiert zum großen Teil auf linguistischem Wissen: Verbale Ausdrücke werden mithilfe lexikalischer Einträge passend zur syntaktischen Satzstruktur in eine formale Repräsentation des Textes transformiert. Man kann hier bereits erkennen, dass ein Kompromiß gefunden werden muss zwischen dem Versuch, unrestringierte Sprache möglichst umfassend analysieren zu können und einem zu großen Overhead an grammatikalischen Regeln

und lexikalischen Einträgen.

Der hier vorgestellte Ansatz für die textuelle Analyse orientiert sich an der von [Fraczak, 1998], erweitert den Ansatz aber um diverse Elemente, um ein etwas weiteres Feld von Routenbeschreibungen abzudecken und vor allem, um räumliche Relationen flexibler beschreiben zu können.

2.1 Globale Einheiten

Der linguistischen Analyse von [Fraczak, 1998] folgend ist eine Routenbeschreibung zusammengesetzt aus zwei sogenannten *globalen Einheiten*:

1. *Sequences* sind sowohl funktionale als auch thematische Einheiten einer Routenbeschreibung. Sie benennen Aktionen, bezeichnen Objekte und beschreiben räumliche Relationen zwischen ihnen. Fraczaks Definition einer *sequence* wird hier gefolgt: eine *sequence* kann ein Hauptsatz sein, ein Nebensatz oder ein Hauptsatz zusammen mit einem Nebensatz, solange der letztere ein Relativsatz ist.
2. *Connections* dienen der Struktur einer Routenbeschreibung und vor allem helfen sie, Relationen zwischen *sequences* zu definieren. Eine *connection* kann ein einzelner *connector* sein oder zusammengesetzt aus mehreren *connectors*. Klassifiziert als *connector* werden verschiedene Elemente, die eine *sequence* einleiten können: Konjunktionen oder konjunktive Ausdrücke, Adverben oder adverbale Ausdrücke, Präpositionen usw.

2.2 Lokale Einheiten

Repräsentieren die globalen Einheiten eher die syntaktische Ebene der Analyse, so spiegelt sich die Semantik in den lokalen Einheiten wieder, welche in den *sequences* bzw den *connections* enthalten sind. Diese werden in Abschnitt 2.2.2 und 2.2.3 behandelt. Zunächst folgt ein Abschnitt über Landmarken und die Notation von räumlichen Relationen zwischen ihnen.

2.2.1 Landmarken und räumliche Relationen

Wie in der Einleitung bereits verdeutlicht, spielen Landmarken eine bedeutende Rolle in Routenbeschreibungen. Generell werden ihnen drei Schlüsselfunktionen zugeschrieben. Die erste ist, Punkte innerhalb der beschriebenen Route zu indizieren, an denen Aktionen stattfinden, beziehungsweise Punkte, an denen eine vorherige Aktion beendet wird. Die zweite Funktion ist, bei der Lokalisierung anderer Landmarken zu helfen, bsp. bei Sichtbarkeithierarchien. Die dritte ist die der Absicherung, welche auftritt wenn der Instruierte ein längeres Wegstück zurücklegen muß und Landmarken genannt werden, die entlang der Route liegen.

Beschreibung von Landmarken

Jede Nominalphrase der Routenbeschreibung, die sich nicht auf den Instruiereten bezieht, bezieht sich im hier vorgestellten Ansatz auf eine Landmarke. In [Fraczak, 1998] findet dich bereits die semantische Einheit *object*, welche auch in dieser Arbeit als die formale Notation für eine Landmarke gelten soll. Objekten werden hier vier Attribute zugeschrieben:

- *name*: Der Name bzw. die Bezeichnung des Objektes, z.b. „Haus F“ oder „Weg“.
- *number*: Die Anzahl der benannten Objekte. In den meisten Fällen ist sie 1, doch gelegentlich ist sie explizit genannt („an zwei Bäumen vorbei“) oder wird mit einem abstrakten *plural* belegt („entlang der Gebäude“).
- *type*: Jedem Objekt wird mittels lexikalischer Einträge ein Typ zugeordnet. Zulässige Werte sind *way*, *building*, *region*, *entry/exit*, *simple*.
- *id*: Jedem Objekt wird eine eindeutige ID zugewiesen um in der Repräsentation des Textes, nach Möglichkeit, mehrfach genannte Objekte als identisch zu identifizieren. Abschnitt 2.3 geht auf die damit zusammenhängenden Probleme ein.

Weitere Attribute eines Objektes finden sich im Attribut *name* wieder („hohes, grünes Gebäude“). Auch eine räumliche Relation kann ein Attribut eines Objektes sein, wie der nächste Abschnitt zeigt.

Räumliche Relationen

Nach [Maaß Wazinski und Herzog, 1993] lassen sich drei wesentliche Klassen von räumlichen Relationen in Routenbeschreibungen identifizieren. Daran orientiert werden auch in diesem Ansatz drei unterschiedliche Klassen unterschieden:

- *object relations* sind binäre Relationen zwischen Objekten/Landmarken („Der Weg führt zu einem Parkplatz.“, „Der Pfad führt an einem Baum vorbei.“). Eine *object relation* ist immer Attribut eines Objektes und hat selber in der Regel zwei Attribute: *type* und aufgrund des binären Charakters ein weiteres *object*. Zulässige Werte für *type* sind *at*, *of*, *in*, *near*, *via*, *along*, *past*, *between*, *lead-to*. *Between* stellt eine Ausnahme dar, da in diesem Falle die Relation nicht binär sondern ternär ist. Die Notation des Beispielausdruckes „Der Pfad führt an einem Baum vorbei.“ lautet demnach

```
(object
  (name. "Pfad")
  (number. 1)
  (type. way)
  (id. 0)
```

```
(object-relation
  (type. past)
  (object
    (name. "Baum")
    (number. 1)
    (type. simple)
    (id. 1))))
```

- *Directional relations* sind ebenfalls binäre Relationen und sind wiederum immer Attribut eines Objektes. Der zweite Bezugspunkt hingegen kann wiederum ein *object* sein („links vom Haus“) oder sich auf die Perspektive des Instruierten beziehen („links von Dir“). eine *directional relation* hat also ein oder zwei Attribute: *type* und ein optionales *object*. Fehlt das zweite Attribut, so bezieht sich die Relation auf die Perspektive des Instruierten. Zulässige Werte für *type* sind ((*half-way right*, (*half-way left*, *in front of*, *behind*).
- *Path relations* sind wieder binäre Relationen und charakterisieren Bewegungen von Objekten. Sie unterscheiden sich von den anderen beiden Relationstypen indem sie kein Attribut eines Objektes sein können. Sie setzen Objekte in Relation zur beschriebenen Route. *Path relations* haben zwei Attribute: *type* und *object*. Sie beziehen sich immer auf die beschriebene Route ohne diese explizit zu nennen („..., am großen Baum vorbei“, „..., über die Wiese“). *Path-relations* stehen eigenständig auf der Ebene der *sequences*. Zulässige Werte für *type* sind *at*, *to*, *along*, *past*, *across*, *under*, *between*, *exit*, *enter*, *way*. Eine Ausnahme stellt die Relation des Typs *way* dar. Sie hat ein weiteres optionales Attribut *direction*. Die Argumentation dafür folgt der aus Abschnitt 2.2.2.1 bzgl der Aktionen des Typs *take-way*. Auch *between* ist analog zu den *object-relations* wieder eine Ausnahme gekennzeichnet durch ein zusätzliches Attribut *object*. Abschnitt 2.2.2.4 geht näher auf *path relations* und ihre Funktion und Bedeutung für den hier vorgestellten Ansatz ein.

2.2.2 Lokale Einheiten in *sequences*

Innerhalb der globalen Einheit *sequence* identifiziert dieser Ansatz verschiedene lokale semantische Einheiten. *Action* und *indicator-of-object* sind dabei in den Grundzügen dem Ansatz von [Fraczak, 1998] entnommen, die restlichen hier vorgestellten sind Erweiterungen. Für jede Einheit wird beschrieben, wie sie innerhalb des Textes identifiziert werden und welche Funktion sie für die Analyse erfüllen.

2.2.2.1 *Action*

Actions bezeichnen eine Aktion, die vom Instruierten ausgeführt werden soll. Sie werden identifiziert durch Aktionsverben, die sich auf ein Subjekt beziehen müssen, welches den Instruierten bezeichnet. Dabei muß in Betracht gezogen

werden, daß der Instruierte auf unterschiedliche Weise in natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen referenziert wird: bsp. im deklarativen Modus („...geht man nach links.“) oder im imparativen („...dann geh nach links.“), dem ein explizites Subjekt in der Satzstruktur völlig fehlt. Um Aktionsverben zu unterscheiden von beispielsweise solchen Verben, die Objekte einführen (s. Abschnitt 2.2.2.2), und deren Subjekt ebenfalls den Instruierten bezeichnen kann, sind zusätzlich lexikalische Einträge nötig. Wie empirisch in [Bugmann et. al., 2001] und [Maaß, 1994] gezeigt, ist kein unbewältigbar großes Lexikon vonnöten für die Analyse bereits eines beträchtlichen Spektrums von Routenbeschreibungen. Diese Arbeit unterscheidet drei übergeordnete Hauptklassen von Aktionen für Routenbeschreibungen, welche auch gleichzeitig die zulässigen Werte des Attributes *class* sind: *advance*, *take-direction*, *take-way*. Ob und welche weiteren Attribute eine *action* hat, hängt von der *action*-Klasse ab:

- *advance*: Dieser *action*-Klasse fallen alle Aktionen der Fortbewegung zu, die nicht in eine der spezielleren anderen beiden Klassen fallen. Aktionen dieser Klasse haben bis auf eine Ausnahme genau zwei weitere Attribute: *type* und *object*. Jeder Typ dieser Klasse steht also mit einer Landmarke in Zusammenhang. Zulässige Werte für *type* sind:
 - *go-to*: Aktionen dieses Typs beinhalten sowohl die Bewegung in Richtung eines Objektes als auch das Erreichen dieses Objektes („Gehe zum Eingang von Haus F.“). Verbalphrasen, die lediglich eine Bewegung hin auf ein Objekt bezeichnen, werden lexikalisch nicht diesem Aktionstyp zugeordnet sondern der Aktionsklasse *take-direction*.
 - *go-along* und *go-past*: Aktionen des Typs *go-past* („Du gehst an Haus B vorbei.“) sind stärker spezifiziert als solche des Typs *go-along* („Du gehst an einigen Bäumen entlang.“). Möglicherweise meint der Instruierende mit einer Aktion des Typs *go-along* eigentlich implizit eine Aktion des Typs *go-past*. Darüber zu entscheiden ist aber nicht Aufgabe der textuellen Analyse und ist in vielen Fällen überhaupt nur der Ausführungsphase vorbehalten.
 - *go-under*: Dieser Aktionstyp wird selten gebraucht da er nahezu exklusiv benötigt wird um auszudrücken, der Instruierte solle unter einer Brücke oder ähnlichem hindurch gehen. Dieser Aktionstyp hat kein direktes Gegenstück. Das Überqueren einer Brücke bsp. wird der Aktionsklasse *take-way* zugeordnet, da Brückenobjekte lexikalisch als vom Typ *way* spezifiziert werden.
 - *cross*: Aktionen dieses Typs bezeichnen das Überqueren einer Fläche („Gehe über die Wiese.“). Das zur Aktion gehörige Objekt muss also vom Typ *region* sein.
 - *exit/enter*: Aktionen dieses Typs bezeichnen das Betreten oder Verlassen eines Objektes. Beschränkungen des zu diesem Aktionstyp gehörigen Objektes können leider nicht auferlegt werden, da sowohl „Du betrittst Haus F.“ als auch „Du nimmst den Eingang zu Haus

D.“ als auch „Du betrittst das Gelände.“ als Aktionen dieses Typs identifiziert werden sollen.

- *go-between*: Als einziger Aktionstyp der Klasse *advance* bezieht sich dieser auf zwei Objekte anstatt eines. Die Möglichkeit, zugunsten eines möglichst kleinen Repertoires der bei der Analyse zu identifizierenden Strukturen, Aktionen dieses Typs zu ersetzen bsp. durch zwei Aktionen des Typs *go-along*, erscheint sehr künstlich und daher wird hier darauf verzichtet.
- *take-direction*: Diese Aktionsklasse umfasst alle Richtungsangaben, welche ein ganz wesentlicher Bestandteil von Routenbeschreibungen sind. Die Aktionen dieser Klasse haben ein Attribut *direction*. Dieses ist selber eine der lokalen Einheiten innerhalb der *sequences* (s. Abschnitt 2.2.2.4) und hat zwei Attribute: *directed* und *object*. Beide Attribute sind optional, mindestens eines muss allerdings mit einem Wert belegt sein. Dies trägt der Tatsache Rechnung, daß Richtungsänderungen auf unterschiedliche Art und Weise kommuniziert werden („Danach gehst du nach links.“, „Du gehst in Richtung des Eisentors.“, „Du gehst nach rechts auf Haus F zu.“). Es ist bei der Analyse von natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen nicht immer klar, ob nach einer benannten Richtungsänderung auch eine Fortbewegung in der neuen Richtung stattfinden soll („und wendest Dich nach rechts“). Dieser Problematik nimmt sich die zweite Ebene der Analyse aus Kapitel 3 an und ist nicht Thema dieses Abschnittes. Ausdrücke wie „drehst Dich nach rechts“, „wendest Dich nach rechts“, „gehst nach rechts“ und „gehst nach rechts“ werden alle in diesselbe formale Struktur transformiert.
- *take-way*: Wege und die damit zusammenhängenden Aktionen sind essentiell in Routenbeschreibungen und erhalten daher eine eigene Aktionsklasse. Aktionen dieser Klasse haben zwei Attribute: das optionale *direction* und das Pflichtattribut *object*, wobei *object* vom Typ *way* sein muss. Dies trägt wiederum der Tatsache Rechnung, dass Aktionen dieser Klasse in Routenbeschreibungen in vielen Variationen auftreten („Du nimmst den gepflasterten Weg.“, „Du nimmst den Weg zu Deiner Linken.“, „Du gehst den Weg rechts auf Haus F zu.“).

Als Beispiel für die Analyse von *actions* lautet die formale textuelle Darstellung des Satzes „Du biegest in den Weg zu Deiner Rechten ein, gehst an Haus B vorbei.“:

```
(sequence
  (action
    (class. take-way)
    (direction
      (directed. right))
    (object
      (name. "Weg"))
```

```

        (number. 1)
        (type. way)
        (id. 0)))
(sequence
  (action
    (class. advance)
    (type. go-past)
    (object
      (name. "Haus B")
      (number. 1)
      (type. building)
      (id. 1))))

```

2.2.2.2 *Indicator-of-objects*

Indicator-of-objects als semantische Einheit dienen der Einführung von neuen Landmarken innerhalb einer Routenbeschreibung. Sie werden indiziert durch entsprechende lexikalisch klassifizierte Verben wie z.B. *erreichen*, *gelangen*, *ankommen*, *sehen*, *stehen*, *sein*. Diese Verben können sich ähnlich wie die Aktionsverben des vorhergehenden Abschnittes auf das den Instruierten bezeichnende Subjekt beziehen (was die Bedeutung der lexikalischen Einträge verdeutlicht, eine rein grammatikalische Analyse wäre nicht ausreichend), können sich aber auch auf eine Landmarke als Subjekt beziehen. Ein *indicator-of-objects* hat zwei notwendige Attribute: *class* und *object*. Der Wert für *object* ist natürlicherweise die Landmarke, auf die Bezug genommen wird und der Wert für *class* unterscheidet drei verschiedene Klassen von *indicator-of-objects*:

- *reach*: Diese Klasse wird indiziert durch Verben, die sich auf den Instruierten als Subjekt beziehen. So werden bsp. „Du erreichst den Vorplatz zu Haus D.“ oder „Du stehst vor der Mensa.“ eben nicht als *action* analysiert sondern aufgrund der lexikalischen Einträge für die Verben als *indicator-of-objects*.
- *see*: Auch diese Klasse wird indiziert durch Verben, die sich auf den Instruierten beziehen. Im Gegensatz zu der ersten Klasse ist in diesem Fall die Einführung der Landmarke ‚schwächer‘ indem nicht zwangsläufig vorausgesetzt wird, dass der Instruierte die Landmarke auch erreicht („Dort siehst du einen großen Baum.“ oder besser verdeutlicht in „In der Ferne erblickst du den Fernsehturm.“).
- *be*: Diese Klasse hingegen wird indiziert durch Verben, die sich auf ein anderes Subjekt als den Instruierten beziehen, nämlich die Landmarke selber („Dort ist ein Baum.“, „..., wo ein großer Aschenbescher steht.“).

2.2.2.3 *map-survey*

Diese Klasse semantischer Einheiten ist das Analogon zum in der Einleitung erwähnten *survey* oder *map knowledge* im Gegensatz zu *route knowledge*, die ihr

Analogon eher in der Klasse der *actions* haben. Eine *map-survey* setzt zwei Objekte oder mehr in Relation zueinander (*object-relation* oder *directional-relation*) wie in „Der Weg führt zum Vorplatz von Haus D“. In einer solchen *sequence* mit *map-survey* als semantischer Einheit findet der Instruierte selber keine explizite Erwähnung (zum Problem der mit einer solchen *map-survey* implizierten Aktionen s. Abschnitt 3.4), ähnlich der dritten Klasse von *indicator-of-objects*. Der Unterschied dazu besteht in der Funktion: Ein *indicator-of-objects* dient der expliziten Einführung einer neuen Landmarke während ein *map-survey* der Relation von Landmarken zueinander spezifiziert.

Als Beispiel für die textuelle Analyse einer Kombination aus den bisher betrachteten semantischen Einheiten einer *sequence* lautet die formale textuelle Darstellung des Fragments einer Routenbeschreibung „Du gehst über die Wiese und gelangst auf einen Weg. Dieser führt zur Mensa.“ (hier findet sich bereits eine *connection* wieder (s. Abschnitt 2.2.3) und ein Landmarken-Rückbezug wird aufgelöst (s. Abschnitt 2.3):

```
(sequence
  (action
    (class. advance)
    (type. cross)
    (object
      (name. "Wiese")
      (number. 1)
      (type. region)
      (id. 0))))
(connection
  (connector
    (class. succession)))
(sequence
  (indicator-of-objects
    (class. reach)
    (object
      (name. "Weg")
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 1))))
(sequence
  (map-survey
    (object
      (id. 1)
      (object-relation
        (type. lead-to)
        (object
          (name. "Mensa")
          (number. 1)
          (type. simple))
```

(id. 2))))))

2.2.2.4 Path-relation und direction

Alle bisher beschriebenen lokalen Einheiten einer *sequence* wurden indiziert durch Verben. Damit gehen diese semantischen Einheiten auf Hauptsätze, Nebensätze oder Relativsätze in der ursprünglichen Routenbeschreibung zurück, übereinstimmend mit der Definition von *sequence* in Abschnitt 2.1. Doch in natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen finden sich häufig Formulierungen wie „Du gehst an Haus F entlang, am Wegweiser vorbei, unter der Brücke durch nach links zum Eingang von Haus E.“. Explizit benannt in diesem Beispiel und wie bisher beschrieben lexikalisch indiziert durch ein Aktionsverb ist lediglich die Aktion der Klasse *progress* vom Typ *go-along* bzgl. *object* „Haus F“. Implizit enthalten sind aber vier weitere Aktionen. Sie werden allerdings nicht wie bisher beschrieben durch ein Verb indiziert und stehen daher auch per Definition in keiner *sequence*. Solche Satzkonstruktionen sind typisch und der hier vorgestellte Ansatz der Analyse beansprucht, damit umgehen zu können anstatt der Einfachheit halber davon auszugehen, nur solche Aktionen aus der Beschreibung abstrahieren zu können, die explizit genug formuliert sind. Dieser Ansatz orientiert sich bei der Analyse schlicht an der Oberfläche des Satzes: in einer *sequence* ist immer nur maximal eine Aktion explizit benannt mittels einer Verbalphrase, oberflächlich davor oder dahinter stehen optional *directions* oder *path-relations*. *Path-relations* wurden bereits in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt. *Directions* wurden in Abschnitt 2.2.2.1 angesprochen. Sie haben zwei Attribute: *directed* und *object*. Beide sind optional, doch mindestens eines muß mit einem Wert belegt sein. Zulässige Werte für *directed* sind *straight*, *(half-way) right*, *(half-way) left*, *in front of*, *behind*. *Object* kann jede beliebige Landmarke sein. Damit können Richtungen direkt, mittels eines Objektes oder einer Kombination aus beidem benannt werden. Hingewiesen sei hier noch auf einen wesentlichen Unterschied in der Analyse zweier Sätze:

- „Du gehst unter der Brücke durch nach rechts.“
- „Du gehst den gepflasterten Weg nach rechts.“

Beide Sätze haben eine ähnliche Struktur, doch sie werden gänzlich unterschiedlich analysiert. Der erste Satz erhält den Regeln dieses Abschnittes entsprechend folgende formale Darstellung:

```
(sequence
  (action
    (class. advance)
    (type. go-under)
    (object
      (name. Br"ucke)
      (number. 1)
      (type. way)
```

```
(id. 0)))
(direction
  (directed. right)))
```

Der zweite Satz hingegen erhält eine strukturell andere formale Darstellung:

```
(sequence
  (action
    (class. take-way)
    (direction
      (directed. right))
    (object
      (name. Weg)
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 0))))
```

Der Grund dafür liegt in der Klasse der Aktion. Die Klasse *take-way* hat zwei optionale Attribute, die in diesem Fall beide mit Werten belegt werden können. Die Klasse *progress* hat hingegen nur ein Attribut, nämlich *object*. Das *direction*-Element wird in diesem Fall also als nicht zur Aktion gehörend analysiert und gemäß der Oberflächenstrukturregel dieses Abschnittes als eigenständige semantische Einheit der *sequence* notiert.

2.2.3 Lokale Einheiten in *connections*

Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben setzten sich *connections* aus einem oder mehreren *connectors* zusammen. Die Kategorisierung der *connectors* folgt exakt der von [Fraczak, 1998]. Sie werden unterteilt entsprechend des Typs der Relation, die sie zwischen den *sequences* spezifizieren:

- *succession*: Diese Klasse von *connectors* ist die in Routenbeschreibung aufgrund des sequentiellen Charakters am häufigsten gebrauchte und spezifiziert das einfache Nacheinander von *sequences*. Typische Vertreter dieser Klasse sind *und*, *dann*, *danach* und Kombinationen daraus.
- *anchorage*: *Connections* dieser Klasse spezifizieren ebenfalls ein Nacheinander von *sequences*, legen aber zusätzlich Betonung auf die explizite zeitliche oder örtliche Verankerung der folgenden *sequence*. Typische Vertreter dieser Klasse sind *dort*, *hier*, *jetzt*.
- *overlap*: diese Klasse spezifiziert das zeitliche Nebeneinander von *sequences*. Sie finden in Routenbeschreibungen aufgrund des sequentiellen Charakters nicht sehr häufig Gebrauch. Wenn sie auftreten, dann in den meisten Fällen in Form einer Einleitung einer alternativen Beschreibung eines bereits vorher Gesagten („Du gehst auf Haus F zu, also gehst du an drei großen Bäumen vorbei.“). Typische Vertreter dieser Klasse sind *also*, *tatsächlich*, *bzw.*, *d.h.*, *während*, *dabei*.

- *alternative*: Die Klasse spezifiziert eine Alternative zwischen zwei unterschiedlichen *sequences* (nicht wie bei der Klasse *overlap* lediglich eine alternative Beschreibung). Auch diese *connections* finden nur selten Gebrauch in Routenbeschreibungen, da sich der Instruierende im Normalfall bereits auf eine fixe Route festgelegt hat. Dennoch finden sich vereinzelt Formulierungen wie „...gehst Du entweder durch die Unterführung oder über die Brücke.“.

2.3 Probleme

Der in diesem Kapitel vorgestellte Ansatz ist nicht implementiert. Zwar wurden Arbeitsweise und Prinzipien der grammatikalischen und lexikalischen Analyse eines etwaigen Parsers teilweise erläutert oder zumindest angesprochen. Doch beschäftigt sich diese Arbeit eher mit einer formalen Repräsentation der textuellen Information einer Routenbeschreibung und in dem Zusammenhang mit der formalen Darstellung von räumlichen Informationen und prozeduralen Aspekten als mit generellen Aspekten von syntaktischer und semantischer Textanalyse. Und doch sollen hier einige damit zusammenhängende Probleme angesprochen werden und die daraus resultierenden Anforderungen an einen etwaigen Parser, auf die im Detail aber nicht eingegangen werden soll.

Auflösung von Rückbezügen

Für die Interpretation von natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen wäre es sehr wichtig, Rückbezüge in der Sprache auflösen zu können, vor allem im bezug auf Landmarken. Leider ist diese Aufgabe grundsätzlich linguistisch gesehen alles andere als trivial und in einigen Fällen unmöglich. Das gilt auch für die eingeschränktere Domäne der Routenbeschreibungen. So geht auch der vorgestellte Ansatz zur textuellen Repräsentation und seine Anwendung auf Beispiele (s. Anhang) nur von der Auflösung einiger eindeutiger Rückbezüge aus: eindeutig benannte Landmarken mit offizieller Bezeichnung (bsp. „Haus F“, „Edmund-Siemers-Allee“, „Siemersplatz“), Demonstrativpronomen („...gehlängst Du an einen Weg. Dieser führt weiter...“, „Du siehst den Fernsehturm. In dieser Richtung gehst Du weiter.“) und Personalpronomen („Der Weg geht an der Mensa vorbei. Er führt zum Vorplatz von Haus B.“).

Erkennen der Hierarchie von Satzstrukturen

Die *connections* spezifizieren wie erwähnt Relationen zwischen *sequences*. Doch ist es problematisch, sie in der formalen textuellen Repräsentation immer an derselben Stelle einzufügen, an der sie auch im eigentlich Text stehen. Beispielsweise spezifiziert im Satz „Nachdem Du über die Wiese gegangen bist, wendest Du dich nach links.“ die *connection* „nachdem“ das zeitliche Nachher der zweiten Aktion bzgl. der ersten und steht doch rein formal vor der ersten Aktion. Es ist in diesem Falle also eine grammatikalisch-semantische Analyse notwen-

dig, die die Hierarchie in Sätzen erkennen kann und somit die *connections* in der formalen Notation an der korrekten (übereinstimmend mit der intendierten Bedeutung) Stelle einfügt.

Quantitative Aspekte

Die momentane Repräsentation des Textes und damit der räumlichen Informationen ist rein qualitativ. U.a. [Maaß Wazinski und Herzog, 1993] argumentiert für die Notwendigkeit von quantitativen Gegenstücken. Etwas wie „Nach 100 Metern erreichst du Haus F.“ wird im hier vorgestellten Ansatz nicht adäquat, weil ausschließlich qualitativ repräsentiert, wiedergegeben. Zusätzlich können quantitative Angaben helfen, Unsicherheiten bzw. Vagheiten zu identifizieren wie sie in Ausdrücken wie „kurz hinter dem Haus“ oder „nach einigen Schritten“ enthalten sind.

Kapitel 3

Zweite Ebene - Routenmodell

Diejenige Route, der am einfachsten zu folgen ist und die ebenfalls am einfachsten zu beschreiben ist, ist diejenige, die einer geraden Linie am ehesten ähnelt. Dieser Anwendungsfall ist äußerst selten und die Struktur einer Route ähnelt, wie in der Einleitung beschrieben, vielmehr einer Abfolge von Knoten, durch Segmente verbunden. Eine natürlichsprachliche Routenbeschreibung, die dieser Struktur am gerechtesten würde, bildet nach [Denis, 1997] die verbalen Ausdrücke auf sie ab, im einzelnen:

1. **Lokalisierung und Orientierung des Instruierten am Startpunkt:** In diesem Schritt muß der Startpunkt eindeutig identifiziert werden (bsp. mittels Benennung charakteristischer Landmarken) und der Instruierte muss in der korrekten Richtung für den weiteren Verlauf der Route orientiert werden.
2. **Beginn der Fortbewegung:** In diesem Schritt wird die erste auszuführende Aktion beschrieben. Als Konsequenz der Fortbewegung des Instruierten ändert sich sein Sichtfeld und neue Landmarken kommen in Sicht. Die Bewegung dauert so lange an, bis eine bestimmte dieser Landmarken erreicht ist, welche ausgewählt wird, um den nächsten Schritt (bzw. den ersten Knoten der Route) zu markieren.
3. **Benennung einer Landmarke:** Diese Landmarke war vom Startpunkt aus sichtbar oder wurde erst während der der Ausführung der ersten Aktion sichtbar. Sie dient sowohl als Kennzeichnung des Endpunktes der letzten Aktion als auch als Referenzpunkt zur erneuten Orientierung des Instruierten.
4. **Umorientierung des Instruierten:** Mit der zuletzt genannten Landmarke als Referenzpunkt wird eine erneute Orientierung des Instruierten

vorgenommen, entweder in Form direkt benannter Richtungswechsel oder anhand weiterer (sichtbarer) Landmarken.

5. **Starten weiterer Fortbewegung**
6. **Benennung weiterer Landmarke**
7. ...

Zusammenfassend findet sich hier ein Instruktions-Tripel wieder, dessen iteratives Anwenden in einer verbalen Routenbeschreibung der Knoten-Segment-Struktur einer Route am ehesten gerecht würde:

1. Orientierung des Instruierten
2. Fortbewegung starten
3. Einführung einer Landmarke, die die Fortbewegung beendet

Diese Struktur einer Routenbeschreibung ist hier zunächst künstlich erzeugt worden und erfährt in natürlichsprachlichen Beschreibungen einige Variationen. [Fraczak, 1998] fasst in ihrer *conceptual representation* einer Route die Punkte Umorientierung und Einführung einer Landmarke zusammen im Konzept des *relays* und definiert dementsprechend ein *relay* als einen Punkt, der nach einer eventuellen Umorientierung einen neuen *transfer* initiiert. Ein *transfer* ist demnach ein Fragment der Route, welches nicht von einem *relay* unterbrochen wird. Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz kombiniert die beiden Ansätze von [Denis, 1997] und [Fraczak, 1998]. Auf der obersten Ebene wird die Struktur einer Route notiert als Iteration des *relay-transfer*-Tupels, doch werden die Elemente des Instruktions-Tripels von [Denis, 1997] auf der unterliegenden Ebene im weiten Sinne beibehalten, so entsprechen sie nämlich bereits den aus Kapitel 2 bekannten *actions* der Klasse *progress* (Fortbewegung), *actions* der Klasse *take-direction* (Umorientierung) und *indicator-of-objects* (Einführung von Landmarken).

Dieses Kapitel stellt ein Regelsystem vor, welches die formale Repräsentation des Textes aus Kapitel 2 transformiert in eine Repräsentation der Route, das *Routenmodell*. Das Regelsystem besteht zum einen Teil aus Umformungsregeln, die hauptsächlich dazu dienen, die textuelle Repräsentation für die weitere Verarbeitung vorzubereiten. Zum anderen Teil besteht das Regelsystem aus Strukturregeln, die die Transformation in das *relay-transfer*-Schema vornehmen.

3.1 Umformungsregeln

Die Regeln dieses Abschnittes transformieren die textuelle Repräsentation aus dem ersten Kapitel auf zweierlei Weise:

- **Expansion:** Wie in den Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2.4 bereits erwähnt, sind die dort aufgeführten *path-relations* und *directions* auf der obersten Ebene der *sequences* eigentlich Abkürzungen. Sie werden dort nicht aufgelöst um der Struktur des Textes gerecht zu werden. Im ersten Schritt der Routenrepräsentation werden sie nun expandiert. Jeder *path-relation* ist abhängig vom Typ eine expandierte semantische Einheit zugewiesen:

Typ	Expansion
<i>at</i>	(<i>indicator-of-objects (class. reach)</i>)
<i>to</i>	(<i>action (class. advance) (type. go-to)</i>)
<i>along</i>	(<i>action (class. advance) (type. go-along)</i>)
<i>past</i>	(<i>action (class. advance) (type. go-past)</i>)
<i>under</i>	(<i>action (class. advance) (type. go-under)</i>)
<i>between</i>	(<i>action (class. advance) (type. go-between)</i>)
<i>across</i>	(<i>action (class. advance) (type. cross)</i>)
<i>enter</i>	(<i>action (class. advance) (type. enter)</i>)
<i>exit</i>	(<i>action (class. advance) (type. exit)</i>)
<i>way</i>	(<i>action (class. take-way)</i>)

Directions werden expandiert zu einer Aktion der Klasse *take-direction*.

- **Connections:** Der hier vorgestellte Ansatz geht zunächst von einer rein sequentiellen Routenbeschreibung aus. Diese Annahme ist zwar ideal, doch deckt sie bereits einen den großen Teil der Beschreibungen ab. Abschnitt 3.4 geht etwas genauer auf die Problematik und auch die Möglichkeiten ein, die mit der Behandlung aller Klassen von *connections* einhergehen. In diesem Fall müssten neue Umformungsregeln erstellt werden, die dem Rechnung tragen könnten. Zum jetzigen Zeitpunkt werden unter der Annahme einer sequentiellen Struktur der Beschreibung alle *connections* aus der Beschreibung entfernt.

3.2 Strukturregeln

Während die Umformungsregeln des letzten Abschnittes auf der textuelle Repräsentation aus Kapitel 2 operierten um sie zu modifizieren, bauen die Strukturregeln dieses Abschnittes eine gänzlich neue Repräsentation auf, die *Routendarstellung*. Wie bereits beschrieben, besteht sie auf der obersten Ebene aus *relays* und *transfers*. Auf der tieferen Ebene finden sich die bekannten semantischen Einheiten aus Abschnitt 2.2 wieder. Aufgabe der Strukturregeln dieses Abschnittes ist es also, diese semantischen Einheiten sinnvoll in aufeinanderfolgende *relays* und *transfers* zu gruppieren, um so zu einer Repräsentation der Route zu gelangen, in der Punkte der Umorientierung (*relay*) und die sie verbindenden Abschnitte der Fortbewegung (*transfer*) identifiziert werden können.

Dabei wird folgendermaßen vorgegangen: Die textuelle Darstellung wird sukzessive *sequence* für *sequence* und semantische Einheit für semantische Einheit

abgearbeitet und nebenher wird aufgrund dieser Informationen ebenfalls sukzessive die Routendarstellung aufgebaut. Die formale Notation der zugehörigen Regeln in diesem Abschnitt sieht dabei folgendermassen aus:

schematischer lokaler Kontext der textuellen Darstellung	schematischer lokaler Kontext der Routendarstellung
schematische Expansion der Routendarstellung	

- Der lokale Kontext sowohl der textuellen Darstellung als auch der Routendarstellung werden notiert, abhängig vom Stadium der sukzessiven Abarbeitung bzw. des sukzessiven Aufbaus. So ergibt sich ein kombinierter lokaler Kontext, der das Auslösen einer der Strukturregeln $\mathbf{S}_1 - \mathbf{S}_{14}$ bedingt. Eine Regel ist anwendbar, wenn der tatsächliche lokale Kontext vom schematischen lokalen Kontext der Regel subsumiert wird. Die Anwendung einer Regel wiederum bewirkt einen weiteren Schritt im sukzessiven Aufbau der Routendarstellung, indem anhand der schematischen Expansion der Routendarstellung die tatsächliche Routendarstellung erweitert wird. Anschließend werden die lokalen Kontexte neu evaluiert und der Prozeß beginnt von neuem bis schließlich alle semantischen Einheiten der textuellen Darstellung betrachtet wurden.
- Sind mehrere Regeln anwendbar, so wird die speziellste der Regeln gewählt. Eine Regel \mathbf{S}_x ist spezieller als eine Regel \mathbf{S}_y genau dann wenn
 1. Ist Regel \mathbf{S}_y anwendbar, so ist auch \mathbf{S}_x anwendbar.
 2. Es gibt Kontexte, in denen ist \mathbf{S}_x anwendbar, \mathbf{S}_y aber nicht.
- Zwecks eindeutiger Identifizierung können einzelne Elemente indiziert werden um sie von anderen desselben Typs zu unterscheiden.
- Punkte ‚...‘ in den Regeln bedeuten in beiden Darstellungen das optionale Vorhandensein weiterer Elemente an der entsprechenden Stelle.
- Eine nicht geschlossene Klammer in einer der beiden Darstellungen bedeutet eine noch offene weitere Verarbeitung des aktuell betrachteten Elementes.

Initialisierung

In der formalen Routenrepräsentation wird analog zu [Fraczak, 1998] ein *relay-transfer*-Tupel zu einem *segment* zusammengefasst. Die Routendarstellung wird

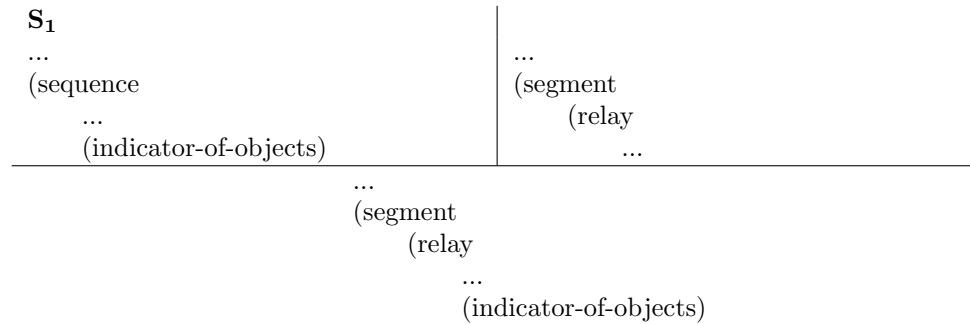
initialisiert mit

S_{init}

```
(route-representation
  (segment
    (relay
```

Indicator-of-objects

Indicator-of-objects initiieren immer ein neues *relay*. Abhängig vom lokalen Kontext der Routendarstellung, in dem ein *indicator-of-objects* auf Seiten der textuellen Repräsentation abgearbeitet wird, ergeben sich verschiedene Regeln:



Befindet sich die Entwicklung der Routendarstellung also in einem *relay* und trifft man bei der sukzessiven Abarbeitung der textuellen Repräsentation auf einen *indicator-of-objects*, so wird dieser einfach ins *relay* aufgenommen.

\mathbf{S}_2 ... (sequence (indicator-of-objects))		... (segment (relay ...))
<div style="text-align: center;"> ... (segment (relay ...)) (transfer (action (class. take-direction) (direction (directed. straight)))))) (segment (relay (indicator-of-objects))) </div>		

Diese Regel ist spezieller als \mathbf{S}_1 . Durch das Fehlen der Punkte ‚...‘ in der lokalen textuellen Darstellung wird in diesem Fall spezifiziert, daß *indicator-of-objects* das erste Element in der *sequence* sein muß. Stehen mehrere *indicator-of-objects* innerhalb einer *sequence*, so geht dieser Ansatz davon aus, daß sie sich auch am selben Umorientierungspunkt der Route befinden und Regel \mathbf{S}_1 kommt zum Tragen. Steht ein *indicator-of-object* jedoch in einer neuen *sequence*, so geht dieser Ansatz davon aus, ein neuer Punkt der Umorientierung wird benannt. Nun muß aber zwischen zwei Knotenpunkten einer Route zwangsläufig ein Transfer stehen. Dieser ist in diesem Fall nicht benannt. Es wird also in die Darstellung der Route ein Standardtransfer der Klasse *take-direction* mit Richtung *straight* künstlich eingefügt. Es wird davon ausgegangen, das Fehlen eines explizit benannten Transfers in der Routenbeschreibung impliziere, daß die beiden Knotenpunkte unmittelbar voneinander aus erreichbar sind. Im Endeffekt wird durch den eingefügten Standardtransfer eine Unsicherheit impliziert, die es in der Ausführungsphase vom Instruierten aufzulösen gibt (s. auch Abschnitt 3.3).

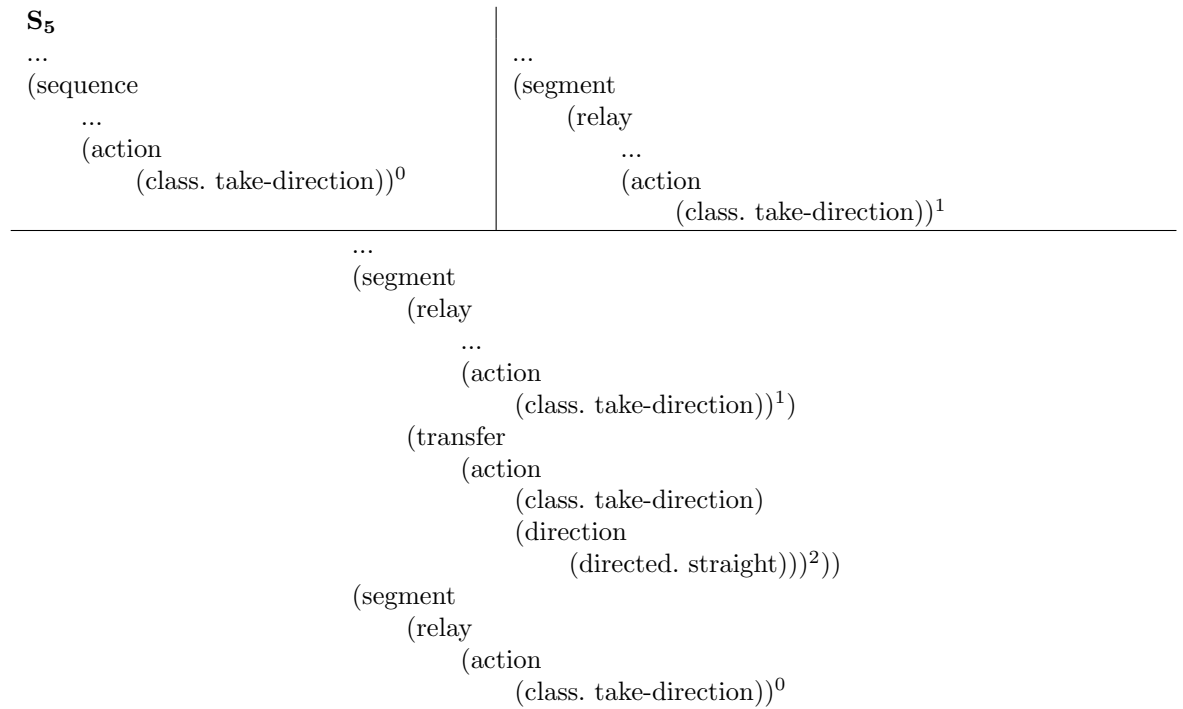
S₃ ... (sequence ... (indicator-of-objects))	... (segment (relay) (transfer ...
<div style="text-align: center;"> ... (segment (relay) (transfer ...)) (segment (relay (indicator-of-objects)) </div>	

Befindet sich die Entwicklung der Routenrepräsentation in einem *transfer* und trifft man bei der sukzessiven Abarbeitung der textuellen Repräsentation auf einen *indicator-of-objects*, so wird davon ausgegangen, dass der *transfer* abgeschlossen ist und die Nennung einer neuen Landmarke einen Punkt der Umorientierung markiert.

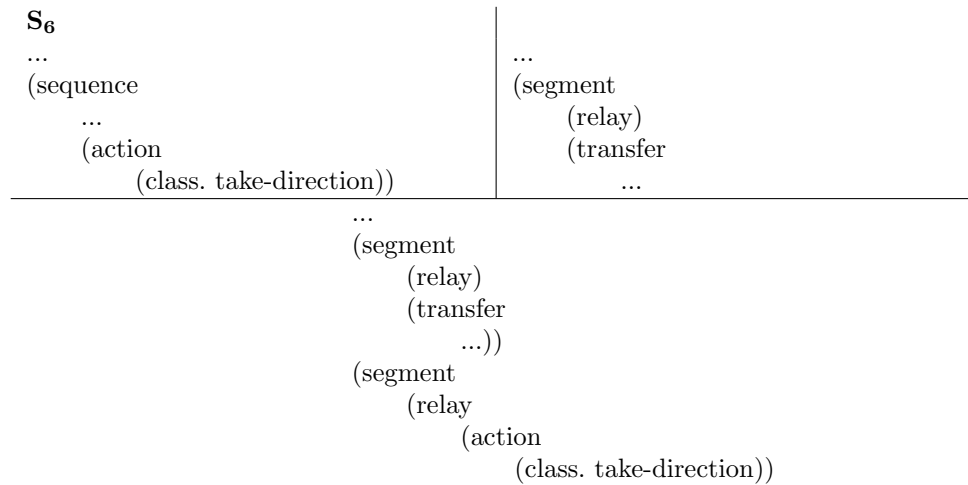
Aktionen der Klasse *take-direction*

S₄ ... (sequence ... (action (class. take-direction))	... (segment (relay ...
<div style="text-align: center;"> ... (segment (relay ... (action (class. take-direction)) </div>	

Befindet sich die Entwicklung der Routendarstellung in einem *relay* und trifft man bei der sukzessiven Abarbeitung der textuellen Repräsentation auf eine Aktion der Klasse *take-direction*, so wird diese in das *relay* mit aufgenommen. Dabei wird also davon ausgegangen, dass der Richtungswechsel zusätzlich der Orientierung des Instruierten gilt.

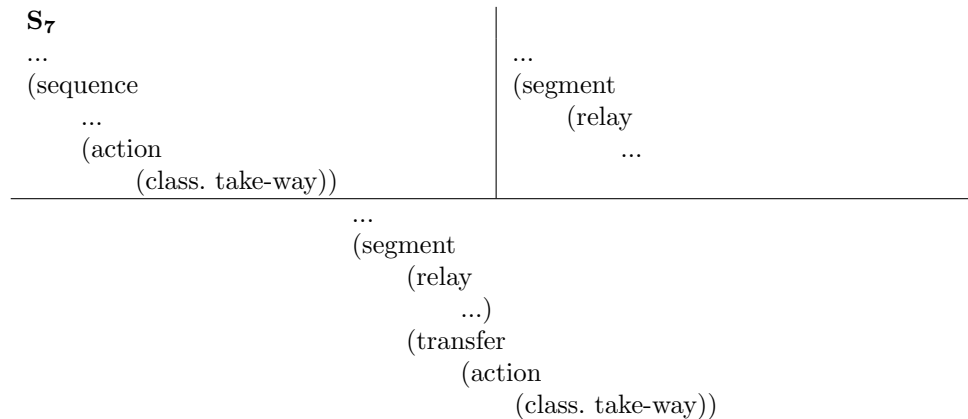


Diese Regel ist spezieller als **S₄**. In einem *relay* dürfen keine zwei Richtungswechsel direkt aufeinanderfolgen. Dies trägt typischen Konstruktionen in Routenbeschreibungen wie „Du gehst rechts, dann links, wieder rechts und...“ Rechnung. Damit soll im allgemeinen ausgedrückt werden, dass bei direkt aufeinanderfolgenden Richtungswechseln immer die nächstmögliche Abzweigung genommen werden soll. Dementsprechend wird an dieser Stelle auch wieder der Standardtransfer eingefügt und damit Unsicherheit für die Ausführung ausgedrückt.

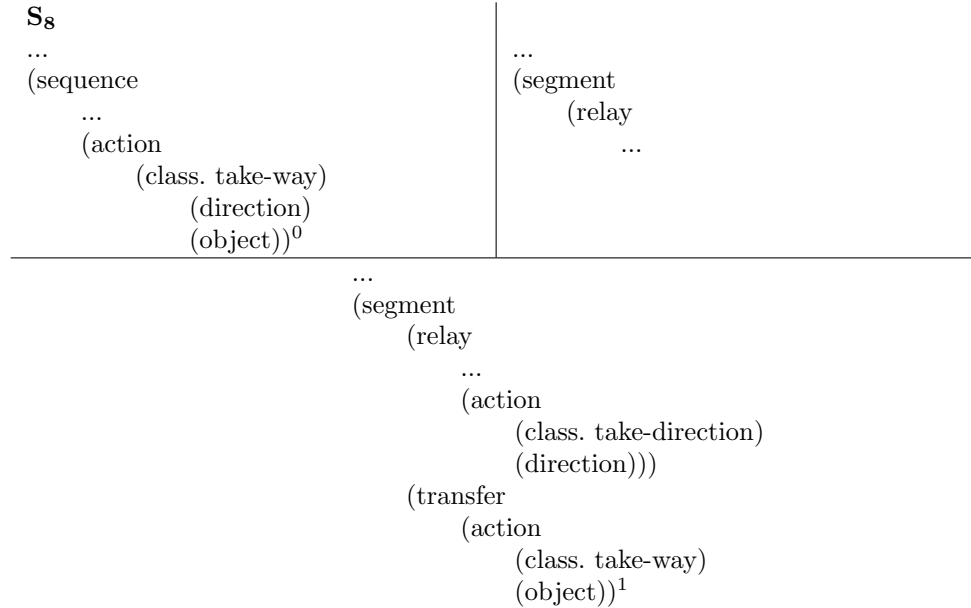


Befindet sich die Entwicklung der Routendarstellung in einem *transfer* und trifft man bei der sukzessiven Abarbeitung der textuellen Repräsentation auf eine Aktion der Klasse *take-direction*, so initiiert das einen neues *relay*. Das ist insofern problematisch, als daß keine Landmarke den Punkt der Umorientierung markiert. Und doch kommen solche Fälle in Routenbeschreibungen vor. Wie schon bei der Erklärung zur vorigen Regel erwähnt, impliziert ein *relay* bestehend nur aus einem Richtungswechsel, daß einfach die nächste Möglichkeit zum Richtungswechsel ergriffen werden soll. Ist die letzte Aktion des vorhergehenden *transfer* eine mit definiertem Endpunkt (also beispielsweise eine Aktion der Klasse *advance* und des Typs *go-past* im Gegensatz zu einer Aktion der Klasse *advance* und des Typs *go-along*), so muß diese beendet sein bevor nach der nächsten Möglichkeit zum Richtungswechsel Ausschau gehalten wird.

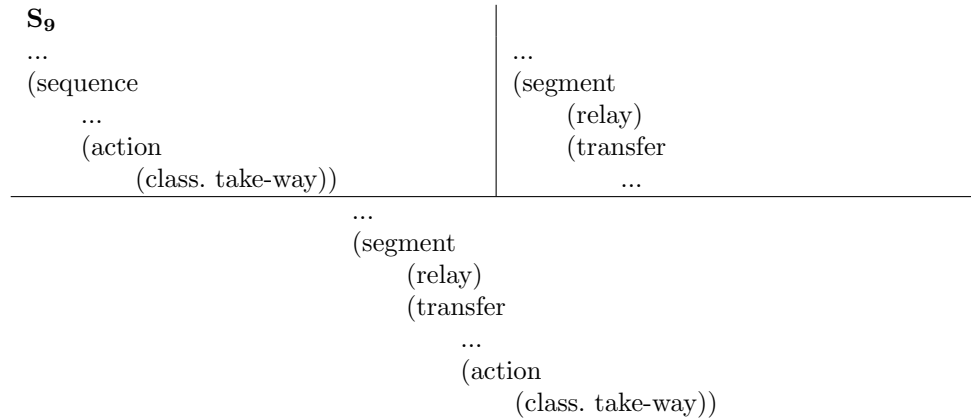
Aktionen der Klasse *take-way*



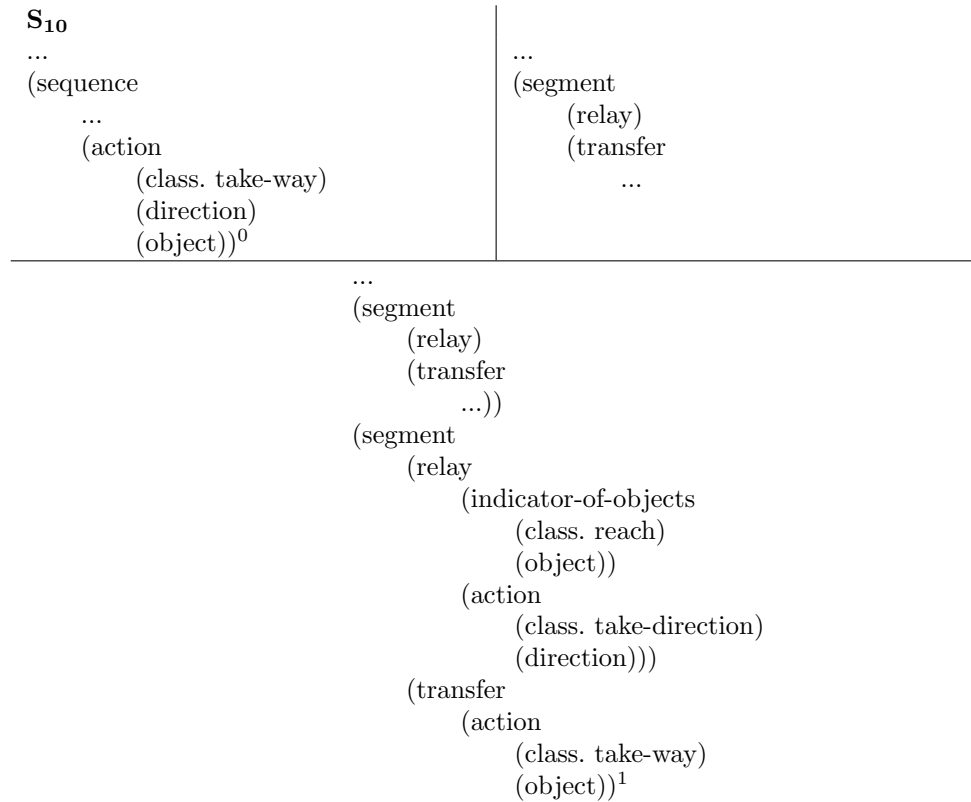
Befindet sich die Entwicklung der Routenrepräsentation in einem *relay* und trifft man bei der sukzessiven Abarbeitung der textuellen Repräsentation auf eine Aktion der Klasse *take-way*, so wird mit ihr der nächste *transfer* eröffnet. Eine Unsicherheit wird in diesem Fall nicht angenommen, da davon ausgegangen wird, daß nach einem Punkt der Umorientierung ein benannter Weg entweder sofort sichtbar sein muß oder evtl. sogar im *relay* explizit erwähnt wurde.



Diese Regel ist spezieller als **S₇** indem sie festlegt, die Aktion der Klasse *take-way* habe zwei mit einem Wert belegte Attribute. Befindet sich die Entwicklung der Routenrepräsentation in einem *relay* und trifft man bei der sukzessiven Abarbeitung der textuellen Repräsentation auf eine solche Aktion, so wird sie aufgespalten: Der Richtungswechsel wird Element des *relay* und die schlichte Aktion des Beschreiten des Weges erstes Element des nächsten *transfer*.

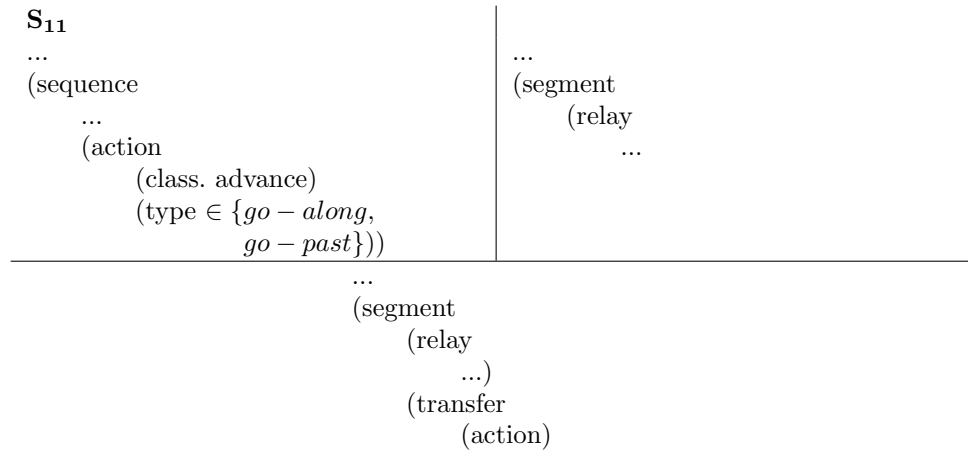


Befindet sich der Aufbau der Routendarstellung in einem *transfer* und das zu untersuchende Element der textuellen Darstellung ist eine Aktion der Klasse *take-way*, so wird grundsätzlich davon ausgegangen, es müsse keine Richtungsänderung vorgenommen werden, der Weg liege also in Richtung der bisherigen Fortbewegung. Diese Regel wird von der folgenden überschrieben.



Diese Regel ist spezieller als S_9 , indem sie Werte für beide Attribute der Aktion fordert. Befindet sich die Entwicklung der Routenrepräsentation in einem *transfer* und ist das gerade betrachtete Element der textuellen Darstellung eine Aktion der Klasse *take-way* mit einem Wert für *direction*, so wird davon ausgegangen, mit dem Beschreiten des Weges gehe auch eine Umorientierung einher und ein *relay* wird erzeugt. Das den Weg denotierende *object* wird mittels eines *indicator-of-objects* eingeführt und die Richtungsänderung wird ebenfalls Element des *relay*. Die Aktion des Beschreiten des Weges eröffnet den neuen Transfer nach der Umorientierung.

Aktionen der Klasse *advance*

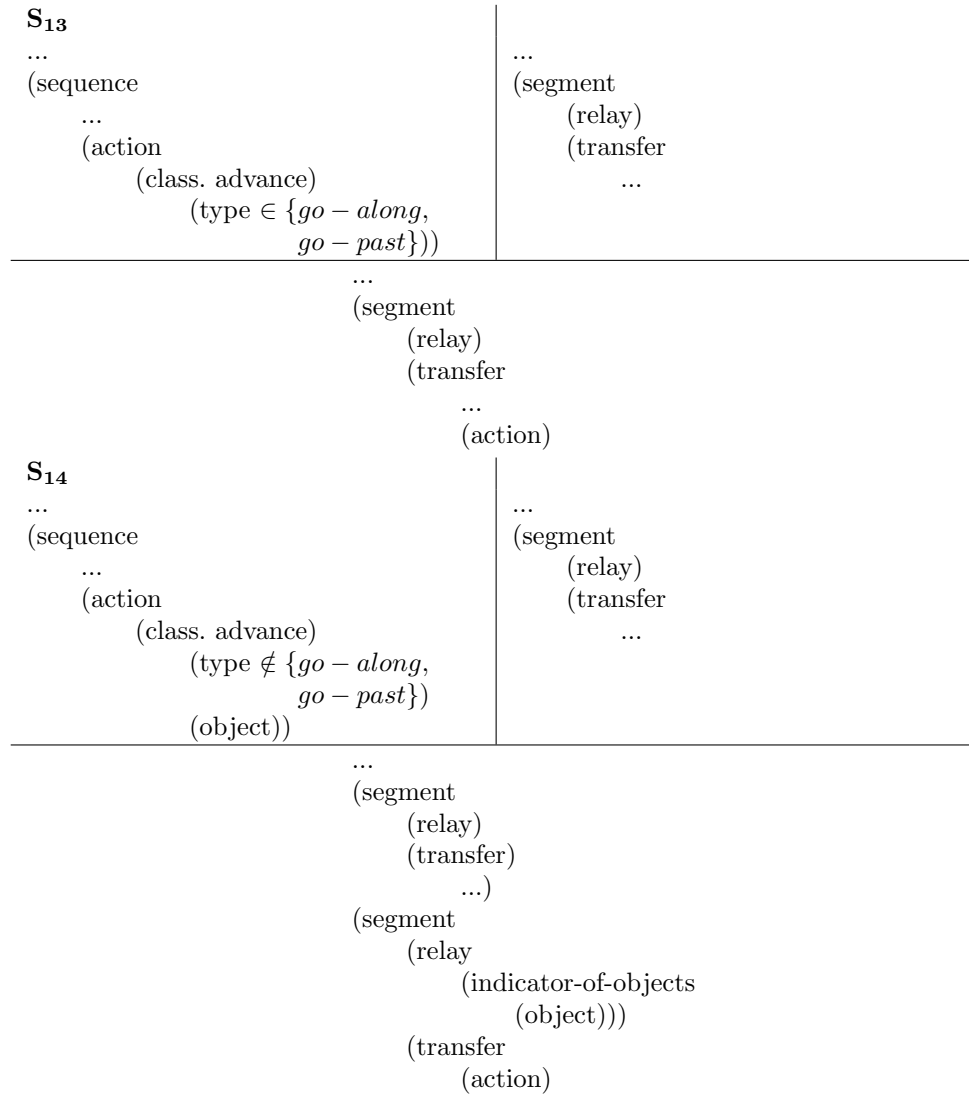


Einer Aktion der Klasse *advance* und des Typs *go-along* oder *go-past* werden in diesem Ansatz eine, wie [Denis, 1997] es nennt, „bestätigende“ Funktion zugesprochen, d.h. die benannten Landmarken liegen entlang des ohnehin schon eingeschlagenen Weges und dienen nur der Versicherung, der Instruierte sei noch auf dem richtigen Weg. Es wird also davon ausgegangen, im *relay* sei die Orientierung vorgenommen worden und eine solche Aktion diene lediglich der Absicherung, ohne daß eine Richtungsänderung nötig ist für ihre Ausführung.

S₁₂ ... (sequence ... (action (class. advance) (type \notin { <i>go – along</i> , <i>go – past</i> })) (object)) ⁰	... (segment (relay ...)
... (segment (relay ...) (transfer (action (class. take-direction) (direction) (directed. straight)))) (segment (relay (indicator-of-objects (class. reach) (object))) (transfer (action)) ⁰	

Anderen Aktionen der Klasse *advance* wird standardmäßig nicht diese bestätigende Funktion zugeschrieben, auch wenn sie diese in gewissen Anwendungsfällen durchaus haben können. So wird in solchen Fällen wieder der Unsicherheit implizierende Standardtransfer eingefügt (s. Erläuterung zur Regel **S₂**). Die Aktion selber wird aufgespalten: Das zugehörige *object* wird explizit eingeführt, was einen neuen *relay* bedingt und erst danach wird die Aktion selber eingefügt.

Die nächsten beiden Regeln folgen der Argumentation für die beiden zuletzt genannten Regeln **S₁₁** und **S₁₂**.



Map-survey

Map-surveys bergen einige interessante Probleme, auf die Abschnitt 3.4 ein wenig näher eingeht. Im hier vorgestellten Ansatz werden sie einstweilen der Einfachheit halber eingefügt, wo sie auftauchen, unabhängig von *relay* oder *transfer*.

3.3 Unsicherheiten

Wie bereits im vorigen Abschnitt bei den Erläuterungen der Regeln **S₂** und **S₁₂** beschrieben impliziert das Einfügen des Standardtransfers in die Routen-

darstellung (Aktion der Klasse *take-direction* mit der Richtung *straight*) eine Unsicherheit in der Repräsentation. Diese Unsicherheiten entstehen nicht auf unnatürliche Weise bei der Transformation der textuellen Repräsentation in die Repräsentation der Route sondern gehen auf tatsächliche Unsicherheiten in der eigentlichen Routenbeschreibung zurück (s.a. Einleitung). Das ist ein generelles Problem beim Gebrauch natürlicher Sprache und daher auch im Bereich der Routenbeschreibungen, wie auch [Fraczak, 1998] erläutert: natürlichsprachliche Routenbeschreibungen enthalten teilweise unvollständige oder vage Informationen. Dieser Ansatz versucht damit umzugehen. Sowohl der Standardtransfer als auch ein *indicator-of-objects* am Anfang eines *relay* implizieren eine solche Unsicherheit. Sie kann erst in der Ausführungsphase aufgelöst werden: hat der Ausführende „Glück“, so ist die Beschreibung exakt und lückenlos genug, dass er die Landmarke des *indicator-of-object* unmittelbar sieht oder gar erreicht hat bzw. kann der Standardtransfer komplett entfallen, da die folgende Aktion direkt ausführbar ist. In einem ungünstigeren Fall wird es nötig, daß der Instruierte sich in der Umgebung selbstständig bewegt (standardmäßig weiter geradeaus in der aktuell eingeschlagenen Richtung wie der Standardtransfer ja auch angibt) um die nötigen Informationen, meist die Lokalisierung einer Landmarke, zu sammeln für den nächsten Ankerpunkt der Routenbeschreibung.

3.4 Probleme

Wie bereits im Laufe des Kapitels an einigen Stellen erwähnt geht der hier vorgestellte Ansatz auf einige Probleme nicht detailliert ein. Sie sollen nun an dieser Stelle kurz beleuchtet werden.

Implizit formulierte Aktionen

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wird bei der Vermittlung von Routenwissen unterschieden zwischen *survey* oder *map knowledge*, welche räumliche Information ohne prozedurale Aspekte vermittelt, und *route knowledge*, bei der die prozeduralen Aspekte im Vordergrund stehen. Doch ist es ein häufiges Phänomen in natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen, mittels einer Formulierung, die eigentlich eindeutig *map knowledge* zuzuordnen ist (also im in Kapitel 1 vorgestellten Ansatz ein *map-survey*-Element), implizit eine Aktion auszudrücken. Ein mehrdeutiges Beispiel ist „Du gelangst an einen Weg, der auf ein großes Gebäude zuläuft. Du wendest Dich nach rechts und gehst ein einem Baum vorbei.“ Es ist nicht zweifelsfrei klar, ob dem Weg gefolgt werden soll oder nicht. Als Standardannahme bietet sich nur an, in solchen Fällen davon auszugehen, dem Weg sei nicht zu folgen. Es ist in einigen Fällen schlicht unmöglich, aus einer vollständigen Routenbeschreibung die Intention des Instruierenden allein anhand des Textes zu extrahieren. Die einzige Möglichkeit bleibt dann, anzunehmen, eine nicht explizit genannte Aktion wird auch nicht ausgeführt. Doch es gibt auch Fälle, in denen die Lage eindeutiger ist wie bsp. in folgendem Fragment einer Routenbeschreibung „Du gelangst an einen Weg, der

nach einer Linkskrümmung auf dem Vorplatz von Haus D endet. Dort gehst Du über eine Treppe...“. In diesem Falle wird durch die *anchorage-connection* ausgedrückt, daß dem Weg gefolgt werden muß, um die folgende Aktion überhaupt ausführen zu können. In anderen Fällen können z.B. Demonstrativpronomen auf eine implizite Aktion hindeuten, wie in „Links neben dem Haus befindet sich eine Brücke, die zu einer Wiese führt. Dort ist der Eingang zur Mensa. Diesen nimmst Du und...“. Anhand dieses Beispiels wird auch eine andere Problematik klar, u.a. bzgl. des Regelsystems in diesem Kapitel: Ist erkannt, daß auch nur ein einziger *map-survey* eine Aktion impliziert, so muß zusätzlich geprüft werden, ob dieser u.U. über weitere *map-surveys* weitere Aktionen impliziert. Im Fall des Beispiels ist neben der Aktion, über die Brücke zu gehen, zusätzlich die Aktion, an die linke Seite des Hauses zu gehen, enthalten. Auf diese Art und Weise kann eine ganze Kette von Aktionen nachträglich impliziert werden. Es werden also Regeln notwendig, von der formalen Struktur der *map-surveys* zu überführen in Aktionen und außerdem, solche Ketten zu erkennen.

Temporale Aspekte abseits der Sequentialität

In Abschnitt 3.3 wurden zunächst unter der Annahme der strengen Sequentialität alle *connections* aus der textuellen Darstellung entfernt. Für die meisten Anwendungsfälle ist das ausreichend. Doch natürlich gibt es vereinzelte Fälle, in denen *connections* eine bedeutendere Rolle spielen können. Auf solche des Typs *anchorage* wurde bereits eingegangen. Solche des Typs *alternative* sind seltener. Wie bereits in der Einleitung erwähnt ist das Planen einer Route eine der wichtigen kognitiven Operationen bei der Produktion einer Routenbeschreibung. Dabei legt sich der Sprecher im Normalfall auf eine fixe Route fest. *Connections* des Typs *overlap* sind zwar auch selten, doch gebräuchlicher. Wie in Abschnitt 2.2.3 werden sie am ehesten genutzt, um alternative Beschreibungen für ein und denselben Routenabschnitt zu formulieren („Du bewegst Dich Richtung Haus F. Dabei kommst du an drei großen Bäumen vorbei.“). In selteneren Fällen werden tatsächlich zwei unterschiedliche Aktionen benannt, die parallel stattfinden. Im Bereich der Routenbeschreibungen kommen dabei fast ausschließlich Aktionen des Bewegens zusammen mit Aktionen des Sehens in Frage („Du siehst den Fernsehturm zu Deiner Linken und bewegst Dich geradeaus auf Haus F zu.“). Wichtig ist bei der Analyse solcher Konstruktionen, den Skopus der *connection* korrekt zu erfassen. Im Satz „Während Du auf Haus F zugehst, kommst Du an drei Bäumen vorbei, dann nimmst Du eine leichte Rechtskrümmung.“ ist nicht klar, ob die Aktion des Abbiegens in die leichte Rechtskrümmung auch parallel zum Bewegen in Richtung auf Haus F zu stattfindet oder danach. Für *connections* des Typs *alternative* gilt dieselbe Problematik. Es müßten also entsprechende Mechanismen gefunden werden, sollten auch die Sequentialität durchbrechende *connections* in der Analyse berücksichtigt werden.

Anhang A

Beispiele

A.1 Beispiel 1

A.1.1 Text

Wenn Sie das Haus verlassen, wenden Sie sich bitte nach links und gehen unter der Brücke durch nach rechts, den großen Baum links liegenlassen. Sie stehen auf dem Vorplatz zu Haus D und Sie gehen auf dem gepflasterten Weg über die Wiese. Am Ende des Weges über die Wiese wieder nach rechts und stehen - sobald sie einen Aschenbecher vor der Tür sehen - am Eingang der Mensa.

A.1.2 Textuelle Repräsentation

```
(route-description
  (sequence
    (action
      (class. advance)
      (type. exit)
      (object
        (name. "Haus")
        (number. 1)
        (type. building)
        (id. 0))))
  (connection
    (connector
      (class. anchorage)))
  (sequence
    (action
      (class. take-direction)
      (direction
        (directed. left))))
  (connection
```

```

      (connector
        (class. succession)))
(sequence
  (action
    (class. advance)
    (type. go-under)
    (object
      (name. Br"ucke)
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 1)))
    (direction
      (directed. right)))
(sequence
  (action
    (class. advance)
    (type. go-past)
    (object
      (name. "großer Baum")
      (number. 1)
      (type. simple)
      (id. 2)
      (directional-relation
        (direction
          (directed. left))))))
(sequence
  (indicator-of-objects
    (class. reach)
    (object
      (name. "Vorplatz")
      (number. 1)
      (type. region)
      (id. 3)
      (object-relation)
        (type. of)
        (object
          (name. "Haus D")
          (number. 1)
          (type. building)
          (id. 4))))))
(connection
  (connector
    (class. succession)))
(sequence
  (action
    (class. take-way)

```

```

(object
  (name. "gepflasterter Weg")
  (number. 1)
  (type. way)
  (id. 5)
  (object-relation
    (class. via)
    (object
      (name. "Wiese")
      (number. 1)
      (type. region)
      (id. 6))))))
(sequence
  (path-relation
    (type. at)
    (object
      (name. "Ende")
      (number. 1)
      (type. simple)
      (id. 7)
      (object-relation
        (class. of)
        (object
          (name. "gepflasterter Weg")
          (number. 1)
          (type. way)
          (id. 8)
          (object-relation
            (class. via)
            (object
              (name. "Wiese")
              (number. 1)
              (type. region)
              (id. 9)))))))
    (action
      (class. take-direction)
      (direction
        (directed. right))))
  (connection
    (connector
      (class. succession)))
  (sequence
    (indicator-of-objects
      (class. see)
      (object
        (name. "Aschenbecher"))

```

```

        (number. 1)
        (type. simple)
        (id. 10)
        (directional-relation
          (type. in-front-of)
          (object
            (name. "Tür")
            (number. 1)
            (type. exit/entry)
            (id. 11))))))
(connection
  (connector
    (class. anchorage))
(sequence
  (indicator-of-objects
    (class. reach)
    (object
      (name. "Eingang")
      (number. 1)
      (type. entry/exit)
      (id. 12)
      (object-relation
        (type. of)
        (object
          (name. "Mensa")
          (number. 1)
          (type. simple)
          (id. 13)))))))

```

A.1.3 Routenmodell

```

(route-representation
  (segment
    (relay)
    (transfer
      (action
        (class. advance)
        (type. exit)
        (object
          (name. "Haus")
          (number. 1)
          (type. building)
          (id. 0)))
      (segment
        (relay
          (action

```

```

        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. left))))
    (transfer
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. straight))))
(segment
  (relay
    (indicator-of-objects
      (class. reach)
      (object
        (name. Br"ucke)
        (number. 1)
        (type. way)
        (id. 1))))
    (transfer
      (action
        (class. advance)
        (type. go-under)
        (object
          (id. 1))))
(segment
  (relay
    (action
      (class. take-direction)
      (direction
        (directed. right))))
    (transfer
      (action
        (class. advance)
        (type. go-past)
        (object
          (name. "großer Baum")
          (number. 1)
          (type. simple)
          (id. 2)
          (directional-relation
            (direction
              (directed. left))))))))
(segment
  (relay
    (indicator-of-objects
      (class. reach)
      (object

```

```

        (name. "Vorplatz")
        (number. 1)
        (type. region)
        (id. 3)
        (object-relation
          (type. of)
          (object
            (name. "Haus D")
            (number. 1)
            (type. building)
            (id. 4))))))
    (transfer
      (action
        (class. take-way)
        (object
          (name. "gepflasterter Weg")
          (number. 1)
          (type. way)
          (id. 5)
          (object-relation
            (class. via)
            (object
              (name. "Wiese")
              (number. 1)
              (type. region)
              (id. 6)))))))
    (segment
      (relay
        (indicator-of-objects
          (class. reach)
          (object
            (name. "Ende")
            (number. 1)
            (type. simple)
            (id. 7)
            (object-relation
              (class. of)
              (object
                (name. "gepflasterter Weg")
                (number. 1)
                (type. way)
                (id. 8)
                (object-relation
                  (class. via)
                  (object
                    (name. "Wiese")

```

```

                                (number. 1)
                                (type. region)
                                (id. 9))))))
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. right))))
    (transfer
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. straight))))))
  (segment
    (relay
      (indicator-of-objects
        (class. see)
        (object
          (name. "Aschenbecher")
          (number. 1)
          (type. simple)
          (id. 10)
          (directional-relation
            (type. in-front-of)
            (object
              (name. "Tür")
              (number. 1)
              (type. exit/entry)
              (id. 11))))))
      (transfer
        (action
          (class. take-direction)
          (direction
            (directed. straight))))))
    (segment
      (indicator-of-objects
        (class. reach)
        (object
          (name. "Eingang")
          (number. 1)
          (type. entry/exit)
          (id. 12)
          (object-relation
            (type. of)
            (object
              (name. "Mensa")
              (number. 1)

```

```
(type. simple)
(id. 13))))))
```

A.2 Beispiel 2

A.2.1 Text

Beim Ausgang von Haus E gehe man die Treppe herunter. Dann drehe man sich rechts. Man folge dem gepflasterten Weg, am blauen Wegweiser vorbei, in die Linkskrümmung. Nachdem man das Haus C zur Linken hinter sich gelassen hat und der gepflasterte Weg zu ende ist und man auf einem Parkplatz steht, drehe man nach links. Dem Gehweg an der Mensa und dem Haus B vorbei folgen. Am Ende des Gehweges schräg nach rechts an Haus A vorbeigehen. Die Schranke und der Ausgang sind von hier schon sichtbar.

A.2.2 Textuelle Repräsentation

```
(route-description
  (sequence
    (path-relation
      (type. at)
      (object
        (name. "Ausgang")
        (number. 1)
        (type. entry/exit)
        (id. 0)
        (object-relation
          (type. of)
          (object
            (name. "Haus E")
            (number. 1)
            (type. building)
            (id. 1))))))
    (action
      (class. take-way)
      (object
        (name. "Treppe")
        (number. 1)
        (type. way)
        (id. 2))))
  (connection
    (connector
      (class. succession)))
  (sequence
    (action
```

```

        (class. take-direction)
        (direction
         (directed. right))))
(sequence
 (action
  (class. take-way)
  (object
   (name. "gepflasterter Weg")
   (number. 1)
   (type. way)
   (id. 3)))
 (path-relation
  (type. past)
  (object
   (name. "blauer Wegweiser")
   (number. 1)
   (type. simple)
   (id. 4)))
 (path-relation
  (type. way)
  (object
   (name. "Linkskrümmung")
   (number. 1)
   (type. way)
   (id. 5))))
(sequence
 (action
  (class. advance)
  (type. go-past)
  (object
   (name. "Haus C")
   (number. 1)
   (type. building)
   (id. 6)
   (directional-relation
    (directed. left))))))
(sequence
 (indicator-of-objects
  (class. be)
  (object
   (name. "Ende")
   (number. 1)
   (type. simple)
   (id. 7)
   (object-relation
    (type. of)

```

```

                (object
                  (name. "gepflasterter Weg")
                  (number. 1)
                  (type. way)
                  (id. 8))))))
(sequence
  (indicator-of-objects
    (class. reach)
    (object
      (name. "Parkplatz")
      (number. 1)
      (type. region)
      (id. 9))))
(connection
  (connector
    (class. succession)))
(sequence
  (action
    (class. take-direction)
    (direction
      (directed. left))))
(sequence
  (action
    (class. take-way)
    (object
      (name. "Gehweg")
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 10)
      (object-relation
        (type. at)
        (object
          (name. "Mensa")
          (number. 1)
          (type. simple)
          (id. 11))))))
  (path-relation
    (type. past)
    (object
      (name. "Haus B")
      (number. 1)
      (type. building)
      (id. 12))))
(sequence
  (path-relation
    (type. at)

```

```

(object
  (name. "Ende")
  (number. 1)
  (type. simple)
  (id. 13)
  (object-relation
    (type. of)
    (object
      (name. "Gehweg")
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 14))))))
(direction
  (directed. halfway-right))
(action
  (class. advance)
  (type. go-past)
  (object
    (name. "Haus A")
    (number. 1)
    (type. building)
    (id. 15)))
(sequence
  (indicator-of-objects
    (class. see)
    (object
      (name. "Schranke")
      (number. 1)
      (type. simple)
      (id. 16)))
  (indicator-of-objects
    (class. see)
    (object
      (name. "Ausgang")
      (number. 1)
      (type. entry/exit)
      (id. 17)
      (object-relation
        (type. of)
        (object
          (name. "Gelände")
          (number. 1)
          (type. region)
          (id. 18)))))))

```

A.2.3 Routenmodell

```

(route-representation
  (segment
    (relay
      (indicator-of-objects
        (class. reach)
        (object
          (name. "Ausgang")
          (number. 1)
          (type. entry/exit)
          (id. 0)
          (object-relation
            (type. of)
            (object
              (name. "Haus E")
              (number. 1)
              (type. building)
              (id. 1)))))))
    (transfer
      (action
        (class. take-way)
        (object
          (name. "Treppe")
          (number. 1)
          (type. way)
          (id. 2))))))
  (segment
    (relay
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. right))))))
  (transfer
    (action
      (class. take-way)
      (object
        (name. "gepflasterter Weg")
        (number. 1)
        (type. way)
        (id. 3)))
    (action
      (class. advance)
      (type. go-past)
      (object
        (name. "blauer Wegweiser")

```

```

        (number. 1)
        (type. simple)
        (id. 4)))
(action
  (class. take-way)
  (object
    (name. "Linkskrümmung")
    (number. 1)
    (type. way)
    (id. 5)))
(action
  (class. advance)
  (type. go-past)
  (object
    (name. "Haus C")
    (number. 1)
    (type. building)
    (id. 6)
    (directional-relation
      (directed. left))))))
(segment
  (relay
    (indicator-of-objects
      (class. be)
      (object
        (name. "Ende")
        (number. 1)
        (type. simple)
        (id. 7)
        (object-relation
          (type. of)
          (object
            (name. "gepflasterter Weg")
            (number. 1)
            (type. way)
            (id. 8)))))))
  (transfer
    (action
      (class. take-direction)
      (direction
        (directed. straight))))))
(segment
  (relay
    (indicator-of-objects
      (class. reach)
      (object

```

```

        (name. "Parkplatz")
        (number. 1)
        (type. region)
        (id. 9)))
    (action
      (class. take-direction)
      (direction
        (directed. left))))
  (transfer
    (action
      (class. take-way)
      (object
        (name. "Gehweg")
        (number. 1)
        (type. way)
        (id. 10)
        (object-relation
          (type. at)
          (object
            (name. "Mensa")
            (number. 1)
            (type. simple)
            (id. 11))))))
      (action
        (class. advance)
        (type. go-past)
        (object
          (name. "Haus B")
          (number. 1)
          (type. building)
          (id. 12))))))
  (segment
    (relay
      (indicator-of-objects
        (class. reach)
        (object
          (name. "Ende")
          (number. 1)
          (type. simple)
          (id. 13)
          (object-relation
            (type. of)
            (object
              (name. "Gehweg")
              (number. 1)
              (type. way)

```

```

                (id. 14))))))
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. halfway-right))))
    (transfer
      (action
        (class. advance)
        (type. go-past)
        (object
          (name. "Haus A")
          (number. 1)
          (type. building)
          (id. 15))))))
  (segment
    (relay
      (indicator-of-objects
        (class. see)
        (object
          (name. "Schranke")
          (number. 1)
          (type. simple)
          (id. 16)))
      (indicator-of-objects
        (class. see)
        (object
          (name. "Ausgang")
          (number. 1)
          (type. entry/exit)
          (id. 17)
          (object-relation
            (type. of)
            (object
              (name. "Gelände")
              (number. 1)
              (type. region)
              (id. 18))))))))))

```

A.3 Beispiel 3

A.3.1 Text

Nach Verlassen des Hauses R drehe man sich nach links. Man müßte eine Überführung von Haus F zu Haus D sehen. In diese Richtung bewege man sich. Hinter der Überführung biege man rechts ab. Auf der linken Seite führt

ein gepflasterter Weg über den Rasen. Diesen gehe man. Am Ende des Weges rechts abbiegen. Die Mensa ist zur linken Seite.

A.3.2 Textuelle Darstellung

```
(route-description
  (sequence
    (action
      (class. advance)
      (type. exit)
      (object
        (name. "Haus R")
        (number. 1)
        (type. building)
        (id. 0))))
    (connection
      (connector
        (class. succession)))
    (sequence
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. left))))
    (sequence
      (indicator-of-objects
        (class. see)
        (object
          (name. "Überführung")
          (number. 1)
          (type. way)
          (id. 1)
          (object-relation
            (type. at)
            (object
              (name. "Haus F")
              (number. 1)
              (type. building)
              (id. 2)))
          (object-relation
            (type. lead-to)
            (object
              (name. "Haus D")
              (number. 1)
              (type. building)
              (id. 3))))))
    (sequence
```

```

      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (object
            (id. 1))))))
(sequence
  (path-relation
    (type. past)
    (object
      (name. "Überführung")
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 4)))
  (action
    (class. take-direction)
    (direction
      (directed. right))))
(sequence
  (map-survey
    (object
      (name. "gepflasterter Weg")
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 5)
      (object-relation
        (type. via)
        (object
          (name. "Rasen")
          (number. 1)
          (type. region)
          (id. 6)))
      (directional-relation
        (directed. left))))))
(sequence
  (action
    (class. take-way)
    (object
      (id. 5))))
(sequence
  (path-relation
    (type. at)
    (object
      (name. "Ende")
      (number. 1)
      (type. simple)
      (id. 7)

```

```

        (object-relation
          (type. of)
          (object
            (name. "Weg")
            (number. 1)
            (type. way)
            (id. 8))))
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. right))))
    (sequence
      (indicator-of-objects
        (class. be)
        (object
          (name. "Mensa")
          (number. 1)
          (type. simple)
          (id. 9)
          (directional-relation
            (directed. left))))))

```

A.3.3 Routenmodell

```

(route-representation
  (segment
    (relay)
    (transfer
      (action
        (class. advance)
        (type. exit)
        (object
          (name. "Haus R")
          (number. 1)
          (type. building)
          (id. 0))))))
  (segment
    (relay
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. left))))))
    (transfer
      (action
        (class. take-direction)
        (direction

```

```

                                (directed. straight))))))
(segment
  (relay
    (indicator-of-objects
      (class. see)
      (object
        (name. "Überführung")
        (number. 1)
        (type. way)
        (id. 1)
        (object-relation
          (type. at)
          (object
            (name. "Haus F")
            (number. 1)
            (type. building)
            (id. 2)))
          (object-relation
            (type. lead-to)
            (object
              (name. "Haus D")
              (number. 1)
              (type. building)
              (id. 3))))))
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (object
            (id. 1))))))
    (transfer
      (action
        (class. advance)
        (type. go-past)
        (object
          (name. "Überführung")
          (number. 1)
          (type. way)
          (id. 4))))))
  (segment
    (relay
      (action
        (class. take-direction)
        (direction
          (directed. right)))
      (map-survey
        (object

```

```

        (name. "gepflasterter Weg")
        (number. 1)
        (type. way)
        (id. 5)
        (object-relation
         (type. via)
         (object
          (name. "Rasen")
          (number. 1)
          (type. region)
          (id. 6)))
        (directional-relation
         (directed. left))))))
    (transfer
     (action
      (class. take-way)
      (object
       (id. 5))))))
(segment
 (relay
  (indicator-of-objects
   (class. reach)
   (object
    (name. "Ende")
    (number. 1)
    (type. simple)
    (id. 7)
    (object-relation
     (type. of)
     (object
      (name. "Weg")
      (number. 1)
      (type. way)
      (id. 8))))))
   (action
    (class. take-direction)
    (direction
     (directed. right))))))
    (transfer
     (action
      (class. take-direction)
      (direction
       (directed. straight))))))
(segment
 (relay
  (indicator-of-objects

```

```
(class. be)
(object
  (name. "Mensa")
  (number. 1)
  (type. simple)
  (id. 9)
  (directional-relation
    (directed. left))))))
```

Literaturverzeichnis

- [Fraczak, 1998] L. Fraczak. Generating „Mental Maps“ from Route Descriptions. In P. Olivier, K. Gapp (eds.), *Spatial Language. Cognitive and Computational Perspectives* (pp. 19–42). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [Maaß Wazinski und Herzog, 1993] W. Maaß ,P. Wazinski und G. Herzog. VITRA GUIDE: Multimodal Route Descriptions for Computer Assisted Vehicle Navigation. In *Proc. of the Sixth Int. Conf on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems IEA/AIE-93* (pp. 144–147). Edinburgh, 1993.
- [Maaß, 1994] W. Maaß. From Visual Perception to Multimodal Communication: Incremental Route Descriptions. In *AI Review Journal*. Vol 8(2-3) (p. 195 ff.), 1994.
- [Denis, 1997] M. Denis. The description of routes: A cognitive approach to the production of spatial discourse. In *Cahiers de Psychologie Cognitive* 16 (pp. 409–458), 1997.
- [Bugmann et. al., 2001] G. Bugmann, S. Lauria, T. Kyriacou, E. Klein, J. Bos und K. Coventry. Using Verbal Instructions for Route Learning: Instruction Analysis. In *Towards Intelligent Mobile Robots. Technical Report Series, Department of Computer Science, Manchester University*. ISSN 1361 - 6161. Report number UMC-01-4-1. Manchester, 2001.
- [Tschander et. al., 2003] L. B. Tschander, H. R. Schmidtke, C. Eschenbach, C. Habel, L. Kulik. A Geometric Agent Following Route Instructions. In C. Freksa, W. Brauer, C. Habel, K.F. Wender (eds.), *Spatial Cognition III* (pp. 89–111). Berlin: Springer, 2003.