

Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Department Informatik
Arbeitsbereich Wissens- und Sprachverarbeitung

Diplomarbeit

Verarbeitung diskontinuierlicher Segmente
natürlichsprachlicher Routenbeschreibungen

Hamburg, 9. Juli 2008

Matthias Kerzel
1kerzel@informatik.uni-hamburg.de
Studiengang Informatik
Matrikelnr.: 5410081

Erstgutachter:
Prof. Dr. Christopher Habel

Zweitgutachterin:
Dr. Carola Eschenbach

Zusammenfassung

Der *Geometrische Agent* ist ein Forschungsprojekt des Arbeitsbereichs Wissens- und Sprachverarbeitung, in dem die Navigation eines Agenten in einer virtuellen Umgebung anhand natürlichsprachlicher in-advance-Routenbeschreibungen simuliert wird. Eine Teilaufgabe des Agenten ist es eine Routenbeschreibung zu „verstehen“, also ein internes Modell der beschriebenen Route und der auszuführenden Handlungen auf Basis einer natürlichsprachlichen Routenbeschreibung zu erzeugen. Dazu wird aus einer Routenbeschreibung eine Folge von Handlungsanweisungen extrahiert, welche durch räumliche Informationen spezifiziert sind. Natürlichsprachliche Routenbeschreibungen können Wiederholungen enthalten, in denen gleiche Aktionen oder gleiche Folgen von Aktionen, mehrfach beschrieben werden. Werden diese Wiederholungen nicht erkannt, so führt dies zum Aufbau eines fehlerhaften Modells der beschriebenen Route und der auszuführenden Handlungen. In dieser Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, welches Wiederholungen in natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen erkennen und in ein zusammenhängendes Modell einer Route integrieren kann. Dadurch ist es möglich, einen Aktionsplan zu generieren, der frei von Wiederholungen ist und für die Navigation eines Agenten genutzt werden kann.

Danksagung

Folgenden Personen möchte ich danken:

- Meinen Eltern für ihre Unterstützung während des gesamten Studiums.
- Meiner Freundin für die emotionale Unterstützung während der Diplomarbeit.
- Herrn Prof. Dr. Christopher Habel, meinem Erstgutachter, der seit dem Grundstudium mein Interesse an wissensbasierten Systemen geweckt und wachgehalten hat, mich durch interessante Diskussionen auf das Thema dieser Arbeit brachte und mit Anregungen und Kritik unterstützt hat.
- Frau Dr. Carola Eschenbach, meiner Zweitgutachterin, die mich ebenfalls durch Anregungen und Kritik unterstützt hat.
- Meinen Korrekturlesern Dirk Fust und Sebastian Hoffmann.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
1.1	Lösungsansatz	16
1.1.1	Was in dieser Arbeit nicht behandelt wird	17
1.2	Diskontinuierliche Routenanteile und Zielsetzung ihrer Verarbeitung . . .	17
1.3	Motivation	20
1.4	Überblick über die Arbeit	21
1.5	Konventionen	22
2	Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen	23
2.1	Einleitung	23
2.2	Erzeugung von Routenbeschreibungen	23
2.2.1	Routenbeschreibungen als Kommunikation	24
2.2.2	Kognitives Modell der Erzeugung von Routenbeschreibungen . . .	24
2.3	Sprachliche Analyse von Routenbeschreibungen	28
2.3.1	Rahmenwerk zur Analyse von Routenbeschreibungen nach Denis .	28
2.3.2	Empirische Studie zum Chunking von räumlichen Informationen .	31
2.4	Routenbeschreibungen als Instruktionen eines Agenten	34
2.4.1	Agentenumgebung von Routenbeschreibungen	34
2.4.2	Der Agent	37
2.4.3	Routenbeschreibungen als linear strukturierte Folge von Aktionen und Zuständen	37
3	Diskontinuitäten	39
3.1	Einleitung	39
3.2	Diskontinuitäten: Nicht lineare Anteile von Routenbeschreibungen . . .	39
3.2.1	Erwartete und tatsächliche Struktur von Routenbeschreibungen . .	39
3.2.2	Arten von Diskontinuitäten	41
3.3	Analyse des Trierkorpus	42
3.3.1	Eigenschaften von Korpora von Routenbeschreibungen und die be- sondere Stellung des Trierkorpus	43
3.3.2	Analyse der Vorkommen von Diskontinuitäten im Trierkorpus . . .	45
3.4	Erklärungsmodelle für die Entstehung von Diskontinuitäten	47
3.4.1	Erklärung durch Korrektur: Diskontinuitäten als Korrektur	47
3.4.2	Erklärung durch Interaktion: Diskontinuitäten als Reaktion auf Rückmeldung	48

3.4.3	Erklärung durch Strukturierung: Diskontinuitäten als mangelnde Strukturierung	48
3.4.4	Erklärung durch Recallprozesse: Diskontinuitäten durch Verbesserung des Abrufs relevanten räumlichen Wissens während einer Routenbeschreibung	49
3.4.5	Erklärung durch Chunking: Diskontinuitäten als Folge der hierarchischen Organisation von räumlichem Wissen beim Auskunftsgebenden	49
3.4.6	Erklärung durch didaktisches Chunking	50
3.4.7	Erklärung durch didaktische Wiederholung	50
3.4.8	Erklärung durch Inhärenz: Diskontinuitäten durch inhärent diskontinuierliche Beschreibungsanteile	51
4	Der Geometrische Agent	53
4.1	Einleitung	53
4.2	Instruktionsphase	54
4.2.1	Elemente der Satzbedeutung	54
4.2.2	Aktionsplan und internes Modell der Route	56
4.3	Navigationsphase	59
4.3.1	Wahrnehmung des GA	59
4.3.2	Basisaktionen des Agenten	60
4.3.3	Umgebungsmodell (Environmental Model)	60
5	Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung	63
5.1	Einleitung	63
5.2	Segmentierung	64
5.3	Korpusanalyse und Segmentierungsrichtlinie	67
5.3.1	Ermittlung von Satzbedeutung und Segmentierung	67
5.3.2	Segmentierungsrichtlinie auf Grundlage der Propositionen in Routenbeschreibungen nach Denis	67
5.4	Lokale Relationen von aufeinander folgenden Segmenten	69
5.4.1	Lokale Relationen im untersuchten Korpus	73
5.5	Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung	73
5.5.1	Ablauf von DIV	74
5.5.2	Initialisierung	75
5.5.3	Inkrementeller Aufbau eines zusammenhängenden Instruktionsmodells	76
5.5.4	Struktur eines inkrementell aufgebauten Instruktionsmodells	82
5.5.5	Finalisierung	82
5.5.6	Einordnung in die Navigationsphase des GA	83
5.6	Eigenschaften von Segmenten zur Bestimmung der lokalen Relation	84
5.6.1	Inhaltliche Eigenschaften	84
5.6.2	Aus dem Beschreibungsanteil extrahierte Eigenschaften	88

5.7	Ermittlung lokaler Relationen auf Grundlage von Eigenschaften von Segmenten	93
5.7.1	Ermittlung distal diskontinuierlicher Relationen	94
5.7.2	Ermittlung lokaler Relationen von Ortssegmenten	96
5.7.3	Bestimmung lokaler Relationen von Pfadsegmenten	97
5.7.4	Beispiel für Ermittlung lokaler Relationen	100
6	Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle	103
6.1	Einleitung	103
6.2	Grundlagen der Integration	103
6.3	Distale Relationen zwischen Instruktionsmodellen und mögliche Integration	106
6.3.1	Distale Relationen	106
6.4	Überblick über das Integrationsverfahren	110
6.5	Koreferenzen auf Grundlage von einzigartigen Landmarken	111
6.5.1	Verfahren zur Ermittlung von Landmarken-Koreferenzen	112
6.5.2	Bestimmung distaler Relationen auf Grundlage von sicheren Koreferenzen	116
6.6	Koreferenzen auf Grundlage ähnlicher Beschreibungen von Pfaden oder Orientierungspunkten	117
6.7	Struktur-Koreferenzen	120
6.7.1	Ermittlung von Evidenzen gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen und Korrektur von Defaultschlüssen über lokale Relationen	121
6.7.2	Herstellung von Struktur-Koreferenzen	128
6.7.3	Umgang mit nicht koreferenten Knoten	129
6.7.4	Korpusanalyse zu Struktur-Koreferenzen	132
6.8	Finalisierung der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung	132
6.8.1	Umgang mit ungebundenen Instruktionsmodellen	133
6.8.2	Ergänzung des Instruktionsmodells zu einer vollständigen Route .	134
6.9	Beispiel für Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle	135
7	Fazit und Ausblick	141
7.1	Einleitung	141
7.2	Evaluation der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung	141
7.2.1	Ermittlung lokaler Relationen	141
7.2.2	Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle und Finalisierungsphase	144
7.2.3	Bestehende Probleme und mögliche Veränderungen an der Navigationsphase des GA	147
7.2.4	Fazit über den technischen Nutzen von DIV	148
7.2.5	Kognitionswissenschaftliches Fazit	149
7.3	Ausblick	150
7.3.1	Nutzung diskontinuierlicher Beschreibungsanteile	150
7.3.2	Generierung von hierarchisch strukturierten Routenbeschreibungen	151

Inhaltsverzeichnis

7.3.3 Übertragbarkeit auf andere Diskursthemen 151

Abbildungsverzeichnis

1.1	Korrektter Verlauf der in Beispiel 2 beschriebenen Route	18
1.2	Integration der Aktionsfolgen von Abschnitt 2 und Abschnitt 4	20
2.1	Modell einer Routenbeschreibungssituation	25
2.2	Links: Darstellung einer räumlichen Umgebung. Rechts: Bildliche Darstellung einer möglichen kognitiven Karte der Umgebung mit Begradigungen, rechten Winkeln und Einordnung (in Himmelsrichtungen)	26
2.3	Statische Präsentation der Route. Routenabschnitte, welche räumlich zusammengefasst werden können, sind hervorgehoben. (Abb. aus [Klippel et al. 03])	32
2.4	Vorkommen der verschiedenen Chunkingmethoden in Prozent (Abb. aus [Ruschmeier 03])	33
3.1	Struktur einer Route	40
3.2	Kontinuierlicher Fall	41
3.3	Diskontinuierlicher Fall	41
3.4	Hierarchische Organisation von räumlichem Wissen. Links: Unter Zeitdruck werden die Elemente in der Abfolge des Abrufs beschrieben. Rechts: Beschreibung analog zum Verlauf der Route.	50
3.5	Route mit alternativem Verlauf	51
3.6	Bildliche Darstellung einer Routenbeschreibung mit Restriktion. Der graue Teil der Beschreibung zeigt, welchen Weg man nicht gehen soll.	52
4.1	Architektur der Instruktionsphase des GA (Quelle: [Tschander et al. 03]) .	54
4.2	Beispiel für Extraktion von Satzbedeutungen aus natürlichsprachlicher Wegbeschreibung. Auszuführende Aktionen sind durch ein „!“ gekennzeichnet. (Quelle: [Tschander et al. 03])	57
4.3	CRIL-Netze zu Satzbedeutungen (Quelle: [Tschander et al. 03])	58
4.4	GCS-Regeln für Start- und Endpunkte von Pfaden in Abhängigkeit der räumlichen Relation der Pfade zu Regionen (Quelle: [Tschander et al. 03])	58
4.5	Durch GCS erweiterte CRIL-Netze zu Satzbedeutungen (Quelle: [Tschander et al. 03])	59
4.6	Verknüpfung von Start- und Endpunkt zweier CRIL-Netze (Quelle: [Tschander et al. 03])	60
4.7	Interne Repräsentationen des GA (Quelle: [Tschander et al. 03])	61
4.8	Navigationsphase des Geometrischen Agenten (Quelle: [Tschander et al. 03])	62
5.1	CRIL-Netze und ihr Anteil an der Route	66
5.2	Operation für Ortssegment mit ermittelter kontinuierlicher Relation. . . .	78

Abbildungsverzeichnis

5.3	Operation für Ortssegment mit ermittelter lokal diskontinuierlicher Relation.	79
5.4	Operation für Ortssegment mit durch Defaultschluss ermittelter kontinuierlicher Relation.	79
5.5	Operation für Pfadsegment mit ermittelter kontinuierlicher Relation.	80
5.6	Operation für Pfadsegment mit ermittelter stationär diskontinuierlicher Relation.	80
5.7	Operation für Pfadsegment mit durch Defaultschluss ermittelter kontinuierlicher Relation.	81
5.8	Beispiel für einen Ausschnitt aus einem Instruktionsmodell	82
5.9	Architektur der durch DIV erweiterten Instruktionsphase des GA	83
6.1	Mögliche Orientierungspunkte von Wiederholungen	105
6.2	Distale Relationen zwischen initialem Instruktionsmodell A und diskontinuierlichem Instruktionsmodell B, mögliche Integrationen der Instruktionsmodelle	108
6.3	Repräsentation ähnlicher Teile einer Route zwischen zwei Koreferenzen.	118
6.4	Repräsentation ähnlicher Teile einer Route zwischen Beginn der Instruktionsmodelle und einer Koreferenz.	118
6.5	Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen Startpunkt und koreferentem Orientierungspunkt	122
6.6	Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen zwei koreferenten Orientierungspunkten	124
6.7	Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen koreferentem Orientierungspunkt und dem Endpunkt der Route	125
6.8	Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen koreferentem Orientierungspunkt und dem letzten Orientierungspunkt des initialen Instruktionsmodells	126
6.9	Korrektur von Default-Identifikation wegen Evidenz gegen Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz	128
6.10	Regeln zur Ermittlung von Struktur-Koreferenzen	130
6.11	Instruktionsmodell mit Alternative durch nicht koreferente Pfade	131
6.12	Initiales und diskontinuierliches Instruktionsmodell, welche aus Routenbeschreibung R_1 generiert worden sind und Landmarken-Koreferenzen zwischen den Instruktionsmodellen	136
6.13	Integriertes Instruktionsmodell zur Routenbeschreibung R_1	139

Tabellenverzeichnis

2.1	Aktionsbeschreibungen mit Bezug auf Landmarken nach [Denis 98]	30
3.1	Vorkommen von Diskontinuitäten im Trierkorpus	45
4.1	Aktionen in CRIL	55
4.2	Räumliche Relationen in CRIL. (Quelle: [Tschander et al. 03])	56
5.1	CRIL-Repräsentation einer Routenbeschreibung	65
5.2	Verteilung der lokalen Relationen im untersuchten Korpus	73
5.3	Evaluation der Bedingungen zur Ermittlung distal diskontinuierlicher Relation	95
5.4	Evaluation der Regeln zur Ermittlung lokaler Relationen von Ortssegmenten	97
5.5	Evaluation der Regeln zur Ermittlung lokaler Relationen von Pfadsegmenten	99
5.6	Beispiel für Eigenschaften und ermittelte lokale Relationen von Segmenten	101
6.1	Verteilung der Repräsentation gleicher oder verschiedener Pfade und Orientierungspunkte in distalen Instruktionsmodellen	105
6.2	Zeitliche Relationen zwischen zwei zeitlichen Intervallen A und B nach Allen	107
6.3	Zulässige und unzulässige distale Relationen zwischen einem initialen Instruktionsmodell A und einem initialen Instruktionsmodell B	108
6.4	Räumliche Relationen in CRIL	113
6.5	Kompatibilität von räumlichen Relationen in CRIL	113
6.6	Evidenzen gegen Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz im untersuchten Korpus	133
6.7	Segmentierung und ermittelte lokale Relationen der Routenbeschreibung R_1	137
6.8	Mögliche Aktionspläne, welche aus dem integrierten Instruktionsmodell der Routenbeschreibung R_1 generiert werden können	138
7.1	Falsch ermittelte lokale Relationen vor der Korrektur durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle	142
7.2	Falsch ermittelte lokale Relationen nach der Korrektur durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle	143
7.3	Häufigkeit der Anwendung der Regeln zur Bestimmung lokaler Relationen im untersuchten Korpus	144

Tabellenverzeichnis

7.4 Nutzung von inhaltlichen und sprachlichen Eigenschaften von Segmenten
zur Ermittlung lokaler Relationen 145

1 Einleitung

Routenbeschreibungen ermöglichen es kognitiven Systemen, eine mentale Repräsentation auch unbekannter Umgebungen aufzubauen. Auf dieser Grundlage können eigene Handlungen geplant und ausgeführt werden, die es beispielsweise erlauben, von einem Startort zu einem gewünschten Zielort zu gelangen.

Dieser Prozess wird als Navigation bezeichnet. Er steht im Interesse der kognitiven Wissenschaften, da er grundlegende kognitive Fähigkeiten wie Repräsentation räumlicher Informationen, Perzeption, Integration mentaler Modelle und die Planung zielgerichteter Handlungen umfasst. Das maschinelle Verstehen von natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen ist zudem ein aktuelles Problem der Sprachverarbeitung.

Im Rahmen des Projektes „Geometrischer Agent“ an der Universität Hamburg, wurde ein Rahmenwerk zur Forschung an kognitiven Grundlagen der Verarbeitung von Routenbeschreibungen geschaffen [Tschander et al. 03]. Der Geometrische Agent ist ein künstliches kognitives System, welches, ausgehend von einer im Voraus gegebenen Routenbeschreibung (in advance route description), im Folgenden in-advance-Routenbeschreibung genannt, innerhalb einer virtuellen, dem Agenten nur durch eigene Perzeption zugänglichen Umgebung, navigiert.

Um das Verstehen von natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen zu erforschen, ist es zunächst hilfreich, sich mit dem zugrunde liegenden Generierungsprozess auseinander zu setzen. Zur verbalen oder schriftlichen Kommunikation mentaler Repräsentationen, muss aus der Fülle vorhandener Informationen, nicht nur eine Teilmenge ausgewählt werden, die Informationen müssen bedingt durch die Struktur des Mediums in eine lineare Folge gebracht werden. Im Falle von Routenbeschreibungen gilt als wichtigstes Kriterium für die Linearisierungsstrategie die Struktur der beschriebenen Route [Porzel et al. 02].

Ausgehend von einem Korpus mündlicher Routenbeschreibungen, möchte ich aufzeigen, dass natürlichsprachliche Routenbeschreibungen nicht immer dieser Linearisierungsstrategie folgen. So werden Aktionen nicht in der Reihenfolge beschrieben, in der sie auf einer Wanderung entlang der Route ausgeführt werden müssen. Dies kann durch Fehlleistungen im Generierungsprozess oder die Wahl anderer Linearisierungsstrategien erklärt werden. Die Routenbeschreibung kann die lineare Struktur der Route durch Wiederholungen, Korrekturen, Alternativen und andere inhärent nichtlineare Anteile verlassen. Dieses Phänomen wird im Rahmen dieser Arbeit als **Diskontinuität** bezeichnet, die entsprechenden Anteile der Routenbeschreibung, welche die lineare Struktur der Route verlassen, als **diskontinuierlich**.

Diskontinuierliche Routenanteile stellen ein Problem für das bestehende kognitive Modell der Verarbeitung von Routenbeschreibungen im Geometrischen Agenten dar. Die Rou-

1 Einleitung

tenbeschreibung wird als eine Folge von räumlich spezifizierten Handlungsanweisungen aufgefasst und als (noch nicht vollständiger) Aktionsplan des navigierenden Agenten verwendet. Ein diskontinuierlicher Routenanteil würde nicht als solcher erkannt und in die Aktionsfolge eingefügt werden. Wird beispielsweise in der Mitte einer Routenbeschreibung noch einmal neu angesetzt und die Route von vorn beschrieben, würden die in der Wiederholung beschriebenen Handlungen erneut in den Aktionsplan eingefügt werden. Das ist unbefriedigend, da dies weder eine erfolgreiche Navigation verspricht noch als adäquate Modellierung der kognitiven Prozesse zur Bildung mentaler Modelle angesehen werden kann.

1.1 Lösungsansatz

In dieser Arbeit wird ein erweitertes Modell zur Verarbeitung von in-advance-Routenbeschreibungen vorgeschlagen, das exemplarisch für diskontinuierliche Routenbeschreibungsanteile der Art Wiederholung, den Aufbau zusammenhängender Routenmodelle aus diskontinuierlichen Routenbeschreibungen löst. Die Verarbeitung ist nach dem Vorbild einer bestehenden kognitiven Architektur entworfen [Budi & Anderson 04], die einen inkrementellen Verarbeitungsprozess von Texten modelliert. Durch einen Parser werden aus der Routenbeschreibung einzelne Satzbedeutungen extrahiert, welche räumliche Informationen und Handlungsanweisungen enthalten. Diese Satzbedeutungen werden in Segmente zerlegt. Ausgehend vom ersten aus der Routenbeschreibung extrahierten Segment wird inkrementell eine Repräsentation der beschriebenen Route aufgebaut. Dieses Modell wird als **initiales Instruktionsmodell**¹ bezeichnet und spiegelt die Annahmen des Agenten über die durch die Beschreibung intendierten Handlungen wider. Jedes neue Segment wird auf seine Relation zum zuvor verarbeiteten Segment geprüft und entsprechend dieser Relation integriert. Dazu wird sowohl die in dem Segment enthaltene räumliche Information als auch sprachliche Eigenschaften des zugehörigen Teils der natürlichsprachlichen Routenbeschreibung genutzt. Es wird versucht, neue Segmente zunächst lokal, das heißt, in den letzten aufgebauten Abschnitt des Modells der Route zu integrieren. Liegt ein Verdacht vor, dass ein Segment zu einem nicht lokal integrierbaren diskontinuierlichen Beschreibungsanteil gehört, wird die Integration in das initiale Instruktionsmodell verzögert. Ausgehend von dem möglicherweise nicht lokal diskontinuierlichen Segment wird durch die Verarbeitung weiterer Segmente, nach dem gleichen Prinzip ein diskontinuierliches Instruktionsmodell aufgebaut. Erst wenn alle notwendigen Informationen für eine erfolgreiche Integration vorliegen, ein weiterer Verdacht auf eine nicht lokale Diskontinuität auftritt oder aber keine weiteren Satzbedeutungen aus der Routenbeschreibung entnommen werden können, findet eine Integration des diskontinuierlichen Instruktionsmodells in das initiale Instruktionsmodell statt. Durch diesen Prozess können Wiederholungen in Routenbeschreibungen erkannt und ein zusammenhängendes Instruktionsmodell, welches frei von Wiederholungen ist, aufgebaut

¹Der Begriff *Instruktionsmodell* wird in dieser Arbeit verwendet, um Repräsentationen von Routenbeschreibungen oder Teilen von Routenbeschreibungen zu bezeichnen.

1.2 Diskontinuierliche Routenanteile und Zielsetzung ihrer Verarbeitung

werden. Dieses kann als (vorläufiger) Aktionsplan eines Agenten zur Navigation genutzt werden.

1.1.1 Was in dieser Arbeit nicht behandelt wird

Diese Arbeit geht von einem idealisierten Parser aus. Daher wird die Extraktion von Satzbedeutungen aus natürlichsprachlichen Routenbeschreibungen nicht behandelt. Ebenfalls wird nicht darauf eingegangen, wie ein Agent mit den entstehenden Instruktionsplänen navigieren kann.

1.2 Diskontinuierliche Routenanteile und Zielsetzung ihrer Verarbeitung

Einleitend möchte ich das Problem der Diskontinuitäten an einer Beispielroutenbeschreibung erläutern und darstellen, welche Ergebnisse für eine Verarbeitung von Routenbeschreibungen mit diskontinuierlichen Anteilen angestrebt werden.

In einer Routenbeschreibung ohne diskontinuierliche Anteile (im Folgenden kontinuierlich genannt) verläuft die Abfolge von beschriebenen Bewegungsaktionen und Landmarken linear entlang der Route. Landmarken sind Objekte der realen Welt, welche genutzt werden, um die Bewegungsaktionen zu spezifizieren. Beispiel 1 zeigt eine solche kontinuierliche Routenbeschreibung. Sie kann als ein natürlichsprachlich formuliertes imperatives Programm verstanden werden, wobei die Umsetzung der einzelnen Anweisungen allerdings wiederum komplizierte kognitive Fähigkeiten voraussetzt.

Beispiel 1: Kontinuierliche Routenbeschreibung: (Informatik Korpus)

„Vom Pförtnerhaus startend die Straße im Wesentlichen geradeaus gehen und alle Abzweigungen ignorieren. Die Straße führt unter einer Überführung zweier Häuser durch, die bereits vom Pförtnerhaus sichtbar ist. Hinter der Überführung nach links abbiegen und der Straße folgen, an deren rechtem Ende sich ein Haus befindet, welches Haus E ist.“

Eine diskontinuierliche Beschreibung hingegen verlässt die lineare Struktur der beschriebenen Route. Beispiel 2 zeigt eine diskontinuierliche Routenbeschreibung mit mehrfachen Wiederholungen. Der korrekte Verlauf der Route ist in Abbildung 1.1 dargestellt, die Position der Landmarken „Karstadt“ und „Kaufhof“ sind in der Karte hervorgehoben.

Beispiel 2: Diskontinuierliche Routenbeschreibung: (Trierkorpus, gekürzt)

„Der Pferdemarkt... da müsst Ihr da vorgehen ersteinmal. Bis vor den Kaufhof. Und dann links runter. Vor, zwischen Kaufhof und Karstadt, da gehen Se mal links runter, immer geradeaus, ist nicht weit. Das ist jetzt der Hauptmarkt, dann die Simeonstraße, immer geradeaus. Über den Hauptmarkt weg, dann in die Simeonstraße, dann ist links der Karstadt, rechts der Kaufhof und da gehen Sie die Straße runter und da kommen Sie auf den Pferdemarkt.“

1.2 Diskontinuierliche Routenanteile und Zielsetzung ihrer Verarbeitung

Aus der Beispielroutenbeschreibung lassen sich vier zusammenhängende Abschnitte extrahieren, welche den Instruierten anweisen, eine Folge von Aktionen auszuführen.

Abschnitt 1: *„Da müßt Ihr da vorgehen ersteinmal. Bis vor den Kaufhof. Und dann links runter.“*

Aktion 1.1: Gehe vor bis „Kaufhof“.

Aktion 1.2: Gehe einen Weg, der links von Dir liegt.

Abschnitt 2: *„Vor, zwischen Kaufhof und Karstadt, da gehen Se mal links runter, immer geradeaus, ist nicht weit.“*

Aktion 2.1: Gehe vor.

Aktion 2.2: Nimm einen Weg, der links von Dir und zwischen „Karstadt“ und „Kaufhof“ beginnt.

Unter der Annahme, dass innerhalb eines Abschnitts der Endpunkt, an den eine Aktion den Navigierenden führt, mit dem Startpunkt, an dem die nächste Aktion beginnt, gleichzusetzen ist, wiederholt Abschnitt 2 die Aktionsfolge von Abschnitt 1, nur dass in diesem Fall die Aktion 1.2 durch Verwendung einer weiteren Landmarke und präziserer räumliche Relationen genauer beschrieben ist. Zum Aufbau einer mentalen Repräsentation ist es daher zweckmäßig, nur die genauere Beschreibung von Block 2 zu verwenden.

Abschnitt 3: *„Das ist jetzt der Hauptmarkt, dann die Simeonstraße, immer geradeaus.“*

Aktion 3.1: Nimm einen Weg, der „Hauptmarkt“ heißt.³

Aktion 3.2: Nimm einen Weg, der „Simeonstraße“ heißt.

Abschnitt 4: *„Über den Hauptmarkt weg, dann in die Simeonstraße, dann ist links der Karstadt, rechts der Kaufhof und da gehen Sie die Straße runter und da kommen Sie auf den Pferdemarkt.“*

Aktion 4.1: Nimm einen Weg, der „Hauptmarkt“ heißt.

Aktion 4.2: Nimm einen Weg, der „Simeonstraße“ heißt.

Aktion 4.3: Nimm einen Weg, der zwischen „Karstadt“ und „Kaufhof“ beginnt und am Pferdemarkt endet. (Dabei liegt „Karstadt“ links und „Kaufhof“ rechts von Dir.)

Die Aktionsfolge von Abschnitt 4 wiederholt in Aktion 4.1 und 4.2 die Aktionsfolge von Abschnitt 3, bevor eine weitere Anweisung hinzugefügt wird. Wieder ist es zweckmäßig, nur Abschnitt 4 zur Erzeugung eines mentalen Modells zu verwenden.

Die noch verbliebenen Abschnitte 2 und 4 müssen miteinander integriert werden. Dabei entspricht die Aktion 2.1 den Aktionen 4.1 und 4.2. Aktion 2.2 entspricht der Aktion 4.3. Aus dieser Zuordnung kann eine integrierte Aktionsfolge entwickelt werden. Dabei können sich die unterschiedlichen Beschreibungen der Aktionen ergänzen. In Abbildung 1.2 ist eine mögliche Integration der Aktionsfolgen dargestellt.

³Diese Interpretation ist sehr großzügig. Es wird angenommen, dass der Hauptmarkt überquert werden soll. Diese Vereinfachungen dienen der Verständlichkeit des Beispiels und sind nicht repräsentativ für die Verarbeitung von Routenbeschreibungen im Rahmen dieser Arbeit.

1 Einleitung

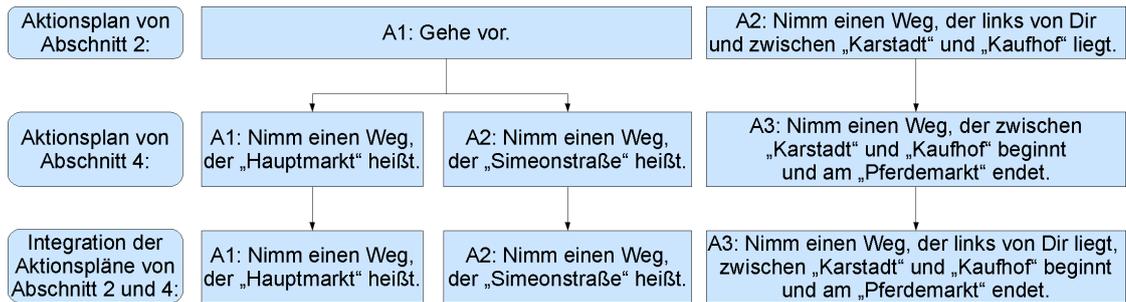


Abbildung 1.2: Integration der Aktionsfolgen von Abschnitt 2 und Abschnitt 4

Dieses Beispiel zeigt, welche Verarbeitungsergebnisse für die Integration diskontinuierlicher Routenanteile angestrebt werden. Die entstandene mentale Repräsentation der Route kann für eine erfolgreiche Navigation eines künstlichen Agenten genutzt werden. In dieser Diplomarbeit wird diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung vorgestellt, welche in der Lage ist, zusammenhängende Instruktionsmodelle aus Routenbeschreibungen mit diskontinuierlichen Anteilen der Art Wiederholung zu generieren. Dazu werden im Verlauf dieser Arbeit folgende Fragestellungen geklärt:

- Wie werden die zusammenhängenden Passagen erkannt, wie die Diskontinuitäten zwischen ihnen?
- Wie werden Koreferenzen zwischen den Blöcken hergestellt?
- Wie wird auf Grundlage dieser Koreferenzen eine integrierte Routenrepräsentation erzeugt?
- Welche kognitiven Mechanismen liegen diskontinuierlichen Routenanteilen zu Grunde? Müssen Diskontinuitäten als eine Fehlleistung angesehen werden oder erfüllen sie nützliche Funktionen innerhalb von Routenbeschreibungen?

1.3 Motivation

Es ist von praktischem Nutzen, künstliche Systeme mit der Fähigkeit auszustatten, auch Routenbeschreibungen zu verstehen, die nicht strikt entlang einer Route linearisiert sind, sondern diskontinuierliche Anteile enthalten. Diskontinuitäten kommen vorwiegend in mündlichen Routenbeschreibungen vor. Mündliche Mensch-Maschinen-Interaktion wird als benutzerfreundlich und natürlich angesehen [Floyd & Oberquelle 01]. Verarbeitung gesprochener Routenbeschreibungen ist daher ein durchaus realistisches Szenario innerhalb verschiedener Anwendungen.

Ich möchte untersuchen, wie Diskontinuitäten in bestehende Modelle der Raumkognition integriert werden können. Oft sind es gerade Fehler oder Abweichungen von einer erwarteten Lösung, hier von einer linearen Struktur, die Einblicke in zugrunde liegende kognitive Mechanismen bieten. Navigation und die damit verbundene Raumkognition

ist eine komplexe Fähigkeit, die sich im Laufe der Evolution in höheren Lebewesen herausgebildet hat. Durch die Fähigkeit der Sprache ist der Mensch in der Lage, etwa in Form von Routenbeschreibungen, mentale Modelle räumlicher Inhalte zu kommunizieren. Durch Analyse dieser Beschreibungen können Theorien über zugrunde liegende Prozesse gebildet werden. Dabei nimmt Raumkognition eine zentrale Bedeutung für natürliche kognitive Systeme ein und schafft einen guten Rahmen, um die generelle Funktionsweise dieses Systems zu studieren.

Das in dieser Arbeit vorgeschlagene inkrementelle Verarbeitungsmodell kann auch außerhalb des Kontextes von Routenbeschreibungen angewendet werden. Die Grundidee, die aus einer Beschreibung extrahierten Aussagen durch weitere sprachliche und inhaltliche Eigenschaften zu ergänzen und auf dieser Grundlage ein zusammenhängendes Modell des Beschriebenen aufzubauen, kann unabhängig vom hier untersuchten Gegenstand, den Routenbeschreibungen, genutzt werden.

1.4 Überblick über die Arbeit

In Kapitel 2 werden die kognitionswissenschaftlichen Grundlagen von Routenbeschreibungen dargestellt. Dabei gehe ich auf ein Generierungsmodell für Routenbeschreibungen nach Denis [Denis 97] und mögliche Modelle für die Repräsentation von räumlichen Informationen in natürlichen, kognitiven Systemen nach Tverski [Tverski 93] ein. Anhand empirischer Studien werden die essenziellen Bausteine von Routenbeschreibungen identifiziert [Denis 97] und die Bedeutung der hierarchischen Organisation von räumlichem Wissen hervorgehoben [Klippel et al. 03]. Zuletzt werden Routenbeschreibungen aus Sicht der Forschung zu intelligenten Agenten betrachtet.

Kapitel 3 stellt eine Systematik diskontinuierlicher Routenanteile vor. Ausgehend von einer Korpusanalyse möchte ich aufzeigen, dass es sich bei Diskontinuitäten um ein systematisches Phänomen handelt. Anhand empirischer Daten wird die Häufigkeit verschiedener Arten von Diskontinuitäten untersucht und die besondere Rolle von wiederholenden, diskontinuierlichen Beschreibungsanteilen hervorgehoben. Verschiedene, auf in Kapitel 2 eingeführten Grundlagen der Raumkognition basierende Erklärungen für das Auftreten von Diskontinuitäten, werden vorgestellt.

In Kapitel 4 wird die Funktionsweise des Geometrischen Agenten erläutert. Die vom Geometrischen Agenten verwendete Sprache CRIL zur Repräsentation von Instruktionen und räumlichem Wissen wird eingeführt. Es wird gezeigt, wie Probleme der Navigation mittels in-advance-Routenbeschreibungen durch informatische Mittel gelöst werden können.

In Kapitel 5 wird die diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung vorgestellt, welche in die bestehende Architektur des Geometrischen Agenten integriert werden kann und den inkrementellen Aufbau einer Repräsentation einer Routenbeschreibung ermöglicht, auch wenn diese diskontinuierliche Anteile der Art Wiederholung enthält.

1 Einleitung

Kapitel 6 beschreibt die Verarbeitung nicht lokaler Diskontinuitäten innerhalb der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung. Es wird erläutert, wie Koreferenzen zwischen initialen und diskontinuierlichen Instruktionsmodellen gefunden werden und wie auf dieser Grundlage eine Integration stattfinden kann.

Im siebten Kapitel wird eine Evaluation der vorgeschlagenen Verarbeitung anhand eines Korpus von diskontinuierlichen Routenbeschreibungen vorgestellt. Die Verwendbarkeit der Verarbeitung im Kontext des Geometrischen Agenten wird diskutiert und notwendige Veränderungen der Navigation des Agenten skizziert. Es wird auf Probleme der Verarbeitung hingewiesen, welche als Ausgangspunkt weiterer Forschung genutzt werden können. Im Ausblick wird die Anwendbarkeit auf andere Diskursthemen diskutiert und Nutzungsmöglichkeiten der hier erarbeiteten Grundlagen in anderen Bereichen der Raumkognition vorgeschlagen.

Anhang Im Anhang findet sich ein Literaturverzeichnis und ein Nachweis zu den verwendeten Korpora.

1.5 Konventionen

Werden Fachbegriffe eingeführt, welche nicht in der Überschrift des entsprechenden Absatzes genannt sind, werden diese in **fetter Schrift** hervorgehoben. **Schreibmaschinenschrift** wird genutzt, um Ausdrücke formaler Sprachen, wie der vom Geometrischen Agenten verwendeten Repräsentationssprache CRIL, zu kennzeichnen.

Textpassagen, welche als Beispiele fungieren, sind *kursiv* hervorgehoben. Ist eine Textpassage einem Korpus entnommen, so wird dies durch eine Quellenangabe kenntlich gemacht. Wird innerhalb eines Beispiels, welches aus einem Korpus entnommen wurde, eine Kürzung vorgenommen, so ist diese Auslassung durch das Auslassungszeichen (...) gekennzeichnet.

In dieser Arbeit werden zum größten Teil deutschsprachige Fachbegriffe verwendet. Falls ein Fachbegriff die Übersetzung eines englischsprachigen Begriffs ist, so wird bei der Einführung des Begriffes der englische Begriff in Klammern angegeben. Gibt es für einen englischen Fachbegriff keine deutsche Entsprechung, so wird der englische Begriff in kursiver Schrift verwendet. Beim ersten Auftreten des Begriffes wird eine Übersetzung ins Deutsche in Klammern angegeben.

Alle Angaben von Prozentzahlen, welche nicht zitiert werden, sind auf eine Nachkommastelle gerundet. Zahlen werden in amerikanischer Schreibweise dargestellt.

2 Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen

2.1 Einleitung

Natürlichsprachliche Routenbeschreibungen können als ein kleiner Ausschnitt menschlicher Kommunikation angesehen werden. Dieser Ausschnitt ist sowohl durch das Ziel der Kommunikation als auch durch die zu vermittelnde Information begrenzt. Viele wissenschaftliche Arbeiten haben sich mit diesem Thema aus unterschiedlichen Perspektiven auseinander gesetzt. In diesem Kapitel möchte ich Routenbeschreibungen anhand bestehender Arbeiten einführen.

Zunächst wird ein kognitives Modell der Erzeugung von Routenbeschreibungen vorgestellt und durch einen Exkurs über die Organisation von räumlichem Wissen ergänzt.

Anhand der Arbeiten von Denis wird dargestellt, aus welchen essenziellen Bausteinen Routenbeschreibungen bestehen. Nach [Klippel et al. 03] wird eine empirische Studie vorgestellt, welche die Bedeutung von hierarchischer Organisation von räumlichem Wissen hervorhebt.

Im letzten Teil dieses Kapitels werde ich auf Routen als Instruktionen für Agenten, aus Sicht der Forschung zu künstlichen intelligenten Systemen, eingehen.

Dieses Kapitel referiert Befunde aus der veröffentlichten Forschung zum Thema Routenbeschreibungen. Auf das Phänomen der Diskontinuitäten, welches innerhalb der Literatur nur am Rande erwähnt wird, gehe ich daher nicht ein. Diskontinuitäten werden im folgenden Kapitel 3 ausführlich dargestellt.

2.2 Erzeugung von Routenbeschreibungen

Eine Routenbeschreibung zu generieren ist ein komplexer kognitiver Vorgang, der viele verschiedene Lösungen zulässt. Die große beobachtete Varianz in den untersuchten Korpora lässt sich nicht allein durch Unterschiede in sprachlichen Formulierungen erklären. Auch inhaltlich weichen verschiedene Beschreibungen gleicher Routen voneinander ab. Um diese Unterschiede zu verstehen, ist ein kognitives Modell der Generierung von Routenbeschreibungen hilfreich.

2.2.1 Routenbeschreibungen als Kommunikation

Klein [Klein 79] strukturiert den Vorgang einer Routenauskunft in drei Abschnitte: Eine *Einleitung*, in der das Gespräch eröffnet und das zu lösende Problem erörtert wird. Ein *Mittelstück*, in dem der Auskunftgebende die eigentliche Routenbeschreibung äußert. Und schließlich einen *Abschluss*, der eine Rückmeldung über zur erhaltenen Beschreibung und ein Gesprächsende beinhaltet.

Die im Rahmen dieses Modells generierten Routenbeschreibungen werden als in-advance-Routenbeschreibungen bezeichnet. Zuerst wird dem Auskunftssuchenden eine vollständige Beschreibung der Route gegeben, bevor er beginnt, anhand dieser Beschreibung zu navigieren. Auch andere Formen der Routenbeschreibung sind möglich. Begleitende Routenbeschreibungen werden während der Navigation gegeben. Dieses Vorgehen entspricht modernen Navigationssystemen, wie sie im Straßenverkehr eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit beschränke ich mich auf in-advance-Routenbeschreibungen; wenn nichts anderes gesagt wird, ist mit einer Routenbeschreibung daher stets eine in-advance-Routenbeschreibung gemeint.

Das Modell von Klein beschreibt die Struktur einer Routenbeschreibungssituation, gibt aber noch keine Auskunft über vermittelten Inhalt. Aus linguistischer Sicht kann eine Routenbeschreibung als verbalisiertes oder schriftlich fixiertes mentales Modell angesehen werden [Eschenbach 08]. Dies ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Der Auskunftgebende besitzt ein mentales Modell der Route. Es handelt sich dabei um eine Repräsentation der realen Welt, welche nicht zwangsläufig richtig oder genau sein muss. Auf Grundlage dieses Modells produziert der Auskunftgebende eine Beschreibung. Somit ist eine Routenbeschreibung ein kommuniziertes Abbild einer mentalen Repräsentation der realen Welt. Der Empfänger einer solchen Beschreibung bildet ebenfalls ein mentales Modell der Route, indem er die gegebene Beschreibung verarbeitet. Mittels dieses Modells versucht er nun in der realen Welt zu navigieren.

Aus Sicht der Kognitionswissenschaft liegen hier zwei interessante Prozesse vor: Erstens die Erzeugung einer Routenbeschreibung durch ein kognitives System. Zweitens die Verarbeitung einer gegebenen Routenbeschreibung durch ein anderes kognitives System. Das Ziel dieser Diplomarbeit besteht darin, ein Modell für die Verarbeitung diskontinuierlicher Routenbeschreibungen zu entwickeln. Zunächst wird ein Modell der Generierung von Routenbeschreibungen dargestellt. Dieses Modell wird in Kapitel 3 genutzt, um das Entstehen von diskontinuierlichen Anteilen zu erklären.

2.2.2 Kognitives Modell der Erzeugung von Routenbeschreibungen

In [Denis 98] skizziert Denis ein Modell der Generierung von Routenbeschreibungen. Ein kognitives System muss dazu drei Aufgaben bewältigen: Zuerst müssen relevante räumliche Informationen aus dem Gedächtnis abgerufen werden. Dann wird mittels dieser Informationen eine geeignete Route geplant. Der dritte Schritt besteht in der Formulierung einer Beschreibung der soeben geplanten Route.

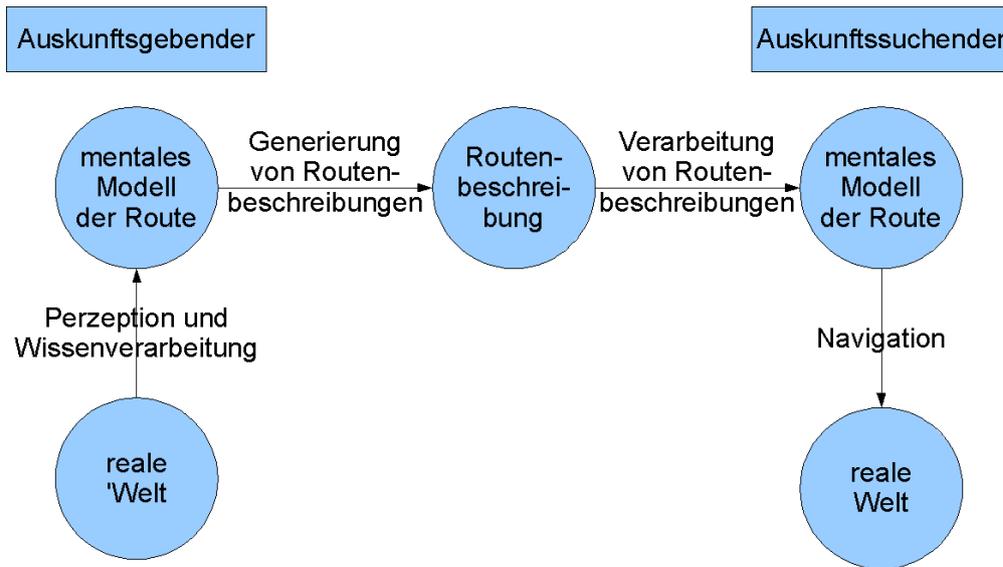


Abbildung 2.1: Modell einer Routenbeschreibungssituation

Auch wenn diese Darstellung in klar voneinander getrennten Schritten erfolgt, kann davon ausgegangen werden, dass die notwendigen Prozesse verzahnt ablaufen. Ebenfalls kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Arbeitsschritte für verschiedene Teile der Route separat durchlaufen werden.

Der Prozess der Erzeugung von Routenbeschreibungen umfasst eine große Bandbreite kognitiver Leistungen. Ein Modell dieses Vorgangs muss daher erst einmal skizzenhaft bleiben. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte genauer betrachtet und einige erläuternde Befunde aus der Kognitionsforschung zusammengetragen.

Organisation von räumlichem Wissen

Tolman [Tolman 48] führte bereits 1948 das Prinzip der kognitiven Karte ein, um zu erklären, wie räumliche Informationen im menschlichen Gedächtnis organisiert sind. Tverski stellt in [Tverski 93] ein Modell für die Repräsentation räumlichen Wissens vor, welches diese Idee erweitert.

Eine übliche externe Repräsentation von räumlichem Wissen sind Karten, wie etwa ein Stadtplan oder eine Wanderkarte. Diese Darstellungen haben sich im Alltag bewährt. Es liegt nahe, dass geografisches Wissen auch in natürlichen kognitiven Systemen in ähnlicher Form organisiert ist. Untersuchungen haben gezeigt [Tolman 48], dass diese kognitiven Karten systematisch verzerrt sind. So werden längliche Strukturen wie Straßen oder Flüsse häufig begradigt, Winkel an Kreuzungspunkten als rechtwinklig angenommen und Objekte in bekannte Schemata wie etwa Himmelsrichtungen eingeordnet. Abbildung 2.2 zeigt ein Beispiel für derartige Verzerrungen.

2 Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen

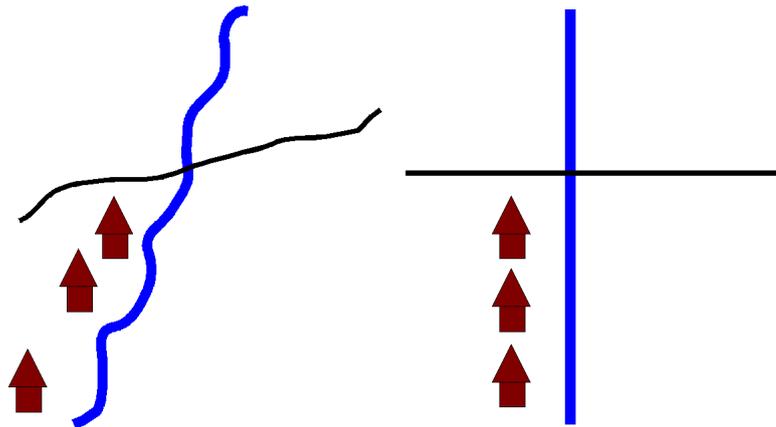


Abbildung 2.2: Links: Darstellung einer räumlichen Umgebung. Rechts: Bildliche Darstellung einer möglichen kognitiven Karte der Umgebung mit Begradiungen, rechten Winkeln und Einordnung (in Himmelsrichtungen)

Tverski kritisiert dieses Modell, da es nahe legt, geografisches Wissen sei als ein zusammenhängendes Ganzes mit räumlichen Relationen zwischen den einzelnen Bestandteilen repräsentiert. Tverski stellt dem Konzept der kognitiven Karte eine kognitive Kollage gegenüber, die aus einer Vielzahl von Elementen besteht: Erinnerungen an zurückgelegte Wege, externe Karten, gehörte oder gelesene Beschreibungen und möglicherweise noch mehr.

Eine Reihe von Versuchen legt das Modell der kognitiven Kollage nahe. Tverski untersuchte systematische Fehler im geografischen Wissen von Versuchspersonen. Diese wurden gebeten, die relative Position von Städten aus verschiedenen amerikanischen Bundesstaaten anzugeben. Dabei war ein wiederkehrender Fehler zu beobachten: Oft wurde die geografische Lage der Bundesstaaten auf die Lage der Städte übertragen. So schätzten viele Versuchspersonen, dass San Diego westlich von Reno liegt, in Wirklichkeit ist es genau umgekehrt. San Diego liegt in Kalifornien, welches sich an der Westküste Amerikas erstreckt, während Reno sich in Nevada befindet, welches im Inland liegt. Dies kann die falsche Einschätzung erklären und als wichtiges Indiz für die hierarchische Organisation von räumlichem Wissen angesehen werden. Räumliches Wissen ist nicht in einer einzigen großen kognitiven Karte organisiert, sondern besteht aus kleineren Informationseinheiten, die sich gegenseitig ergänzen.

Eine hierarchische Organisation von Wissen ist in den Kognitionswissenschaften eine verbreitete Idee. Nach Zimbardo [Zimbardo 88] versteht man unter dem Konzept des Chunkings das Zusammenfassen von Einzelinformationen zu umfassenderen Chunks (Wissensbrocken), mit dem Ziel, die Speicherleistung des Gehirns zu erhöhen.

Schritt 1: Abruf von räumlichem Wissen

Bei der Generierung einer Routenbeschreibung müssen nach dem Modell von Tverski sowohl Informationen aus dem semantischen als auch dem episodischen Langzeitgedächtnis abgerufen werden. Dabei liefert das semantische Gedächtnis objektbezogene Fakten, während das episodische Gedächtnis eigene Erfahrungen innerhalb der relevanten Umgebung bereitstellen kann.

Der Abruf von Erinnerungen wird *Recall* genannt. Dieser Prozess ist nicht immer erfolgreich und kann unterschiedlich schnell verlaufen. Es ist sicherlich jedem schon einmal passiert, dass er unvorbereitet auf eine Frage zunächst um die Antwort verlegen war. Man beginnt zu äußern, was man noch erinnert. Plötzlich ist die Antwort da.

Die Psychologie erklärt diesen Effekt wie folgt [Zimbardo 88]: Die gesuchte Erinnerung ist vorhanden, kann aber im Augenblick nicht abgerufen werden. Es handelt sich um ein Recall-Problem. Recall-Hilfen können den Abruf erleichtern. Eine solche Hilfe kann bereits der Gedanke an etwas Ähnliches sein. So führt eine Erinnerung oft zu der nächsten.

Es ist davon auszugehen, dass auch kognitive Kollagen von diesem Effekt betroffen sind. Vielleicht liegen bei Beginn der Generierung einer Routenbeschreibung nicht alle relevanten räumlichen Informationen vor, über die der Beschreibende potenziell verfügt. Im Rahmen der von Tverski vorgeschlagenen Repräsentation kann man sagen, dass die kognitive Kollage nach und nach ergänzt wird.

Schritt 2: Planung einer Route

Routenfindung wurde in der Informatik ausgiebig untersucht [Poole 98]. Doch gehen die in der Informatik untersuchten Routenfindungsprobleme in ihrer Komplexität über die Anfragen der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Sammlungen von Routenbeschreibungen weit hinaus. In den untersuchten Routenbeschreibungen werden stets recht einfache und kurze Routen gesucht, die kaum Alternativen zulassen.

Bei Routenbeschreibungen für Fußgänger gilt, dass alle Pfade bidirektional traversiert werden können, etwa gleich schnelle Bewegung erlauben und nicht an weitere Faktoren wie etwa die Fahrpläne eines öffentlichen Nahverkehrsmittels gebunden sind. Zunächst könnte man also annehmen, dass die Länge des zurückgelegten Weges auf einer Route das einzige entscheidende Kriterium für die Güte einer Route ist.

Dies lässt jedoch den folgenden Schritt der Generierung der eigentlichen Beschreibung außer Acht. Die gefundene Route muss nicht nur möglichst kurz sein, es ist auch wichtig, dass sie einfach zu beschreiben und die Instruktionen ebenso einfach auszuführen sind. So kann es wesentlich hilfreicher sein, eine Route entlang weniger, einfach zu erkennender Pfade zu beschreiben, auch wenn dafür eine etwas größere Distanz zurückgelegt werden muss. Dieser Zusammenhang zeigt, wie eng die Planung einer Route mit der Entwicklung einer Beschreibung zusammenhängt.

Schritt 3: Formulierung der Routenbeschreibung

Routenbeschreibungen bestehen in der Regel aus einer Folge von Anweisungen, welche durch verschiedene Landmarken spezifiziert werden. Der Empfänger einer solchen Beschreibung muss in der Lage sein, diese in der Routenbeschreibung genannten Objekte sicher und eindeutig zu identifizieren, obwohl er mit der relevanten Umgebung nicht vertraut ist. Der Auskunftgebende muss aus der Vielzahl möglicher Einzelheiten solche auswählen und beschreiben, die dies nach seiner Einschätzung am besten ermöglichen.

An letzter Stelle des Modells zur Erzeugung von Routenbeschreibungen steht die Produktion einer sprachlichen Äußerung. Diese erfolgt in der Regel schriftlich oder mündlich, wird aber unter Umständen durch weitere Modalitäten wie Gestik oder die Verwendung einer externen Repräsentation wie einer Karte oder einer Skizze unterstützt.

2.3 Sprachliche Analyse von Routenbeschreibungen

Aufgezeichnete Routenbeschreibungen können im Rahmen empirischer Studien ausgewertet werden. In *The description of routes: A cognitive approach to the production of spatial discourse* [Denis 97] wird eine Analyse der Bausteine von Routenbeschreibungen an einem Beispielkorpus vorgestellt. Klippel, Tappe und Habel untersuchen in [Klippel et al. 03] die Bedeutung des Chunkings von räumlichen Informationen.

2.3.1 Rahmenwerk zur Analyse von Routenbeschreibungen nach Denis

Denis stellt in [Denis 98] ein Rahmenwerk für die Analyse von Routenbeschreibungen vor. Dabei hebt er Beschreibungen von Landmarken und Aktionen als zwei essenzielle Bausteine von Routenbeschreibungen hervor und stellt eine empirische Analyse ihrer Verwendung anhand eines Beispielkorpus dar.

Beschreibungen von Landmarken und Aktionen als essenzielle Bausteine von Routenbeschreibungen

Landmarken sind Objekte, welche im Verlauf der Route perzipiert werden können. Diese Objekte können dreidimensional ausgedehnt sein, wie beispielsweise Gebäude, Sehenswürdigkeiten oder Schilder oder auch zweidimensional ausgedehnt sein, wie Wege oder Plätze. Sie können ein natürlicher Bestandteil der Umgebung sein oder aber im Falle von Schildern speziell zum Zweck der Orientierung aufgestellt worden sein. Aktionsbeschreibungen hingegen legen fest, welche Aktionen der Agent ausführen soll.

Routenbeschreibungen bestehen nach Denis aus Propositionen, welche sich aus diesen beiden Bausteinen zusammensetzen. Dabei erfüllen Landmarken eine der drei folgenden Funktionen:

2.3 Sprachliche Analyse von Routenbeschreibungen

Spezifikation von Handlungen durch Landmarken: Durch eine Landmarke kann spezifiziert werden, an welcher Stelle und wie eine Aktion auszuführen ist.

Beispiel für Spezifikation einer Aktion durch eine Landmarke:

„Gehen Sie hinter der Post nach rechts.“

Lokalisierung anderer Landmarken: Landmarken können auch genutzt werden, um auf andere, weniger auffällige Landmarken zu verweisen.

Beispiel für Lokalisierung von Landmarken durch andere Landmarken:

„Neben der Kirche ist ein Denkmal, direkt daneben ist ein Weg.“

Bestätigung: Bei der Beschreibung ausgedehnter Bewegungshandlungen können Landmarken verwendet werden, um zu bestätigen, dass der Agent noch immer auf dem richtigen Weg ist.

Beispiel für Bestätigung durch Landmarken:

„Gehen Sie diese Straße immer nur rauf, vorbei an der alten Post, bis Sie zu einer Kreuzung kommen.“

Auch Aktionsbeschreibungen können in ihrer Funktion weiter unterteilt werden.

Orientierungswechsel: Wird der Agent zu einem Orientierungswechsel instruiert, so soll er seine Ausrichtung verändern. Punkte, an denen dies geschehen soll, werden häufig durch dreidimensional ausgedehnte Landmarken beschrieben.

Beispiel für Orientierungswechsel:

„Gehen Sie an der Post nach links.“

Fortschreiten: Zweidimensional ausgedehnte Landmarken werden eher genutzt, um den Verlauf von fortschreitenden (proceeding) Aktionen zu beschreiben.

Beispiel für fortschreitende Aktion:

„Gehen Sie die Brückenstraße runter.“

Positionierung: Die dritte Klasse von Aktion bilden Positionierungen. Der Agent wird durch eine Positionierung instruiert, dass er sich an einer bestimmten Position befinden soll. Häufig werden Landmarken zur Beschreibung dieser Position verwendet.

Beispiel für Positionierung:

„Sie kommen an eine Kreuzung, links von Ihnen ist eine Post und rechts ein Denkmal.“

Empirische Analyse von Routenbeschreibungen

Denis untersuchte einen Korpus von 40 Routenbeschreibungen, welche am „Orsay Campus“ der „Université de Paris-Sud“ in schriftlicher Form von ortskundigen Studenten abgegeben wurden. Dazu wurden die Routenbeschreibungen zunächst in einzelne Propositionen zerlegt. Eine Proposition ist im Rahmen der Studie von Denis als ein Prädikat

2 Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen

mit einem oder zwei Argumenten definiert. Längere Aussagen werden entsprechend auf verschiedene Propositionen aufgeteilt.

Beispiel für die Zerlegung in Propositionen [Denis 98]:

„*Sie kommen an eine hölzerne Brücke, die Sie überqueren müssen.*“

Diese Passage kann in drei Propositionen umgewandelt werden:

„*Sie kommen an eine Brücke.*“

„*Die Brücke ist aus Holz.*“

„*Sie müssen die Brücke überqueren.*“

Die so erzeugten Propositionen wurden in fünf verschiedene Klassen unterteilt und ihr Vorkommen in den Beschreibungen ausgezählt. Die ersten drei Klassen umfassen die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten von Aktionen und Landmarken; des Weiteren gibt es eine Klasse für die Beschreibung nicht räumlicher Eigenschaften von Landmarken und eine für Kommentare. Die statistischen Daten beziehen sich auf die Gesamtzahl von 609 Propositionen über alle 40 Routenbeschreibungen.

Aktionsbeschreibungen ohne Bezug auf Landmarken: Aktionen ohne Bezug auf Landmarken bestehen entweder aus der Anweisung, eine Bewegung zu starten oder fortzuführen oder aber eine Drehung zu vollführen. Diese Klasse macht 16.9% der Propositionen aus. Interessant ist, dass Anweisungen der ersten Art mit 77.7% einen deutlich größeren Anteil ausmachen als Reorientierungen mit 22.3%.

Beispiele für Aktionsbeschreibungen ohne Bezug auf Landmarken:

„*Gehen Sie geradeaus.*“

„*Gehen Sie nach links.*“

Aktionsbeschreibungen mit Bezug auf Landmarken: Verschiedene Handlungen können durch die Verwendung von Landmarken spezifiziert werden. Mit 33.5% machen diese Propositionen einen wichtigen Teil der Routenbeschreibungen aus. Aktionsbeschreibungen mit Bezug auf Landmarken lassen sich weiter unterteilen und statistisch auswerten (Tabelle 2.1). Dies ergab, dass Reorientierungen in der Regel durch die Spezifikation eines Pfades oder die Ausrichtung auf eine Landmarke erfolgten.

Typ	Beispiel	Vorkommen
go to x	„Gehe auf die Porta Nigra zu.“	15.7 %
cross x	„Gehe über den Hauptmarkt.“	27.0 %
take x	„Nimm die Grabenstraße.“	30.4 %
come out of x	„Du kommst aus der Mensa.“	7.8 %
go past x	„Gehe an der Post vorbei.“	14.7 %
turn left/right at x	„Gehe an der Kreuzung nach links.“	1.5 %
Sonderfälle	„Gehe nicht in die Grabenstraße.“	2.9 %

Tabelle 2.1: Aktionsbeschreibungen mit Bezug auf Landmarken nach [Denis 98]

Einführung von Landmarken: Eine Landmarke kann auch ohne Bezug zu einer Aktion eingeführt werden. Diese Aussagen machen 36.0 % der Propositionen aus. Etwa

2.3 Sprachliche Analyse von Routenbeschreibungen

die Hälfte der Vorkommen beschreibt Landmarken in einer räumlichen Relation. Dabei kann entweder eine andere Landmarke oder die intrinsische Orientierung des Agenten als Bezug dienen.

Beispiele für Einführung von Landmarken:

Keine räumliche Relation: „*Da ist eine Post.*“

Intrinsische Orientierung: „*Da ist links von Ihnen eine Post.*“

Orientierung an anderer Landmarke: „*Da ist ein Briefkasten vor der Post.*“

Beschreibung von Landmarken: Diese Klasse umfasst nicht räumliche Beschreibungen von Landmarken. 11.3 % aller Propositionen fallen in diese Klasse. Häufig werden Eigennamen oder visuelle Merkmale beschrieben.

Beispiele für Beschreibung von Landmarken:

„*Dieses Gebäude ist Haus F.*“

„*Das Haus hat auffällige rote Fensterrahmen.*“

Kommentare: Als Kommentare werden Propositionen bezeichnet, die Informationen über die gesamte Route vermitteln. Mit 2.3 % ist diese Klasse sehr gering vertreten.

Beispiele für Kommentare:

„*Bleib auf den Hauptwegen des Campus.*“

„*Das ist nicht weit.*“

Als Fazit dieser Studie kann festgehalten werden, dass Landmarken eine große Bedeutung für Routenbeschreibungen haben, da sie genutzt werden, um die Handlungen des Agenten zu spezifizieren.

2.3.2 Empirische Studie zum Chunking von räumlichen Informationen

In der Studie [Klippel et al. 03] wurde Chunking von räumlichen Informationen im Kontext von Routenbeschreibungen untersucht. Dabei sollte ermittelt werden, wie sich die Darstellung räumlicher Informationen auf die kognitive Verarbeitung auswirkt.

80 Studenten wurden für diesen Versuch in eine „statische“ und eine „dynamische“ Gruppe eingeteilt. Jede Versuchsperson wurde individuell gebeten, eine Routenbeschreibung zu generieren. Bei der „statischen“ Gruppe wurde die zu beschreibende Route als eine Linie in einer Kartendarstellung präsentiert. Die dynamische Gruppe sollte die gleiche Route beschreiben, welche jedoch durch einen sich bewegenden Punkt auf gleicher Kartendarstellung dargeboten wurde.

Der statische Versuchsaufbau erzeugt die in diesem Kapitel besprochenen in-advance-Routenbeschreibungen, während in der dynamischen Situation begleitende Routenbeschreibungen generiert werden. Alle Beschreibungen wurden transkribiert und systematisch nach zusammengefassten Routenabschnitten untersucht.

Erwartet wurde, dass Chunking stärker in den statisch erzeugten Beschreibungen vorkommt. Erstens hat der Beschreibende bei einer statischen Präsentation Gelegenheit, die

2 Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen

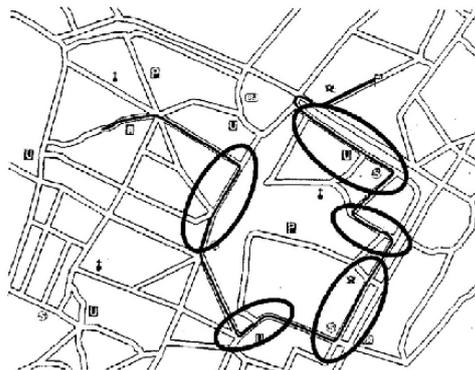


Abbildung 2.3: Statische Präsentation der Route. Routenabschnitte, welche räumlich zusammengefasst werden können, sind hervorgehoben. (Abb. aus [Klippel et al. 03])

Route als Ganzes zu betrachten und vorausschauend eine gut strukturierte Beschreibung zu generieren. Zweitens wird in einer begleitenden Beschreibung die unmittelbare Umgebung des Agenten stärker beachtet, was zu einer Verminderung des Chunking führen sollte.

Zur Auswertung der Beschreibungen wurde die Route als eine Folge von Entscheidungspunkten (decision points) modelliert. Ein Entscheidungspunkt ist ein Ort auf der Route, an dem der Agent die Möglichkeit hat, zwischen mehreren möglichen Wegen zu wählen. Entscheidungspunkte können wiederum danach unterteilt werden, ob an ihnen eine Richtungsänderung erfolgen muss oder ob die Route in gleicher Richtung fortgesetzt wird. Ohne räumliches Chunking müsste eine Routenbeschreibung jeden Entscheidungspunkt entlang der Route und die dort auszuführende Handlung enthalten. Dies würde zu sehr langen Routenbeschreibungen führen, die aufwändig zu kommunizieren sind und die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses eines Zuhörers überlasten können.

Drei Arten von räumlichem Chunking wurden in den aufgenommenen Routenbeschreibungen beobachtet:

Numerisches Chunking: Beim numerischen Chunking werden die Entscheidungspunkte ohne Richtungsänderung gezählt und zusammengefasst. Dabei ist wiederum zu beachten, dass die Zahl der ausgelassenen Entscheidungspunkte gering bleibt, um das Arbeitsgedächtnis nicht zu überlasten.

Beispiel ohne Chunking:

„Gehen Sie geradeaus, Sie kommen an eine Kreuzung. Gehen Sie über die Kreuzung und weiter geradeaus, bis Sie zur nächsten Kreuzung kommen. Auch hier gehen Sie wieder geradeaus, bis Sie erneut zu einer Kreuzung kommen. Dort biegen Sie links ab.“

Beispiel für numerisches Chunking:

„Gehen Sie geradeaus und biegen Sie an der dritten Kreuzung nach links ab.“

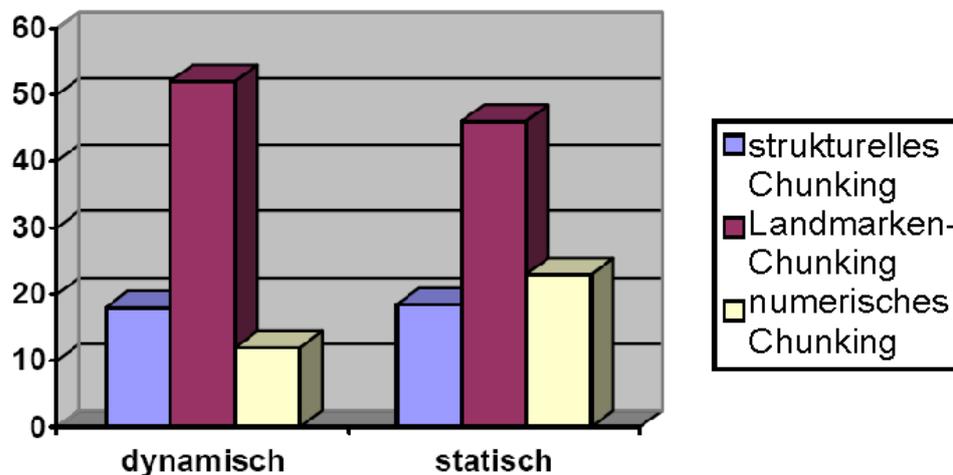


Abbildung 2.4: Vorkommen der verschiedenen Chunkingmethoden in Prozent (Abb. aus [Ruschmeier 03])

Beispiel für numerisches Chunking mit zu großer Zahl ausgelassener Entscheidungspunkte:

„Immer geradeaus, an der zweiundvierzigsten Kreuzung biegen Sie nach rechts ab.“

Landmarken-Chunking: Beim Landmarken-Chunking wird der nächste kritische Entscheidungspunkt durch eine Landmarke bestimmt. Dies kann als Entsprechung der „Spezifikation von Handlungen durch Landmarken“ nach Denis [Denis 97] gesehen werden.

Beispiel für Landmarken-Chunking:

„Fahren Sie die Kieler Straße runter, bis Sie an eine Post kommen, direkt hinter der Post biegen Sie links ab.“

Strukturelles Chunking: Strukturelles Chunking ähnelt dem Landmarken-Chunking, nur dass hier strukturelle Besonderheiten der Route benutzt werden.

Beispiel für strukturelles Chunking:

„Gehen Sie immer geradeaus, bis Sie zu einer T-Kreuzung kommen. Und da gehen Sie nach rechts.“

In Tabelle 2.4 ist die Verteilung der verschiedenen Vorkommen von räumlichem Chunking unter den verschiedenen Versuchsbedingungen dargestellt.

Entgegen der Erwartung findet auch unter dynamischen Versuchsbedingungen räumliches Chunking in kaum vermindertem Umfang statt. Dies kann als ein Indiz für die herausragende Rolle der hierarchischen Organisation von räumlichen Informationen in natürlichen kognitiven Systemen angesehen werden.

Darüber hinaus zeigt diese Studie, dass Landmarken mit Abstand als häufigstes Chunkingkriterium genutzt werden. Der geringe Unterschied in der Nutzung von Landmarken-

2 Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen

Chunking unter beiden Versuchsbedingungen deutet darauf hin, dass Landmarken unabhängig von der Präsentation eine wichtige Rolle innerhalb von Routenbeschreibungen einnehmen. Dies deckt sich mit den Befunden aus der Studie von Denis. Ebenfalls unabhängig von der Präsentationsform scheint die Verwendung von strukturellem Chunking zu sein, welches als eine Variante des Landmarken-Chunkings aufgefasst werden kann.

Es überrascht nicht, dass numerisches Chunking bei einer dynamischen Präsentation seltener vorkommt. Dies kann durch die fehlende Vorschau auf die kommende Route erklärt werden.

2.4 Routenbeschreibungen als Instruktionen eines Agenten

Aus Sicht der Forschung zur künstlichen Intelligenz kann eine Routenbeschreibung als Instruktion eines intelligenten Agenten aufgefasst werden. Dabei besteht das Ziel der Routenbeschreibung darin, den Agenten vom Startpunkt der Beschreibung zu seinem Zielpunkt zu führen.

Die Analyse der verwendeten sprachlichen Elemente, welche im vorangegangenen Abschnitt dargestellt wurde, zeigt, dass eine Routenbeschreibung als eine Reihe von Anweisungen verstanden werden kann, welche durch zugehörige Landmarken genauer spezifiziert werden. Eine Routenbeschreibung kann also als ein, in natürlicher Sprache formuliertes, imperatives „Programm“ ausgelegt werden.

2.4.1 Agentenumgebung von Routenbeschreibungen

Zunächst wird die Umgebung des Agenten und seine möglichen Aktionen darin betrachtet. Auch wenn Routenbeschreibungen zur Navigation in der realen Welt, also einer höchst komplexen Umgebung, dienen, gehen die Beschreibenden in der Regel von einer stark abstrahierten Umgebung aus.

Russell und Norvig stellen in [Russell & Norvig 95] Eigenschaften zur Bewertung von Agentenumgebungen auf. Diese Kriterien können verwendet werden, um zu analysieren, auf welche Art von Umgebung eine Routenbeschreibung üblicherweise abstrahiert.

Beobachtbarkeit: Voll oder teilweise beobachtbar (fully, partially observable) Von jeder Position aus kann der Navigierende nur einen Teil seiner Welt einsehen, da nahe Objekte dahinterliegende verdecken können. Dies wird in der Regel in Routenbeschreibungen berücksichtigt. Was allerdings nicht bedeutet, dass alle Aussagen zur Sichtbarkeit in Beschreibungen auch tatsächlich in der realen Welt wahr sein müssen. So kann es sein, dass eine Beschreibung davon ausgeht, dass eine Landmarke sichtbar ist, während dieses in Wahrheit (noch) nicht zutrifft. Sicher ist, dass Routenbeschreibungen von nur teilweise beobachtbaren Umgebungen ausgehen.

Determinismus: Deterministisch oder stochastisch (deterministic, stochastic) Eine deterministische Umgebung wird ausschließlich durch die aktuelle Situation und den handelnden Agenten bestimmt. In der realen Welt gibt es eine Unzahl stochastischer Einflüsse, die den Folgezustand eines Agenten beeinflussen können. Ampeln bestimmen, wann Wege passierbar sind, ein Menschenauflauf muss umgangen werden oder der Wegsuchende wird vom Blitz getroffen. Doch von diesen Eventualitäten wird in Routenbeschreibungen in der Regel abstrahiert. Das Umgehen von kleineren Hindernissen oder das korrekte Überqueren einer Ampel werden als selbstverständlich angesehen. Der Beschreibende geht davon aus, dass der Agent diese Dinge selbstständig erledigt, ohne speziell dazu instruiert worden zu sein. Wenn der Agent angewiesen wird, eine Ampel zu überqueren, und er steht gerade vor dieser Ampel, dann kann er diese Aktion auch sicher, das heißt deterministisch, ausführen. Auf außergewöhnliche und unvorhersehbare Zufälle wird nicht eingegangen.¹ Eine Ausnahme bilden Beschreibungen von Alternativen. Diese können als ein diskontinuierlicher Routenanteil angesehen werden. Sie kommen in den von mir untersuchten Korpora allerdings sehr selten vor. Daher kann gesagt werden, dass Routenbeschreibungen in den meisten Fällen von einer deterministischen Agentenumgebung ausgehen.

Zusammenhang der Entscheidungen: Episodisch oder sequenziell (episodic, sequential) Eine Umgebung wird als sequenziell bezeichnet, wenn eine Entscheidung in einer Situation Einfluss auf Folgesituationen hat, andernfalls wird die Umgebung als episodisch bezeichnet. Klassifikationsaufgaben sind ein typisches Beispiel für episodische Umgebungen. Genau wie die reale Welt ist auch die Umgebung der Beschreibungen sequenziell. Eine Aktion in einer Situation, wie Wahl eines Weges, hat einen Einfluss auf folgende Situationen.

Wandelbarkeit: Statisch oder dynamisch (static, dynamic) Als dynamisch wird eine Umgebung bezeichnet, welche sich verändern kann, während der Agent nachdenkt, andere Umgebungen werden als statisch bezeichnet. Die reale Welt ist eine dynamische Umgebung, eine Brücke könnte just in dem Moment einstürzen, in der der Agent darüber nachdenkt, sie zu überqueren. Der Normalfall ist aber, dass sich die für eine Routenbeschreibung relevanten Objekte der Umgebung für längere Zeit sehr wahrscheinlich nicht verändern. So wählen Beschreibende in der Regel keine mobilen Objekte als Landmarken. Daher gehen Routenbeschreibungen von einer statischen Umgebung aus.

Quantisierung: Diskret oder kontinuierlich (discrete, continuous) Ob eine Umgebung diskret oder kontinuierlich ist, hängt davon ab, wie Zustände, Zeit, Wahrnehmung und Aktionen modelliert werden. Die reale Welt gilt in diesen Bereichen als kontinuierlich. In Routenbeschreibungen kann jedoch häufig eine Folge diskreter Zustände und Handlungen identifiziert werden.

¹Zumindest ist mir keine Routenbeschreibung bekannt, die auf unwahrscheinliche Eventualitäten eingeht.

2 Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen

Beispiel:

„(...) Sie kommen an eine Kreuzung. Gehen Sie über die Kreuzung. (...)“

In diesem Fragment einer Beschreibung können zwei diskrete Handlungen und zwei Zustände identifiziert werden. Der erste Satz impliziert, dass eine Handlung stattfindet, welche einzig dadurch bestimmt ist, dass sie „an einer Kreuzung“ endet. Dies ist auch der erste diskrete Zustand der Beschreibung. Die nächste Handlung „Gehen Sie über die Kreuzung.“ ist ebenfalls diskret und endet in einem Zustand, der sich etwa als „auf der anderen Seite der Kreuzung“ beschreiben ließe. Natürlich ist es nicht möglich, einen Punkt in der realen Welt zu bestimmen, der genau dem „vor der Kreuzung“ entspricht und an dem der Agent vom „an eine Kreuzung kommen“ zum „über die Kreuzung gehen“ übergeht. Wohl aber ist es möglich, eine Region zu bestimmen, in der die Eigenschaft „vor der Kreuzung“ hinreichend gut zutrifft. Der Aufenthalt in einer derartig spezifizierten Region kann als ein Zustand angesehen werden. Zustände und Handlungen werden in Routenbeschreibungen oft so abstrakt beschrieben, als ob diese diskret wären. Zwar gehen Beschreibende davon aus, dass ein (menschlicher) Agent kontinuierlich wahrnimmt, aber diese Wahrnehmung ist selten Gegenstand der Beschreibung. Aussagen der Art „Du siehst Landmarke X“ können als eine diskrete Zustandsbeschreibung aufgefasst werden. Zeit findet selten Erwähnung in Routenbeschreibungen. Gelegentlich ist sie als Kommentar zur erwarteten Länge der gesamten Route oder eines Routenabschnitts anzutreffen. Auch hier ist die Aussage diskret. Für einen bestimmten Teil der Route wird eine angegebene Zeit benötigt.

Zahl der Handelnden: Einzelner Agent oder Multiagentenumgebungen (single agent, multi agent) Umgebungen mit nur einem einzelnen Handelnden, dem Agenten, werden von Umgebungen mit mehreren Handelnden, Multiagentenumgebungen, unterschieden. Ab dem Zeitpunkt der Instruktion gehen Routenbeschreibungen in der Regel von einer Umgebung mit nur einem einzelnen Agenten aus. Von den möglichen anderen Personen, welche der Agent auf seiner Route treffen könnte, wird abstrahiert.²

Eine weitere Abstraktion der Agentenumgebung betrifft die Dimensionalität. Während die reale Welt ein dreidimensionaler Raum ist, genügen für viele Situationen Beschreibungen, die auf nur zwei Dimensionen eingehen. Dies ist durch die natürliche Bewegung des Menschen in nur zwei Dimensionen begründet. In Umgebungen mit starken Höhenunterschieden, etwa innerhalb von Gebäuden, ist diese Abstraktion allerdings nicht zutreffend.

Diese Annahmen gelten für Wegbeschreibungen, welche einen Fußgänger instruieren sollen, erfolgreich eine kurze Route von wenigen Minuten zurückzulegen. Dies entspricht den Routenbeschreibungen des Trierkorpus. Je komplexer eine Routenbeschreibung wird, desto eher kann es dazu kommen, dass die beschriebenen Abstraktionen nicht mehr gelten. So kann eine Beschreibung einer Wanderoute sehr wohl auf das nicht deterministische Wetter eingehen. Auch die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel, wie etwa einer

²Das einzige Vorkommen einer Anweisung, welche einen anderen Agenten beinhaltet, ist innerhalb des Trierkorpus die Anweisung, „noch einmal nachzufragen.“

2.4 Routenbeschreibungen als Instruktionen eines Agenten

U-Bahn, führt weitere Agenten, dynamische Umgebungen und möglichen Nichtdeterminismus in Routenbeschreibungen ein. Trotzdem werden in Routenbeschreibungen auch komplexe Vorgänge häufig sehr abstrakt beschrieben. So wird bei der Nutzung eines öffentlichen Verkehrsmittels oft nur angegeben, dass mit einer bestimmten Linie zu einer bestimmten Station gefahren werden soll. Der Beschreibende geht davon aus, dass der Agent selbstständig auf die Ankunft eines Fahrzeugs wartet, er weiß, dass diese Beschreibung nur zu den Betriebszeiten des Verkehrsunternehmens gilt und dass er angemessen auf Verspätungen oder Streckensperrungen reagiert.

2.4.2 Der Agent

Da Routenbeschreibungen in der Regel für andere Menschen gegeben werden, stellen diese Beschreibungen hohe Anforderungen an den ausführenden Agenten. Neben den Grundvoraussetzungen Mobilität und Perception, muss der Agent in der Lage sein, Routenbeschreibungen zu verstehen, mit seiner Umgebung abzugleichen und auszuführen. In Kapitel 4 werden diese Leistungen am Beispiel des Geometrischen Agenten dargestellt.

2.4.3 Routenbeschreibungen als linear strukturierte Folge von Aktionen und Zuständen

Routenbeschreibungen können als eine Folge von Anweisungen verstanden werden, die einen Agenten, aus einer gegebenen Startsituation durch eine Reihe von diskreten Handlungen, in einen Zielzustand überführen. Die Handlungen des Agenten bestehen im Traversieren eines Pfades und Erreichen eines Orientierungspunktes oder in einer Reorientierung an einem Orientierungspunkt. Die Zustände des Agenten entsprechen dem Aufenthalt des Agenten an einem Orientierungspunkt und seiner Ausrichtung. Die Handlungsmöglichkeiten des Agenten sind in jedem Zustand begrenzt. Der Agent kann sich entweder neu ausrichten, was seinen Ort nicht verändert, oder er kann eine Bewegungsaktion ausführen, welche ihn an einen neuen Orientierungspunkt bringt. Dabei gibt es etwas Spielraum, wie eine Bewegungsaktion spezifiziert sein kann. Die zu durchlaufenden Zustände und Handlungen liegen in einer totalen Ordnung vor, es kommen keine gleichzeitigen Aktionen oder Abläufe beim Traversieren einer Route vor und es gibt keine Alternativen in der Reihenfolge.

Diese Eigenschaften erleichtern den Verstehensprozess natürlichsprachlicher Routenbeschreibungen. Der Gegenstand der Beschreibung ist eine klar strukturierte Folge eines überschaubaren Inventars von einfachen Elementen. Dies wird bei der Verarbeitung diskontinuierlicher Routenbeschreibungen genutzt.

2 *Kognitive Grundlagen von Routenbeschreibungen*

3 Diskontinuitäten

3.1 Einleitung

Diskontinuitäten sind das Kernproblem dieser Diplomarbeit. Ausgehend von Beobachtungen an einem Korpus von mündlichen Routenbeschreibungen, möchte ich aufzeigen, dass ein Problem beim Verstehen dieser Beschreibungen besteht. Die Abfolge von Aktionen im Text entspricht nicht der Reihenfolge, in der diese Aktionen zum Traversieren der beschriebenen Route ausgeführt werden müssen. Landmarken, welche genutzt werden, um Aktionen zu beschreiben, kommen in der Routenbeschreibung nicht in der Reihenfolge vor, in der sie während der Navigation entlang der Route perzipiert werden können. Diese Diskrepanz in der Reihenfolge entsteht durch nachträgliche Ergänzungen, Korrekturen, Alternativen und andere nicht lineare Anteile von Routenbeschreibungen. In diesem Kapitel soll dieses Phänomen systematisch erfasst, eine Analyse seiner Vorkommen im Trierkorpus vorgestellt und davon ausgehend, Erklärungsmodelle für sein Entstehen aufgestellt werden.

3.2 Diskontinuitäten: Nicht lineare Anteile von Routenbeschreibungen

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist ein Korpus von mündlichen in-advance-Routenbeschreibungen, welche in der Trierer Innenstadt aufgenommen worden sind [Habel et al. 85/08]¹. Diese Routenbeschreibungen zeichnen sich durch häufige Wiederholungen von Beschreibungsteilen und Sprüngen zwischen verschiedenen Abschnitten der Route aus. Dies stellt eine Abweichung von der in Kapitel 2 vorgestellten Struktur für Routenbeschreibungen dar und macht es sowohl für einen menschlichen Leser als auch für einen künstlichen Agenten schwierig, die intendierte Route nachzuvollziehen. Im ersten Kapitel habe ich dieses Problem bereits informell anhand eines Beispiels erläutert.

3.2.1 Erwartete und tatsächliche Struktur von Routenbeschreibungen

Eine **Route** ist Bestandteil der realen Welt, sie führt von einem Startort zu einem Zielort. Eine Route kann in **Pfade** unterteilt werden. Tracks sind wahrnehmbare, zweidimensional ausgedehnte Landmarken, auf welchen man sich üblicherweise fortbewegt. Straßen

¹Der Trierkorpus kann unter <http://www.informatik.uni-hamburg.de/WSV/docs/TrierKorpus.2008.pdf> abgerufen werden.

3 Diskontinuitäten

oder Feldwege sind typische Tracks. Ein Pfad kann auf einem Track entlangführen, dies muss aber nicht zwingend der Fall sein. Wie eine Route in Pfade unterteilt wird, ist eine Entscheidung desjenigen, der diese Route beschreibt. Pfade werden von Orientierungspunkten begrenzt. Diese bilden die Start- und Endpunkte der einzelnen Pfade. Dabei entspricht der Endpunkt eines Pfades dem Startpunkt des nächsten Pfades. Pfade und Orientierungspunkte sind durch die Struktur der Route linear geordnet. Abbildung 3.1 zeigt die Struktur einer Route.

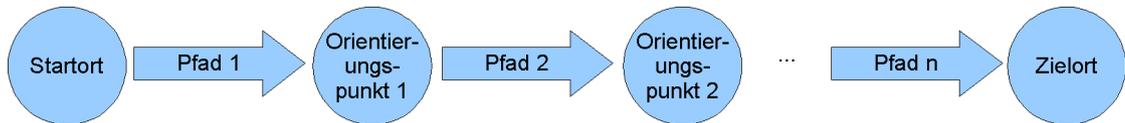


Abbildung 3.1: Struktur einer Route

Bei der Generierung sprachlicher Beschreibungen besteht ein Linearisierungsproblem. Die Vielzahl möglicher Aussagen muss in die lineare Struktur einer sprachlichen Äußerung gebracht werden. Verschiedene Kriterien können dazu verwendet werden, zum Beispiel die Relevanz der Aussagen und ihr logischer Zusammenhang.

Porzel, Jansche und Meyer-Klabunde stellen in [Porzel et al. 02] verschiedene Linearisierungsstrategien für räumliche Beschreibungen vor. Globale Strategien nutzen übergeordnete räumliche Strukturen. Point-by-point-Strategien beschreiben Objekte in Relation zueinander. Imaginary-Tour (imaginäre Wanderung) -Strategien gehen von einem imaginären Beobachter aus, welcher sich durch eine Szenerie bewegt.

Nach [Porzel et al. 02] werden für Routenbeschreibungen fast ausschließlich imaginäre Wanderungen genutzt. Durch die lineare Struktur einer Route wird die Reihenfolge der zu beschreibenden Objekte vorgegeben. In der Routenbeschreibung beschriebene Aktionen und Zustände beziehen sich auf Pfade und Orientierungspunkte der Route. Durch die Reihenfolge der Pfade und Orientierungspunkte der Route sind somit auch die beschriebenen Aktionen und Zustände total geordnet. Daraus folgt, dass für Routen kein Linearisierungsproblem bestehen sollte. Diese strukturelle Eigenschaft von Routenbeschreibungen wird von Denis bestätigt [Denis 98]. Er verzeichnet in den untersuchten Beschreibungen nur eine einzelne Abweichung der durch die Route vorgegebenen Ordnung.

Eine Routenbeschreibung wird in dieser Arbeit als eine Menge von einzelnen Beschreibungen aufgefasst, welche durch die lineare Struktur des Textes einer Routenbeschreibung total geordnet sind. Eine Routenbeschreibung, welche folgende zwei Kriterien erfüllt, wird kontinuierlich genannt:

- Jeder Pfad oder Orientierungspunkt der Route wird nur durch eine Beschreibung eines Pfades oder Orientierungspunktes, beziehungsweise einer Aktion, welche sich auf diesen Pfad oder Orientierungspunkt bezieht, beschrieben.
- Wird ein Pfad oder Orientierungspunkt der Route, beziehungsweise eine Aktion, welche sich auf diesen Pfad oder Orientierungspunkt bezieht, beschrieben, so liegt

3.2 Diskontinuitäten: Nicht lineare Anteile von Routenbeschreibungen

dieser Pfad oder Orientierungspunkt nicht vor einem bereits beschriebenen Pfad oder Orientierungspunkt.

Abbildung 3.2 zeigt die Struktur einer kontinuierlichen Routenbeschreibung im Vergleich zur Struktur der beschriebenen Route. Es ist möglich, Beschreibungen von Pfaden und Orientierungspunkten in der Routenbeschreibung ohne Überkreuzungen auf Pfade und Orientierungspunkte der Route zuzuordnen.

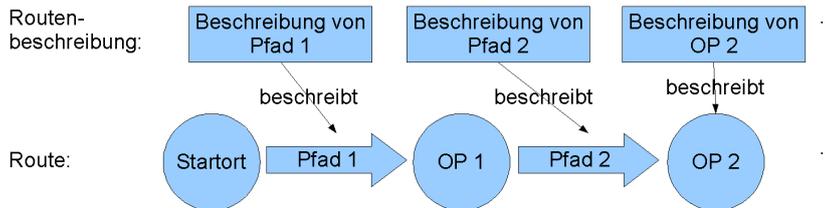


Abbildung 3.2: Kontinuierlicher Fall

Im Trierkorpus gibt es Routenbeschreibungen, in denen die Abfolge von beschriebenen Pfaden und Orientierungspunkten in der Beschreibung nicht der Abfolge der Pfade und Orientierungspunkte der Route entspricht. Dieser Fall wird *diskontinuierlich* genannt. Abbildung 3.3 zeigt die Struktur einer diskontinuierlichen Beschreibung. Die Zuordnung von beschriebenen Pfaden und Orientierungspunkten zu Pfaden und Orientierungspunkten der Route ist nicht ohne Überkreuzungen möglich.

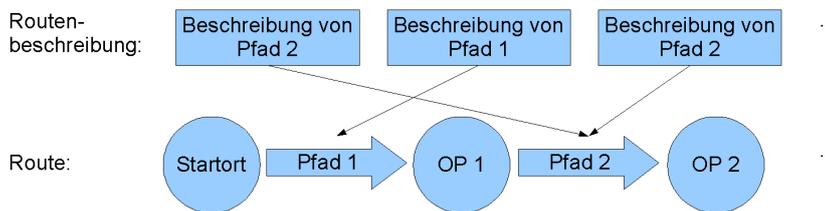


Abbildung 3.3: Diskontinuierlicher Fall

Im einleitenden Kapitel zu dieser Arbeit wurde ein Beispiel für eine diskontinuierliche Routenbeschreibung gegeben und gezeigt, welche Schwierigkeiten bei der Verarbeitung dieser Routenbeschreibungen auftreten.

3.2.2 Arten von Diskontinuitäten

Betrachtet man diskontinuierliche Beschreibungsanteile, so fällt auf, dass diese in verschiedenen Relationen zum Rest der Beschreibung stehen können: Es kann sich bei einer Diskontinuität um eine Wiederholung, eine Korrektur, eine Alternative oder einen inhärent nicht linearen Beschreibungsanteil handeln.

3 Diskontinuitäten

Wiederholung

Bei einer Wiederholung wird ein bereits beschriebener Routenabschnitt noch einmal dargestellt. Dabei kann sich die sprachliche Formulierung von der ursprünglichen Beschreibung unterscheiden, dies muss aber nicht der Fall sein.

Beispiel für Wiederholung:

Erstvorkommen: „*Gehe geradeaus bis zur Kreuzung.*“

Wiederholung: „*Gehe geradeaus. Du kommst an eine Kreuzung.*“

Korrektur

Eine Korrektur bezieht sich genau wie eine Wiederholung auf einen bereits beschriebenen Teil einer Routenbeschreibung, nur dass dieser nicht noch einmal beschrieben, sondern durch die Korrektur ersetzt wird. Ähnlich wie Wiederholungen lassen sich auch verschiedene Arten von Korrekturen unterscheiden: Angefangen bei der Revision einzelner Eigenschaften bis hin zur Ersetzung der gesamten bisher gegebenen Beschreibung.

Alternative

Eine Alternative liegt dann vor, wenn in der Routenbeschreibung eine Folge von Pfaden beschrieben wird, welche von einem bereits beschriebenen Orientierungspunkt der Route zu einem anderen bereits beschriebenen Orientierungspunkt der Route, unter Verwendung von anderen Pfaden, als zuvor beschrieben, führt.

Inhärent diskontinuierlicher Beschreibungsanteil

Inhärent diskontinuierliche Beschreibungsanteile beschreiben Pfade oder Orientierungspunkte, welche nicht Teil der Route sind. Es ist nicht möglich, diese Beschreibungen auf Pfade oder Orientierungspunkte der Route zuzuordnen.

3.3 Analyse des Trierkorpus

Diskontinuierliche Anteile kommen häufig in den Routenbeschreibungen des Trierkorpus vor. Um zu klären, wieso dieses Phänomen hier so häufig vorkommt, während es in der Literatur zu Routenbeschreibungen nur als äußerst seltener Sonderfall beschrieben wird [Denis 98], ist also zunächst eine Analyse dieser Sammlung von Routenbeschreibungen notwendig.

Es handelt sich beim Trierkorpus um mündliche Routenbeschreibungen, welche in der Fußgängerzone von Trier auf Tonband aufgenommen und anschließend transkribiert worden sind. Dies fand in den 1980er Jahren statt; die Tonbänder sind nicht mehr erhalten. Der Korpus umfasst etwa 80 Protokolle, von denen allerdings ein Viertel schwierig zu

verwerten ist, da hier Start- und Endpunkt der Route nicht vermerkt worden sind. Im Folgenden beziehe ich mich auf die übrigen 62 Protokolle.

3.3.1 Eigenschaften von Korpora von Routenbeschreibungen und die besondere Stellung des Trierkorpus

In dieser Arbeit werden in-advance-Routenbeschreibungen betrachtet. Innerhalb dieser Kategorie können Routenbeschreibungen weiter unterteilt werden. Um zu untersuchen, wieso diskontinuierliche Routenbeschreibungen gehäuft vorkommen, werden Eigenschaften von Routenbeschreibungen definiert. Der Trierkorpus wird bezüglich dieser Eigenschaften bewertet, wodurch Unterschiede zu anderen Korpora deutlich werden.

Modalität: Schriftlich oder mündlich Eine Routenbeschreibung kann schriftlich oder mündlich gegeben werden. Eine mündliche Routenbeschreibung kann zur besseren Erinnerung oder aber für die spätere Verwendung im Rahmen wissenschaftlicher Arbeiten, schriftlich fixiert werden. Dabei besteht die Schwierigkeit, die intendierte Interpunktion zu finden. Mündliche Sprache unterscheidet sich von schriftlicher Sprache durch die Verwendung von Umgangssprache, Ellipsen, Fehlern und ihren Korrekturen. In der Regel entstehen schriftliche Beschreibungen unter weniger Zeitdruck als mündliche, der Beschreibende kann in aller Ruhe seinen Text noch einmal durchsehen und gegebenenfalls verbessern. In einer mündlichen Beschreibung besteht diese Möglichkeit nicht. Daher sind Korrekturen innerhalb der Beschreibung dem mündlichen Medium vorbehalten. Einen Grenzfall zwischen diesen Medien stellen viele internetbasierte Kommunikationsmöglichkeiten dar. In Chats, Foren und Instant Messengern wird zwar das Medium Schrift verwendet, sie weisen aber viele Merkmale mündlicher Kommunikation auf [Beisswenger 02].

Der Trierkorpus wurde mündlich erhoben und später schriftlich fixiert. Dies sehe ich als einen sehr wichtigen Unterschied zu den von Denis untersuchten Beschreibungen, welche schriftlich erstellt wurden [Denis 98].

Zeitlicher Rahmen Das Generieren einer Routenbeschreibung ist eine komplexe kognitive Aufgabe. Je mehr Zeit dafür zur Verfügung steht, desto länger kann der Beschreibende nachdenken.

Die Auskunftgebenden des Trierkorpus wurden in einer Fußgängerzone angesprochen. Diese Situation schafft einen gewissen Zeitdruck, da Personen in einer solchen Situation in der Regel sehr schnell mit der Äußerung einer Beschreibung beginnen. Dazu kommt, dass diese Personen möglicherweise andere Verpflichtungen haben und so nicht bereit sind, viel Zeit auf die Generierung einer Beschreibung zu verwenden.

Ort der Beschreibung An welchem Ort eine Beschreibung aufgenommen wird, wirkt sich ebenfalls auf die Beschreibung aus. So können sich bei einer am Startort der Route aufgenommenen Beschreibung deiktische Ausdrücke auf Landmarken in der unmittelbaren Umgebung des Startpunktes beziehen. Bei Beschreibungen, welche

3 Diskontinuitäten

an einem anderen Ort, als dem Startpunkt der Route, aufgenommen werden, ist dies nicht möglich.

Alle Routenbeschreibungen im Trierkorpus wurden am Startpunkt der gesuchten Route aufgenommen.

Verwendung von Gesten Mündliche Routenbeschreibungen können von Gesten begleitet werden. Häufig werden diese Gesten mit deiktischen Ausdrücken verbunden.

Beispiel für begleitende Gesten:

Die Äußerung „*Gehen Sie hier rein.*“ wird mit einer Zeigegeste auf eine Straße verbunden.

Leider ist die Verwendung von Gesten im Trierkorpus nicht dokumentiert worden. Viele Formulierungen deuten aber darauf hin, dass die Beschreibenden ihre Rede durch Gesten unterstützt haben. Diese fehlende Information kann die Verarbeitung erschweren.

Externe Repräsentation Karten oder selbst gezeichnete Skizzen können als externe Repräsentation eine Routenbeschreibung unterstützen. Sie erlauben eine einfache Darstellung komplexer räumlicher Zusammenhänge, welche sprachlich aufwändig beschrieben werden müssten. Nach [Scheel & Blanck 08] werden bei der Verwendung einer externen Repräsentation zur Beschreibung von Routen deiktische Ausdrücke genutzt, um auf Objekte der externen Repräsentation zu verweisen.

Die Routenbeschreibungen des Trierkorpus wurden nach meinem Wissen ohne Hilfe externer Repräsentationen aufgenommen.² Deiktische Ausdrücke in den Routenbeschreibungen des Trierkorpus verweisen auf Objekte der realen Welt, welche von Beschreibendem und Instruiertem zum Zeitpunkt der Beschreibung perzipiert werden konnten.

Interaktion Eine mündliche Routenbeschreibung bietet die Möglichkeit zur Interaktion. Auf diesem Weg können Unklarheiten beseitigt oder nach einer Bestätigung der aufgebauten Repräsentation gefragt werden, wie im Modell von Allen [Allen 97] dargestellt wird. Eine Nachfrage beeinflusst eine Routenbeschreibung dahingehend, dass auf diese in der Regel eine Antwort kommt. Der Inhalt dieser Antwort bezieht sich häufig auf bereits beschriebene Teile der Route.

Jemand, der eine Routenbeschreibung hört, kann auch ohne Rückfragen in einen Dialog mit dem Beschreibenden treten. Durch Interjektionen wie „*hm*“ oder mimische und gestische Ausdrücke kann er Rückmeldung über das Gehörte geben. Er kann deutlich machen, dass er Probleme beim Verstehen der Beschreibung hat. Wird dies vom Beschreibenden erkannt, kann er durch eine Wiederholung des Beschriebenen versuchen, die Verständnisprobleme des Instruierten zu beheben.

Die Trierer Protokolle sollten ohne Rückfragen aufgenommen werden. Nicht immer haben sich die Auskunftssuchenden an diese Richtlinie gehalten. Auch dort, wo derartige Rückfragen nicht protokolliert sind, kann davon ausgegangen werden, dass

²Eine einzige Beschreibung im Korpus nutzt eine externe Repräsentation: Der Auskunftgebende schenkt dem Auskunftssuchenden einen Stadtplan.

Interjektionen oder nonverbale Kommunikation erfolgt sind. Die im Trierkorpus gesammelten Routenbeschreibungen sind im Rahmen einer Interaktion entstanden.

3.3.2 Analyse der Vorkommen von Diskontinuitäten im Trierkorpus

Als empirische Grundlage für die Arbeit an Diskontinuitäten, habe ich den Trierkorpus verwendet. Erstes Ziel meiner Analyse war es, zunächst zu belegen, dass Diskontinuitäten innerhalb des Korpus ein systematisches Phänomen sind. Die Verteilung der verschiedenen Arten von Diskontinuitäten und ihre Einbettung in die Beschreibung kann wiederum für Erklärungshypothesen und die Entwicklung eines geeigneten Verarbeitungsmodells genutzt werden.

Ergebnisse der Analyse des Trierkorpus

Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. Mit durchschnittlich mehr als drei Diskontinuitäten pro Beschreibung, kann von einem systematischen Vorkommen gesprochen werden. Im Folgenden wird die Verteilung von Alternativen, Korrekturen, Wiederholungen und Nachfragen beschrieben.

Anzahl der Protokolle insgesamt	63
Anzahl der Diskontinuitäten insgesamt	206 (≈ 3.3 Vorkommen pro Protokoll)
durch Nachfragen provozierte Diskontinuitäten	31 (≈ 15.0 %)
Korrekturen	13 (≈ 6.3 %)
Alternativen	7 (≈ 3.4 %)
Wiederholungen	185 (≈ 89.8 %)

Tabelle 3.1: Vorkommen von Diskontinuitäten im Trierkorpus

Alternativen Alternativen kommen grob in jedem zehnten Protokoll vor (7 auf 63).

In der Regel (nur eine Ausnahme) werden sie vom Schlüsselwort „auch“ begleitet. Das Wort „auch“ ist allerdings kein zuverlässiger Indikator für Alternativen. Häufig wird das Wort „auch“ genutzt, um Beschreibungen von Landmarken einzuleiten.

Beispiel für die Einleitung einer Beschreibung von Landmarken durch das Wort „auch“:

„Da kommt so'n Fußgängerüberweg, da kommt 'ne Straße, da fahrn auch Autos und da müßt Ihr dann auch links hoch.“

Eine häufige Verwendung des Wortes „auch“ findet sich ebenfalls in Aussagen wie: *„Tut mir leid, aber ich bin auch nicht von hier.“*

Keines der Vorkommen von Alternativen ist durch eine Nachfrage provoziert.

Korrekturen Korrekturen treten mit etwa einem Vorkommen pro fünf Protokolle ungefähr doppelt so häufig auf wie Alternativen (13 auf 63). Korrekturen werden

3 Diskontinuitäten

häufig von Interjektionen wie „äh“, „nä“ oder „eh“ eingeleitet. Diese Interjektionen finden sich aber auch an anderen Stellen der Routenbeschreibungen. Das Wort „Entschuldigung“ hingegen kann als ein guter Indikator zum Erkennen von Korrekturen genutzt werden, da es im Trierkorpus von den Beschreibenden nur im Kontext einer Korrektur verwendet wird.

Bestimmte Fehler in den Routenbeschreibungen, auf welche eine Korrektur folgt, kommen gehäuft vor. So machen Links-rechts-Verwechslungen ein knappes Viertel der gefundenen Korrekturen aus. Auch die Verwechslung von zwei Straßen, der Brot- und der Fleischstraße, welche beide in einem ähnlichen Winkel vom Hauptmarkt ausgehen, kommt genau so häufig vor. Ich vermute, dass hier sowohl die räumliche Anordnung als auch die verwandten Namen zu der Verwechslung führen.

Wiederholungen Wiederholungen sind mit 89.8 % mit Abstand die häufigste Diskontinuität im Korpus. Dieses Phänomen eignet sich daher am besten für eine weitere Untersuchung. Die durchschnittlich etwas mehr als zwei Diskontinuitäten pro Beschreibung sind mehr oder weniger gleichmäßig über die Protokolle verteilt. Die höchste Anzahl von Diskontinuitäten in einem Protokoll ist sechs, die Kleinste null, da es auch Protokolle ohne Diskontinuitäten gibt.

Wiederholungen werden häufig von dem Wort „also“ eingeleitet. Es ist ein guter Indikator für Wiederholungen, da es nur sehr selten in einem anderen Kontext angewendet wird.

Nachfragen Etwa 15 % der Diskontinuitäten finden nach einer Rückfrage seitens des Instruierten statt, auch wenn diese im Versuch nicht vorgesehen waren. Oft kann beobachtet werden, dass der Beschreibende direkt auf diese Zwischenfrage eingeht, was in den meisten Fällen zu einer Diskontinuität führt.

Diskontinuitäten in anderen Korpora

Neben dem Trierkorpus lag für diese Arbeit eine Sammlung von schriftlich aufgenommenen Routenbeschreibungen bezüglich des Geländes des Informatikums vor. Eine umfassende Analyse bezüglich der Vorkommen von Diskontinuitäten für diesen Korpus steht im Moment noch aus. Sicher kann aber gesagt werden, dass Diskontinuitäten in diesem Korpus, falls überhaupt vertreten, eine seltene Randerscheinung darstellen.

Wie bereits berichtet, fand auch Denis in dem von ihm untersuchten, schriftlich aufgenommenen, Korpus nur ein einziges Vorkommen einer diskontinuierlichen Proposition.

Die Tatsache, dass der Trierkorpus mündlich und unter entsprechendem Zeitdruck aufgenommen wurde, scheint daher ein wichtiges Kriterium für das häufige Auftreten von Diskontinuitäten zu sein.

Zuletzt möchte ich noch einen Korpus erwähnen, auf den zum Zeitpunkt der Arbeit kein Zugriff besteht, über den aber mündliche Aussagen vorliegen. Im Rahmen ihrer Diplomarbeit haben Scheel und Blanck multimodale Routenbeschreibungen untersucht. Auch in diesem Korpus waren Diskontinuitäten kein auffälliges Phänomen, obwohl die

3.4 Erklärungsmodelle für die Entstehung von Diskontinuitäten

Beschreibungen mündlich aufgenommen worden sind. Aus Sicht der Kognitionsforschung ist dies ein interessantes Ergebnis, da gezeigt wird, dass Mündlichkeit kein sicherer Garant für Diskontinuitäten ist. Den wesentlichen Unterschied zwischen dem von Scheel und Blanck untersuchten Korpus und dem Trierkorpus sehe ich in der Verwendung externer Repräsentationen. Externe Repräsentationen können den kognitiven Aufwand der Generierung von Routenbeschreibungen senken, was zur Folge hat, dass die Beschreibung der route besser Strukturiert werden kann.

3.4 Erklärungsmodelle für die Entstehung von Diskontinuitäten

Das regelmäßige Vorkommen von Diskontinuitäten im Trierkorpus spricht dagegen, Diskontinuitäten als ein zufälliges Phänomen zu betrachten.

In Kapitel 2 wurde ein kognitives Modell der Generierung von Routenbeschreibungen vorgestellt. Innerhalb dieses Modells können Erklärungen für die gefundenen Diskontinuitäten gesucht werden.

Erstens könnte es sich bei den nicht linearen Anteilen um ungewollte Artefakte des Produktionsprozesses handeln. Oft sind es gerade solche Artefakte, welche interessante Einblicke in die grundlegende Funktionsweise eines Systems bieten. So wurden viele Eigenschaften der visuellen Wahrnehmung anhand von optischen Illusionen erforscht. Zweitens könnte die nicht lineare Struktur beabsichtigt sein oder zumindest eine Funktion erfüllen. Drittens könnte die Routenbeschreibung inhärent diskontinuierliche Anteile enthalten. Im letzten Fall braucht die Ursache nicht in der kognitiven Verarbeitung von räumlichen Informationen gesucht zu werden.

Im Folgenden werden verschiedene Erklärungen für das Entstehen von Diskontinuitäten in Routenbeschreibungen gegeben. Die aufgestellten Erklärungen schließen sich nicht gegenseitig aus. Im Gegenteil gehe ich davon aus, dass das komplexe Phänomen der Diskontinuitäten nur durch ein Zusammenspiel verschiedener Ursachen erklärt werden kann. Die Erklärungen für Diskontinuitäten werden im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr weiter untersucht.

3.4.1 Erklärung durch Korrektur: Diskontinuitäten als Korrektur

In Kapitel 2 wurde ein kognitives Modell der Entstehung von Routenbeschreibungen vorgestellt. Natürliche kognitive Systeme sind anfällig für Fehler. Auf dem Weg vom räumlichen Wissen, über die Planung einer Route und den Entwurf einer Beschreibung bis hin zur sprachlichen Äußerung, können Fehler vorkommen. In Kapitel 2 wurden Tverskis Untersuchungen zu systematischen Fehlern im räumlichen Wissen von Versuchspersonen vorgestellt. Wird ein Fehler in einer Routenbeschreibung vom Beschreibenden erkannt, so folgt in der Regel eine Korrektur. Bei einem schriftlichen Protokoll besteht die Möglichkeit, den Text noch einmal zu überarbeiten. Korrekturen sind daher bei schriftlichen Protokollen anders manifestiert als in mündlichen Routenbeschreibungen.

3 Diskontinuitäten

Beispiel für Fehler und Korrektur: (Trierkorpus 2.25)

„*Erstmal zum Hauptmarkt. - Äh - und dann die nächste Straße links runter. (...) Sie können auch hier. - Nä, die noch nicht, dann die Nächste.*“

Diskontinuitäten der Art Wiederholung können ebenfalls mit der Korrektur-Erklärung begründet werden. Eine Wiederholung mit nicht gleichem Wortlaut kann als Verbesserungsversuch einer vielleicht noch nicht optimalen Beschreibung angesehen werden.

Beispiel für Wiederholung mit anderem Wortlaut: (Trierkorpus 4.3)

„*(...) und dann 90 Grad, also direkt links runter.*“

Es kann davon ausgegangen werden, dass zeitlicher Druck, wie er bei der Aufnahme des Trierkorpus vorlag, die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers erhöht. Doch damit es zu einer Diskontinuität durch einen Fehler oder eine noch nicht hinreichend gute Beschreibung kommt, muss der Beschreibende diesen Fehler erst einmal erkennen. Gerade bei systematischen Fehlern, wie sie etwa von Tverski bei räumlichem Wissen untersucht worden sind, wirft dies die Frage auf, welche Mechanismen für diese Korrektur verantwortlich sind. Es kann angenommen werden, dass der Beschreibende über interne Mechanismen zur Erkennung von Fehlern verfügt. Das Erkennen unzureichender Beschreibungen kann durch die im Folgenden vorgestellte Interaktions-Erklärung begründet werden.

3.4.2 Erklärung durch Interaktion: Diskontinuitäten als Reaktion auf Rückmeldung

Rückmeldungen sind eine mögliche Erklärung für den Korrekturbedarf in der Korrektur-Erklärung. Die Korrektur eines Fehlers oder einer unzureichenden Beschreibung findet als Reaktion auf die verbalen oder nonverbalen Rückmeldungen des Empfängers statt. Etwa 15 % der Diskontinuitäten im ausgewerteten Korpus folgten auf eine Nachfrage des Instruierten. Auch ohne eine explizite Nachfrage kann davon ausgegangen werden, dass die Auskunftgebenden durch Mimik und Gestik kontinuierliche Rückmeldungen über ihre Beschreibung erhalten haben. Äußert der Empfänger der Beschreibung Unverständnis, ist dies ein guter Grund, noch einmal eine verständlichere oder genauere Beschreibung zu geben.

3.4.3 Erklärung durch Strukturierung: Diskontinuitäten als mangelnde Strukturierung

Bei einigen der Diskontinuitäten spielt die Formulierung der Routenbeschreibung eine wichtige Rolle. Folgendes Beispiel zeigt, dass durch einfache Veränderungen in der Formulierung der Routenbeschreibung diskontinuierliche Anteile entfernt werden können.

Beispiel für Entfernung einer Diskontinuität durch eine andere Formulierung:

Diskontinuierliche Beschreibung: „*Gehen Sie die Brotstraße runter. Gehen Sie immer geradeaus.*“

3.4 Erklärungsmodelle für die Entstehung von Diskontinuitäten

Diese beiden Handlungsbeschreibungen könnten leicht so zusammengefasst werden, dass keine Diskontinuität mehr vorliegt:

„Gehen Sie die Brotstraße geradeaus runter.“

In einer gut strukturierten schriftlichen Beschreibung ist eher die zweite Formulierung zu erwarten, während das erste Beispiel typisch für gesprochene Sprache ist. Eine schriftliche Beschreibung bietet sowohl die Möglichkeit, erst einmal zu überlegen, bevor etwas niedergeschrieben wird, als auch die Möglichkeit, Formulierungen noch einmal zu überarbeiten und zu straffen. Einige Diskontinuitäten könnten also als Folge von Zeitdruck bei der Formulierung von sprachlichen Äußerungen angesehen werden.

3.4.4 Erklärung durch Recallprozesse: Diskontinuitäten durch Verbesserung des Abrufs relevanten räumlichen Wissens während einer Routenbeschreibung

Grundlage für Routenbeschreibungen sind räumliche Informationen. In Kapitel 2 wurde dargestellt, dass sich die Fähigkeit, relevante Informationen abzurufen, durch eine intellektuelle Beschäftigung mit Ähnlichem, verbessert. Während der Instruierende eine Route beschreibt, verbessert sich seine Fähigkeit, räumliche Informationen bezüglich der Umgebung der Route abzurufen. Lag diese Information zu dem Zeitpunkt, als dieses Detail hätte erwähnt werden können, noch nicht vor, so könnte dies nachträglich ergänzt werden, was zu einer Diskontinuität führt.

3.4.5 Erklärung durch Chunking: Diskontinuitäten als Folge der hierarchischen Organisation von räumlichem Wissen beim Auskunftsgebenden

Diese Erklärung besteht analog zur Erklärung durch Recallprozesse, nur, dass Annahmen über die Organisation von räumlichem Wissen hinzugenommen werden. Das Prinzip des Chunkings wurde in Kapitel 2 vorgestellt. Diese Organisation von räumlichem Wissen passt sehr gut zu dem von Tverski vorgeschlagenen Modell der kognitiven Kollage. Einzelne Teile der Kollage entsprechen möglicherweise verschieden stark zusammengefassten Informationen. Diese Wissenshierarchie spiegelt sich auch im Abruf der Informationen wider. Werden zuerst Informationen einer höheren, stärker komprimierten Ebene abgerufen und solche mit mehr Details später, könnte dies analog zur Recall-Erklärung erklären, warum Details später ergänzt werden.

Zuerst können wichtige Knotenpunkte und ihre Verbindungen erinnert werden. Dies ruft wiederum weitere Details wach. Indem der Instruierende beginnt, über eine Route zu sprechen, werden so mehr und mehr Informationen verfügbar. Abbildung 3.4 zeigt eine diskontinuierliche und eine kontinuierliche Linearisierung einer möglichen hierarchischen Organisation des räumlichen Wissens der Beispielroute aus dem einleitenden Kapitel.

3 Diskontinuitäten

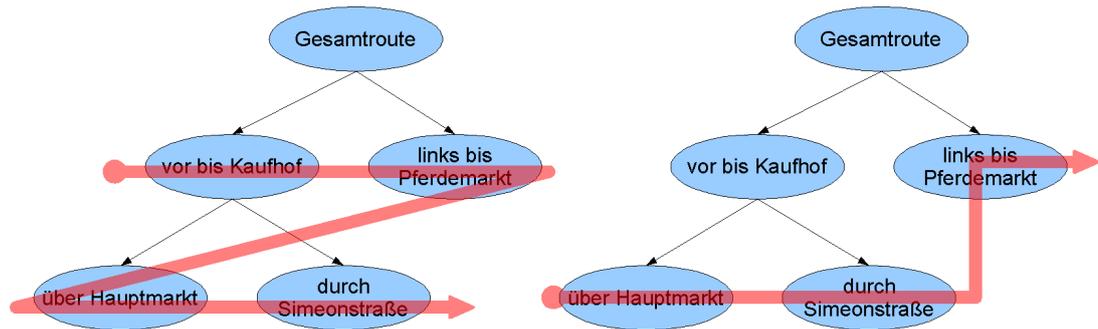


Abbildung 3.4: Hierarchische Organisation von räumlichem Wissen. Links: Unter Zeitdruck werden die Elemente in der Abfolge des Abrufs beschrieben. Rechts: Beschreibung analog zum Verlauf der Route.

3.4.6 Erklärung durch didaktisches Chunking

In den vorangegangenen Erklärungen wurden Diskontinuitäten als ein Artefakt des Generierungsprozesses betrachtet. Doch Diskontinuitäten könnten auch nützliche Funktionen innerhalb einer Beschreibung erfüllen. Analog zur Chunking-Erklärung kann davon ausgegangen werden, dass auch beim Empfänger einer Routenbeschreibung räumliches Wissen hierarchisch organisiert ist. Nach [Zimbardo 88] hat die Struktur von dargebotenem Wissen Einfluss auf die Fähigkeit eines Menschen, dieses Wissen später zu erinnern. Wenn räumliche Information durch die Beschreibung bereits in hierarchischer Form angeboten wird, dann kann sie der Empfänger auch besser verarbeiten und erinnern.

Nach Denis [Denis 98] können zu detailreiche Beschreibungen den Navigator eher verwirren als ihm zu helfen. Dies ist durch die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begründet. Um trotzdem die notwendige Menge an Einzelheiten erfolgreich zu kommunizieren, bietet sich eine absichtliche hierarchische Ordnung an. Dabei wird zuerst ein Überblick über die Route gegeben, bevor im Rahmen einer Wiederholung, Details ergänzt werden.

3.4.7 Erklärung durch didaktische Wiederholung

Wiederholte Darbietung von Informationen führt nach Zimbardo [Zimbardo 88] zu einer besseren Encodierung der Informationen im Gedächtnis. Wiederholungen in Routenbeschreibungen können diese didaktische Funktion erfüllen.

Beispiel für didaktische Wiederholung: (Trierkorpus 2.17)

„Also links, geradeaus, runter. [...] Also links, geradeaus, runter.“

In folgendem Beispiel ist sehr gut zu sehen, wie die korrigierte Passage der Beschreibung wiederholt wird. Dies lässt sich so interpretieren, dass der Auskunftgebende sich bemüht, die richtige Information besonders einprägsam zu präsentieren.

Beispiel für korrigierten Fehler und Betonung durch Wiederholung: (Trierkorpus 3.28)
„Die Straße immer gerade hoch (...) und da teilt sich die Straße ungefähr nach zweihundert Metern und da gehen Sie rechts hoch, eh, links hoch, (...) Entschuldigung, links hoch.“

3.4.8 Erklärung durch Inhärenz: Diskontinuitäten durch inhärent diskontinuierliche Beschreibungsanteile

Nicht alle Informationen über eine Route können in linearer Weise dargestellt werden. Liegt ein beschriebener Orientierungspunkt oder Pfad ausserhalb der beschriebenen Route, so führt dies zu einer Diskontinuität.

Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn eine Routenbeschreibung eine Alternative enthält. Abbildung 3.5 zeigt den Verlauf einer solchen Route, bei der es nicht möglich ist, die Elemente in eine lineare Ordnung zu bringen.

Beispiel für Alternative: (Trierkorpus 4.4)

„Also hier erstmal links um die Ecke. Man kann auch hierrum rechts, dann kommt man genauso, das sind zwei Parallelstraßen.“

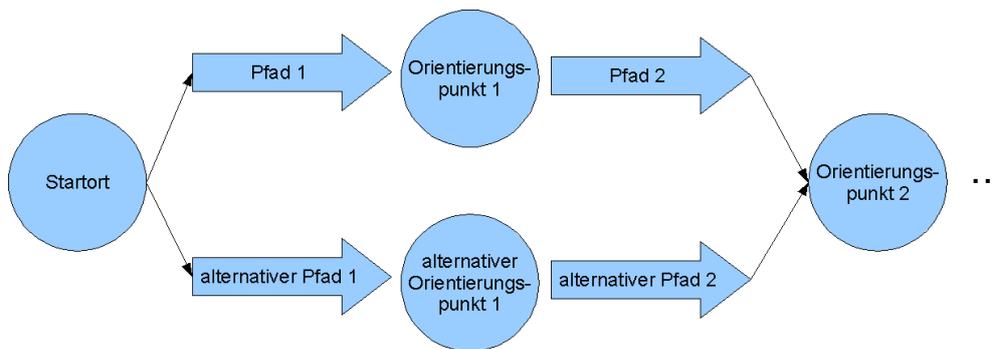


Abbildung 3.5: Route mit alternativem Verlauf

Aber auch andere Informationen können außerhalb der linearen Struktur liegen. Wird ein Orientierungspunkt beschrieben, dessen Erreichen anzeigt, dass der Navigierende einen Fehler bei der Ausführung der Routenbeschreibung begangen hat, so liegt dieser Orientierungspunkt stets außerhalb der Route.

Beispiel für Routenbeschreibung mit inhärent diskontinuierlichem Anteil: (Mündlich, sinngemäß aus Erinnerung.)

„Du folgst dieser Straße. Links kommt ein Durchgang, etwa drei Meter breit. Wenn Du durchgehst, siehst Du gleich zwei Torbögen hintereinander. Du kannst den Durchgang nicht verfehlen. Wenn Du bei EDEKA bist, bist Du zu weit.“

Abbildung 3.6 zeigt den Verlauf der im Beispiel beschriebenen Route.

Eine dritte Form der inhärenten Nichtlinearität ist die Lokalisierung des gesuchten Ziels durch einen Verweis auf andere, möglicherweise bekanntere Landmarken. Dies ent-

3 Diskontinuitäten

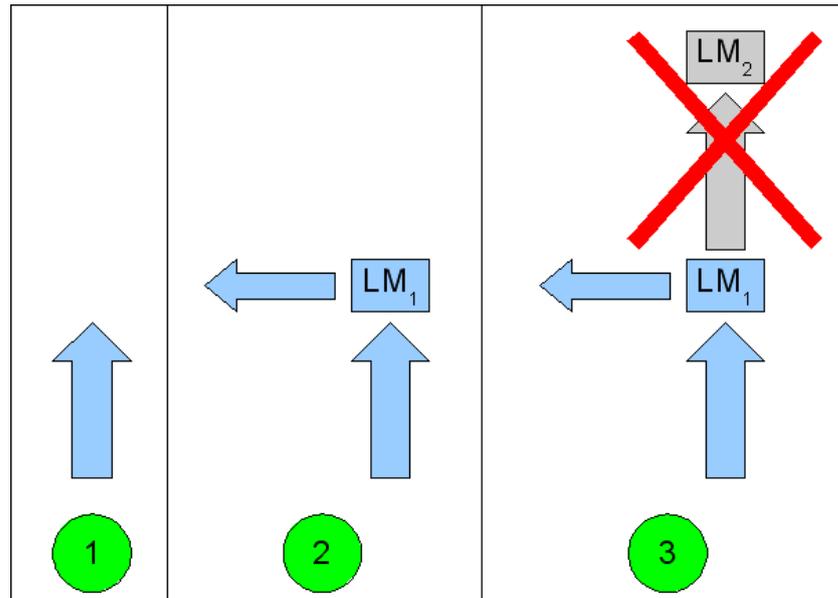


Abbildung 3.6: Bildliche Darstellung einer Routenbeschreibung mit Restriktion. Der graue Teil der Beschreibung zeigt, welchen Weg man nicht gehen soll.

spricht der Lokalisierung von Landmarken durch andere Landmarken, welche von Denis [Denis 98] beschrieben wurde.

Beispiel für Lokalisierung des Ziels durch eine andere Landmarke auf die Frage nach dem Weg zur Touristeninformation:

„Die ist bei der Porta Nigra.“

4 Der Geometrische Agent

4.1 Einleitung

Der Geometrische Agent ist ein Rahmenwerk zur Erforschung kognitiver Grundlagen von Navigationsleistungen, welches im Arbeitsbereich Wissens- und Sprachverarbeitung der Universität Hamburg entstanden ist. In [Tschander et al. 03] werden die Grundlagen des Geometrischen Agenten (im Folgenden als GA abgekürzt) vorgestellt. Der GA navigiert auf Basis natürlichsprachlicher im Voraus gegebener Routenbeschreibungen in einer virtuellen Umgebung. Dazu integriert der GA räumliche Informationen der Wegbeschreibung mit solchen, welche durch eigene Perzeption gewonnen wurden. Der GA ist daher eine ideale Umgebung, um den Aufbau räumlicher Repräsentationen durch Wegbeschreibungen und Perzeption zu erforschen. Die Virtualität der Umgebung schafft die Möglichkeit zu kontrollierbaren und wiederholbaren Experimenten, wobei verschiedene Modelle für Teilaufgaben untersucht werden können.

Zusammen mit einem generellen Überblick über die notwendigen kognitiven Leistungen, die ein Agent bei der Navigation in unbekannter Umgebung auf Grundlage einer im Voraus gegebenen Routenbeschreibung erbringen muss, wird in diesem Kapitel die Architektur des GA nach [Tschander et al. 03] vorgestellt und die Funktionsweise verschiedener Komponenten erläutert. Die im GA verwendete Sprache zur Wissensrepräsentation, Conceptual Route Instruction Language (im Folgenden als CRIL abgekürzt) wird informell anhand von Beispielen eingeführt.

Navigation setzt eine Reihe kognitiver Leistungen voraus. Wird auf Grundlage einer im Voraus gegebenen Wegbeschreibung navigiert, können diese Leistungen zwischen einer Instruktionsphase und einer Navigationsphase aufgeteilt werden. Es wird angenommen, dass ein natürliches kognitives System, ausgehend von einer im Voraus gegebenen Wegbeschreibung, ein mentales Modell der Route erstellt. Dieser Prozess wird als Instruktionsphase bezeichnet. Dazu muss das System in der Lage sein, die Syntax der Routenbeschreibung zu verstehen, den Diskursobjekten Bedeutung beizumessen und so zu einem Verständnis der Beschreibung zu gelangen. Die Navigation anhand dieses Modells in einer unbekanntem Umgebung erfordert es, dass der Agent seine räumliche Umwelt erkennt, das Modell der wahrgenommenen Umgebung mit dem Modell der Route vergleicht und Handlungen auf dieser Grundlage plant und ausführt. Dieser Prozess wird im GA als Navigationsphase bezeichnet.

4.2 Instruktionsphase

Während der Instruktionsphase baut der Agent ein Modell der Route auf Basis einer natürlichsprachlichen Routenbeschreibung auf. Das Resultat wird als Instruktionsmodell (Instruction Model) bezeichnet.¹ Grundlage für diesen Prozess sind sprachliche Fähigkeiten und Wissen um generelle räumliche Konzepte und mögliche Landmarken. Die Verarbeitung verläuft in zwei Schritten: In einem ersten Verarbeitungsschritt wird die Beschreibung syntaktisch und semantisch analysiert. Zusammen mit lexikalischem Wissen entsteht so eine Repräsentation der Satzbedeutung (sentence meaning). Diese umfasst räumliche Informationen über die Route und Informationen über Art und Abfolge von Aktionen. Im zweiten Schritt, der Instruktionsverarbeitung (instruction processing) werden diese Informationen zu einem Aktionsplan (action plan) und einem internen Modell der Route (internal model of the route) weiterverarbeitet. Beide Anteile werden in CRIL modelliert. Abbildung 4.1 stellt die Abläufe während der Instruktionsphase des GA schematisch dar. Phrasen der natürlichsprachlichen Routenbeschreibung beschreiben Aktionen, Pfade, Tracks, Positionen, Landmarken und die Relationen zwischen diesen Elementen. Die Umsetzung dieser Konzepte in CRIL soll im Folgenden vorgestellt werden.

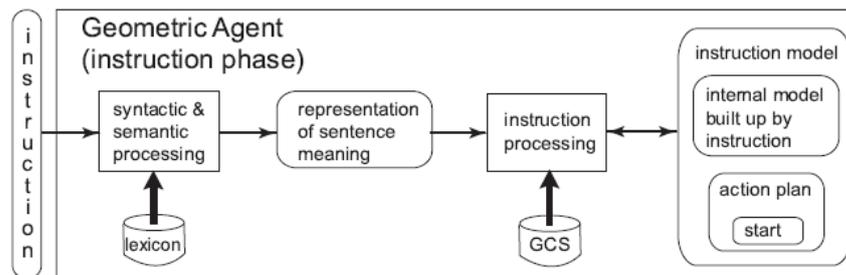


Abbildung 4.1: Architektur der Instruktionsphase des GA (Quelle: [Tschander et al. 03])

4.2.1 Elemente der Satzbedeutung

CRIL-Aktionen

Aktionen werden in der Regel durch Verben beschrieben. Dabei wird zwischen Positionsverben, Bewegungsverben und Orientierungsverben unterschieden. Tabelle 4.1 zeigt Beispiele und ihre Modellierung im GA. Diese Aktionen werden durch Positionen, Pfade und Richtungen spezifiziert. Dies deckt sich mit den von Denis eingeführten Aktionsbeschreibungen mit und ohne Bezug auf Landmarken (siehe Kapitel 2).

¹Der Begriff Instruktionsmodell wird in dieser Arbeit als Bezeichnung für Modelle von Routen oder Teilen von Routen, welche aus Routenbeschreibungen generiert worden sind, genutzt. Er grenzt diese Modelle gegen solche Modelle ab, welche durch Perzeption gewonnen worden sind.

Art:	Beispiel:	Modellierung in CRIL:
Positionsverben (verbs of Position)	stehen	BE_AT(x,p)
Bewegungsverben (verbs of motion)	gehen, betreten, abbiegen	GO(x,w)
Orientierungsverben (verbs of orientation)	drehen	CH_ORIENT(x,d)

Mit p = Position, w = Pfad (way) und d = Richtung (direction)

Tabelle 4.1: Aktionen in CRIL

Eine weitere Aktion, welche in Texten genannt wird, ist das Wahrnehmen eines Objektes, etwa in dem Satz: „Du siehst eine Post.“ Diese Angabe wird im GA allerdings deskriptiv verwendet, da der Agent während der Instruktionsphase eigenständig wahrnimmt.

CRIL-Pfade und Tracks

Pfade bezeichnen einzelne Abschnitte der Route, entlang derer sich ein Agent bewegt. Pfade verlaufen meistens entlang von Tracks, dies sind wahrnehmbare, ausgedehnte Landmarken der realen Welt, wie eine Straße oder ein Trampelpfad. Pfade können aber auch unabhängig von Tracks verlaufen. Ein Fußballspieler auf einem Rasenfeld bewegt sich nicht entlang identifizierbarer Tracks, wohl aber auf einem Platz. Pfade werden häufig im Zusammenhang mit Bewegungsverben spezifiziert. Sie können aber auch indirekt durch Beschreibung eines Tracks in der Routenbeschreibung vorkommen. Das folgende Beispiel zeigt die Spezifikation eines Pfades ohne Verwendung eines Bewegungsverbs.

Beispiel für Spezifikation eines Pfades ohne Bewegungsverben: (Aus [Tschander et al. 03])
„Auf diesem Weg trifft man auf eine Abzweigung eines kleinen Weges nach rechts, der zwischen Zaun und Haus entlangführt.“

Positionen, Regionen, Landmarken und räumliche Relationen

Pfade werden durch Präpositionen oder Adverben in Bezug auf Landmarken oder durch Landmarken spezifizierte Regionen beschrieben. Durch $TO(w, PREP(1))$, $FROM(w, PREP(1))$ und $VIA(w, PREP(1))$ wird beschrieben, dass ein Weg w in, aus oder durch eine Region führt. Darüber hinaus kann ein Pfad durch $LOC(w, PREP(1))$ direkt in Relation zu einer Landmarke beschrieben werden. $PREP(1)$ ist ein projektiver Term. Es handelt sich um einen Platzhalter für eine lexem-spezifische Funktion, welche eine Landmarke auf eine räumliche Region abbildet. Daher benötigen räumliche Relationen der Art PREP

4 Der Geometrische Agent

Art:	CRIL-Darstellung:	Funktion:
lokale Präposition oder Adverb	$LOC(u, PREP(1))$	Ort in Relation zu einer Landmarke
direktionale Präposition oder Adverb	$TO(u, PREP(1))$	Pfad führt in eine Region
direktionale Präposition oder Adverb	$FROM(u, PREP(1))$	Pfad führt aus einer Region
direktionale Präposition oder Adverb	$VIA(u, PREP(1))$	Pfad führt durch eine Region
direktionale Präposition oder Adverb	$LOC(u, PREP(1))$	Pfad in Relation zu einer Landmarke
projektiver Term	$PREP(1, rsys)$	Landmarke l liegt in Relation $PREP$ zum Referenzsystem $rsys$

Tabelle 4.2: Räumliche Relationen in CRIL. (Quelle: [Tschander et al. 03])

neben einer Landmarke ein Referenzsystem ($rsys$), welches zum Beispiel durch die aktuelle Position des GA gegeben sein kann. Der projektive Term $LEFT(L_1, rsys_1)$ drückt zum Beispiel aus, dass die Landmarke L_1 im Referenzsystem $rsys_1$ auf der linken Seite liegt. Da Referenzsysteme sich auf den Navigierenden beziehen, bedeutet dies, dass L_1 links vom Navigierenden liegt. Positionen auf der Route, wie Start- und Endpunkte von Pfaden, können ebenfalls durch $LOC(u, PREP(1))$ in Relation zu einer Landmarke beschrieben werden. Tabelle 4.2 fasst diese Elemente zusammen.

4.2.2 Aktionsplan und internes Modell der Route

Das Modell der Route kann sowohl während der Instruktionsphase auf Grundlage der gegebenen Spezifikation und Wissen um räumliche Konzepte oder aber während der Navigationsphase auf Grundlage von Perzeption bearbeitet und ergänzt werden. Weiterverarbeitung während der Instruktionsphase wird Instruktionsverarbeitung (instruction processing) genannt. Das notwendige Wissen um räumliche Konzepte wird in einer *geometric concept specification* (GCS) modelliert.

Aktionsplan

Der Aktionsplan wird in erster Linie aus Positions-, Bewegungs- und Orientierungsverben der Beschreibung zusammengesetzt. Aber auch deklarative Beschreibungen von Tracks,

(2)		actions	spatial relations	landmarks
(a)	Wenn du aus der Mensa kommst. [when you leave the dining hall]		FROM(w_1 , IN(l_1))	MENSA(l_1)
(b)	geh nach links. [walk to the left]	!GO(w_2)	TO(w_2 , LEFT($rsys_2$))	
(c)	zwischen Haus B und Haus C durch. [through [the region] between house B and house C]	!GO(w_3)	VIA(w_3 , BETWEEN(l_2 , l_3))	HOUSE(l_2) NAME(l_2 , 'B') HOUSE(l_3) NAME(l_3 , 'C')
(d)	Geh hinter Haus C lang. [walk along behind house C]	!GO(w_4)	LOC(w_4 , BEHIND(l_3 , $rsys_4$)) ALONG(w_4 , l_3)	HOUSE(l_3) NAME(l_3 , 'C')
(e)	und dann, wenn du an Haus C vorbei bist, [and then, when you are past house C]	!BE_AT(p_1)	LOC(p_1 , PAST(l_3 , $rsys_5$))	HOUSE(l_3) NAME(l_3 , 'C')
(f)	wieder nach rechts. [again to the right]	!GO(w_6)	TO(w_6 , RIGHT($rsys_6$))	
(g)	Dann stehst du vor Haus E. [then you will stand in front of house E]	!BE_AT(p_2)	LOC(p_2 , FRONT(l_4 , $rsys_7$))	HOUSE(l_4) NAME(l_4 , 'E')

Abbildung 4.2: Beispiel für Extraktion von Satzbedeutungen aus natürlichsprachlicher Wegbeschreibung. Auszuführende Aktionen sind durch ein „!“ gekennzeichnet. (Quelle: [Tschander et al. 03])

können als Aktionen interpretiert werden, wie weiter oben gezeigt wurde. Die Abfolge innerhalb des Aktionsplans, entspricht der Abfolge innerhalb der Routenbeschreibung.²

Internes Routenmodell

Das interne Modell der Route wird als CRIL-Netz aufgebaut. Knoten des CRIL-Netzes entsprechen Landmarken, Pfaden, Tracks, Regionen und Positionen. Nicht geometrische Eigenschaften dieser Objekte werden in den Knoten durch Attribute festgehalten. Durch Kanten zwischen den Knoten werden räumliche Relationen zwischen den Objekten dargestellt. Abbildung 4.3 zeigt CRIL-Netze, welche aus der Satzbedeutung entstanden sind.

CRIL-Netze basieren auf dem Formalismus der Referentiellen Netze [Habel 85]. Landmarken, Pfade, Tracks, Regionen und Positionen werden als Objekte eines Diskurses aufgefasst. In einem Referentiellen Netz werden Eigenschaften der Diskursobjekte und Relationen zwischen Diskursobjekten durch Designatoren und Attribute festgehalten. Designatoren können Konstanten, wie zum Beispiel Eigennamen sein („Simeonstraße“) oder Deskriptionen, welche sich auf andere Referenzobjekte beziehen, wie beispielsweise „die Straße zwischen Karstadt und Kaufhof“. Attribute von Objekten werden genutzt, um Eigenschaften von Objekten festzuhalten, zum Beispiel die Tatsache, dass es sich bei dem Objekt um einen Track handelt.

²Das ist genau der Grund, welcher zu Fehlern bei der Verarbeitung diskontinuierlicher Routenbeschreibungen führt.

(2)	(a)	(b)	(c)
Spatial relation	FROM(w_1 , IN(l_1))	TO(w_2 , LEFT($rsys_2$))	VIA(w_3 , BETWEEN(l_2 , l_3))
landmarks	MENSA(l_1)		HOUSE(l_2) NAME(l_2 , 'B') HOUSE(l_3) NAME(l_3 , 'C')
CRIL-net			

Abbildung 4.3: CRIL-Netze zu Satzbedeutungen (Quelle: [Tschander et al. 03])

Inferenzen während der Instruktionsphase

Das in Abbildung 4.3 dargestellte CRIL-Netz beschreibt drei unzusammenhängende Pfade (w_1, w_2, w_3). Dies entspricht dem in Kapitel 3 eingeführten Modell einer Route, welche aus zusammenhängenden Pfaden besteht. Während der Instruktionsphase können weitere Inferenzen gezogen werden, um die Relationen der einzelnen Pfade zueinander zu bestimmen und so zu einem zusammenhängenden Modell zusammzusetzen. Die Definition der verwendeten räumlichen Relationen ermöglicht Schlüsse auf Grund der vorliegenden Spezifikation. Zum Beispiel können Aussagen über Start- und Endpunkt eines Pfades auf Grundlage seiner Relation zu einer Region bestimmt werden. Abbildung 4.4 zeigt einige Regeln des GCS, Abbildung 4.5 zeigt das entsprechend dieser Regeln modifizierte CRIL-Netz. Das griechische iota steht für die Inzidenz-Relation und könnte umgangssprachlich mit „kommt darin vor“ übersetzt werden.

$$\begin{aligned}
 \text{TO}(w, r) &\quad \Leftrightarrow_{\text{def}} \text{fpt}(w) \iota r \wedge \neg(\text{stpt}(w) \iota r) \\
 \text{FROM}(w, r) &\quad \Leftrightarrow_{\text{def}} \text{stpt}(w) \iota r \wedge \neg(\text{fpt}(w) \iota r) \\
 \text{VIA}(w, r) &\quad \Leftrightarrow_{\text{def}} \exists Q [Q \iota w \wedge Q \iota r] \wedge \neg(\text{stpt}(w) \iota r) \wedge \neg(\text{fpt}(w) \iota r)
 \end{aligned}$$

Abbildung 4.4: GCS-Regeln für Start- und Endpunkte von Pfaden in Abhängigkeit der räumlichen Relation der Pfade zu Regionen (Quelle: [Tschander et al. 03])

Beispiel für Inferenz: Verknüpfung von End- und Startpunkten Eine wichtige Inferenz, die in der Instruktionsphase stattfindet, ist die Gleichsetzung von Endpunkten eines Pfades (fpt) mit dem Startpunkt (stpt) des nächsten Pfades. Dies löst auch das Problem notwendiger Referenzsysteme (rsys). Pfade richten den GA automatisch aus. So kann ein Pfad genutzt werden, um einen weiteren Pfad in Relation zu dieser Ausrichtung zu spezifizieren. Im Beispiel (Abbildung 4.5 und 4.6) wird das Referenzsystem $rsys_2$ durch Ausrichtung und Position des GA bestimmt, nachdem der vorherige Pfad w_1 traversiert

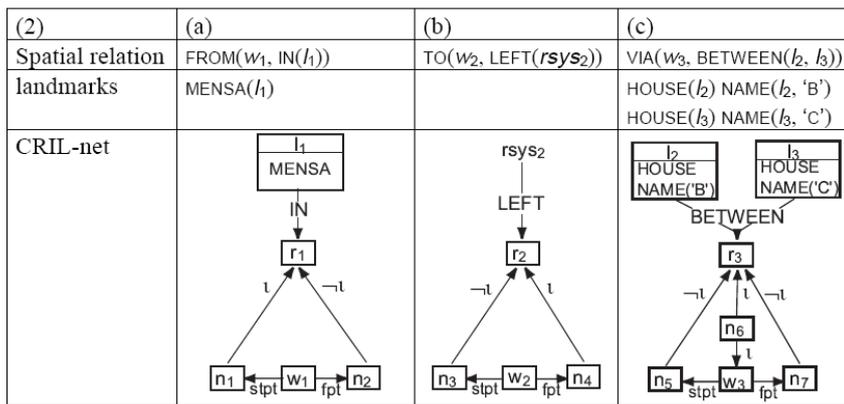


Abbildung 4.5: Durch GCS erweiterte CRIL-Netze zu Satzbedeutungen (Quelle: [Tschander et al. 03])

wurde. Auch Knoten, die lediglich Positionen beschreiben, können auf diese Weise in ein zusammenhängendes CRIL-Netz integriert werden.³

4.3 Navigationsphase

In der Navigationsphase interagiert der Geometrische Agent mit einer simulierten Umgebung. Durch eine Visualisierung des Agenten und seiner Aktionen in dieser Umgebung, kann das Verhalten des GA beobachtet und im Rahmen empirischer Studien ausgewertet werden. Die Umgebung des GA ist metrisch repräsentiert. Objekte wie Gebäude, Tracks und andere Landmarken sind als Polygone modelliert. Um erfolgreich navigieren zu können, muss der GA seine Umgebung wahrnehmen. Auf Grundlage dieser Wahrnehmung, des internen Modells der Route und seines Aktionsplanes, kann der GA Handlungen planen und ausführen.

4.3.1 Wahrnehmung des GA

Wahrnehmung wird im GA simuliert. Notwendige kognitive Leistungen wie Objekterkennung, Wiedererkennung eines Objektes und Verfolgung eines Objektes während der Bewegung sind noch nicht vollständig gelöste Probleme der Informatik. Indem die Wahrnehmung simuliert wird, kann der GA unabhängig von diesen Problemen zur Erforschung der Raumkognition verwendet werden. Darüber hinaus kann durch unterschiedliche Modellierungen der Wahrnehmung, etwa durch Einbeziehung der Prinzipien der

³Tschander merkt an, dass Strategien für dieses Vorgehen im Rahmen des GA noch getestet werden müssen. Die in dieser Arbeit vorgeschlagene Verarbeitung kann als eine solche Strategie zur Konstruktion eines zusammenhängenden, internen Routenmodells angesehen werden.

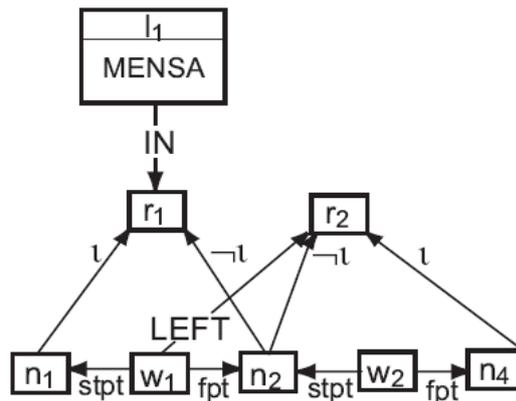


Abbildung 4.6: Verknüpfung von Start- und Endpunkt zweier CRIL-Netze (Quelle: [Tschander et al. 03])

Gestalt-Theorie, der Einfluss von Wahrnehmung auf die Navigationsleistung des GA getestet werden. Gegenwärtig baut der GA ein perzeptuelles Modell (perceptual Model) auf, indem er aus seinem aktuellen Blickwinkel eine *gegenwärtig wahrgenommene Szene* (currently perceived scene) wahrnimmt. In dieser sind alle für den Agenten sichtbaren Objekte und ihre räumlichen Relationen im Referenzsystem des GA und eventuelle weitere nicht räumliche Eigenschaften enthalten. Um diese Objekte zu ermitteln, wird ein Schnitt des kegelförmigen Blickfeldes des Agenten mit Polygonen der virtuellen Umgebung berechnet. Alle nicht verdeckten Kanten werden ihren zugehörigen Polygonen, und somit Objekten der Umgebung zugeordnet. Nicht geometrische Eigenschaften der wahrgenommenen Objekte, wie etwa die Farbe oder der Name eines Gebäudes, können in diesem Arbeitsschritt ebenfalls erkannt werden. Es ist möglich, zu modellieren, welche Blickwinkel oder Abstände zum Erkennen dieser Eigenschaften notwendig sind.

4.3.2 Basisaktionen des Agenten

Der GA kann drei grundlegende Aktionen ausführen: Taxis, die Annäherung an wahrgenommene Objekte, Guidance, das Folgen eines Tracks und Body Alignment, Ausrichtung auf Objekte oder in eine Richtung auf der Stelle. Diese Aktionen entsprechen grundlegenden Fähigkeiten natürlicher kognitiver Systeme und werden ebenfalls geometrisch modelliert. Werden diese Basisaktionen zu komplexeren Aktionen zusammengesetzt, ergibt dies eine *lokale Aktionsfolge* (local action sequence).

4.3.3 Umgebungsmodell (Environmental Model)

Das interne Modell der Route aus der Instruktionsphase wird mit der „currently perceived scene“ aus dem durch Wahrnehmung aufgebauten Perzeptionsmodell zu einem

Umgebungsmodell (Environmental Model) integriert. Der Aktionsplan der Instruktionsphase wird vom GA in eine lokale Aktionssequenz umgesetzt (Abbildung 4.7). Dazu müssen Koreferenzen zwischen dem internen Routenmodell und der gegenwärtig wahrgenommenen Szene hergestellt werden. Auf dieser Grundlage ist der GA in der Lage zur Selbstlokalisierung. Nun kann durch eine *Verfeinerung des Aktionsplanes* (Refinement of Plans) der Aktionsplan in eine lokale Aktionsfolge umgesetzt werden. Abbildung 4.8 zeigt diese drei Prozesse innerhalb der GA-Architektur.

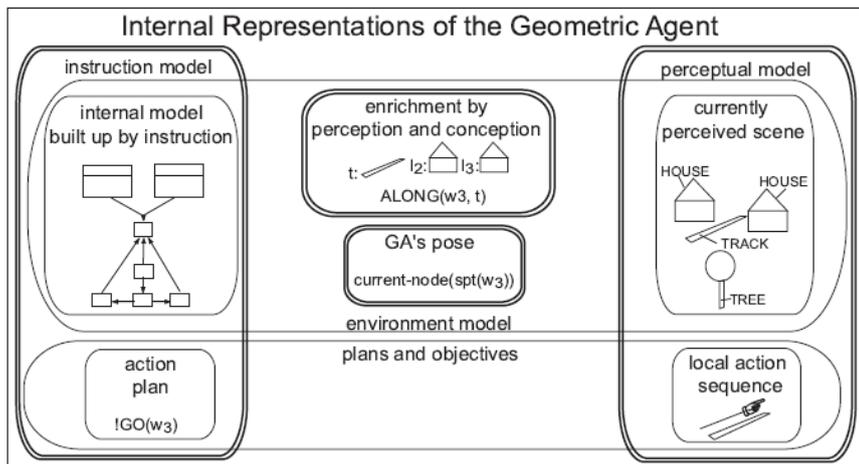


Abbildung 4.7: Interne Repräsentationen des GA (Quelle: [Tschander et al. 03])

Koreferenz Resolution (Co-reference Resolution)

Identifizierung von Objekten der gegenwärtig wahrgenommenen Szene im internen Routenmodell wird als Koreferenz-Resolution bezeichnet und stellt eine Verbindung zwischen Beschreibung und Wahrnehmung her. Das CRIL-Netz des internen Routenmodells gibt zusammen mit Position und Ausrichtung des Agenten Auskunft über Objekte, welche der Agent wahrnehmen sollte. Auf Grundlage von Übereinstimmungen in Beschreibung und Wahrnehmung können Koreferenzen hergestellt werden. In [Helwich 03] wird ein Verfahren für diesen Prozess vorgestellt. Im Rahmen dieses Prozesses können Informationen aus der Perzeption, welche nicht in der Beschreibung enthalten waren, in das interne Modell der Route eingefügt werden.

Selbst-Lokalisierung (Self-localization)

Durch Selbst-Lokalisierung wird der Fortschritt des Agenten entlang der Route in der simulierten Umgebung verfolgt. Dazu wird die erwartete Konstellation von Objekten entsprechend des internen Routenmodells mit wahrgenommenen Objekten verglichen. Hierzu müssen bereits Koreferenzen zwischen Beschreibung und Wahrnehmung gezogen

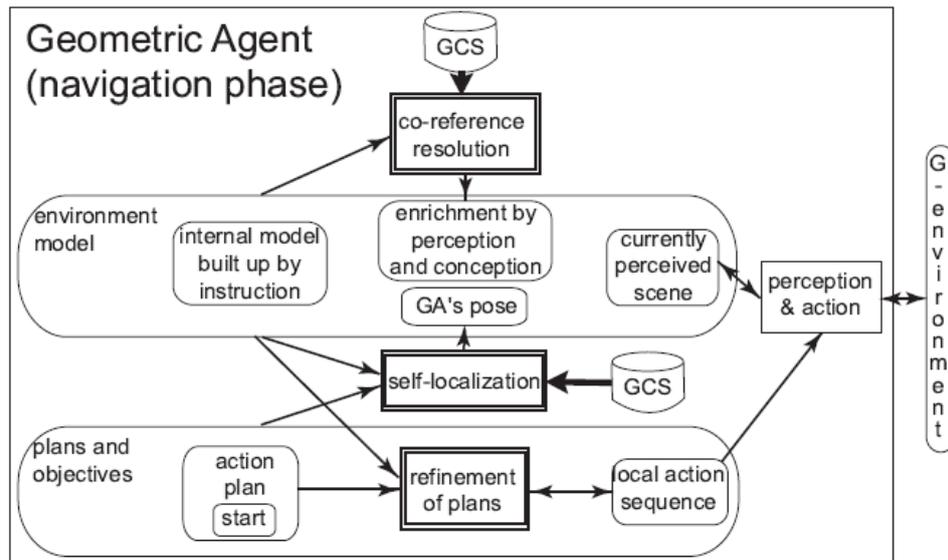


Abbildung 4.8: Navigationsphase des Geometrischen Agenten (Quelle: [Tschander et al. 03])

worden sein. Durch die Selbst-Lokalisierung wird die Pose des Agenten (bestehend aus Position und Ausrichtung) mit jeder Bewegung aktualisiert, indem der aktuelle Knoten des CRIL-Netzes (des internen Routenmodells) gewechselt wird. Der Agent sollte sich, ausgehend vom Startort der Route, mittels Pfaden, entlang einer Folge von Start- und Endpunkten von Pfaden, bis zum Zielort der Route bewegen.

Verfeinerung des Aktionsplans (Refinement of Plans)

In diesem Prozess werden die Aktionen des Aktionsplanes auf Basisaktionen des GA abgebildet. Verbale Instruktionen sind häufig unterspezifiziert, ein Pfad kann mehrere Entscheidungspunkte passieren oder selbst einen komplizierten Verlauf haben. Daher müssen durch lokale Planung auch während weiter Wegstrecken angemessene Handlungen realisiert werden. In [Bitkowski 05] und [Fust 08] werden Verfahren vorgestellt, welche diese Probleme lösen können.

5 Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung

5.1 Einleitung

Für die häufigste Art der Diskontinuität, die Wiederholung, soll exemplarisch ein inkrementelles Verarbeitungsmodell entwickelt werden, welches diskontinuierliche Anteile in einer Routenbeschreibung erkennt und zu einer Gesamtroute integriert. Diese Verarbeitung kann als eine Erweiterung der Instruktionsverarbeitung innerhalb der Architektur des GA gesehen werden und wird **diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung**, im Folgenden als DIV abgekürzt, genannt.

Aus einer natürlichsprachlichen Routenbeschreibung können Informationen über Aktionen, räumliche Relationen und Landmarken extrahiert werden. Diese Informationen werden durch **Segmente** repräsentiert. Ein Segment repräsentiert eine zusammenhängende Textpassage der Routenbeschreibung, in welcher ein Orientierungspunkt oder ein Pfad beschrieben wird. Innerhalb von Segmenten sind keine Diskontinuitäten möglich. Durch die Repräsentation einer Routenbeschreibung durch Segmente werden Pfade und Orientierungspunkte als Bausteine der Struktur einer Route fokussiert. Segmente können daher dem in dieser Arbeit verwendeten Modell einer Route als eine Folge von Pfaden, welche durch Orientierungspunkte verbunden sind, zugeordnet werden. Die Reihenfolge der Textpassagen, aus denen die in einem Segment repräsentierten Information extrahiert worden sind, legt eine Ordnung der Segmente fest.

So wie Abschnitte einer Routenbeschreibung zueinander diskontinuierlich sein können, so können auch Segmente zueinander diskontinuierlich sein. In Abschnitt 5.3 wird eine Definition von Diskontinuitäten der Art Wiederholung auf Ebene der Segmente gegeben. Dies führt zu einer Definition von **lokalen Relationen**, die zwischen aufeinander folgenden Segmenten bestehen können. Diese lokalen Relationen bestimmen, wie in einer diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung aus den Informationen über einzelne Teile der Route, welche in den Segmenten repräsentiert sind, ein zusammenhängendes Modell der Route gebildet werden kann. In Abschnitt 5.5 wird der Aufbau eines Instruktionsmodells auf Grundlage von Segmenten und ihren lokalen Relationen beschrieben. In Abschnitt 5.6 und 5.7 wird ein Verfahren zur Ermittlung der lokalen Relationen zwischen Segmenten vorgestellt. Dazu werden **Eigenschaften von Segmenten** bestimmt, welche sich aus dem durch sie repräsentierten Inhalt oder der Textpassage, aus welcher dieser Inhalt extrahiert worden ist, ergeben.

5.2 Segmentierung

Im Geometrischen Agenten werden aus Routenbeschreibungen imperative und deklarative Informationen extrahiert. Dazu wird der Beschreibungstext in Sätze zerlegt und syntaktisch und semantisch analysiert. Die so gewonnenen Repräsentationen der Satzbedeutungen umfassen zum einen räumliche Informationen über die Route, zum anderen Informationen über auszuführende Aktionen. Beide Informationen werden in der Sprache CRIL dargestellt.

Tabelle 5.1 zeigt eine CRIL-Repräsentation der Satzbedeutungen der in Kapitel 1 vorgestellten, diskontinuierlichen Routenbeschreibung.¹ An diesem Beispiel soll die Verarbeitung durch DIV in diesem Kapitel demonstriert werden. Bei der Ermittlung der Satzbedeutungen wurde versucht, die Ellipsen der natürlichen Sprache zu ergänzen. Eine Phrase wie „dann in die Simeonstraße“ wurde zum Beispiel als „dann gehen Sie in die Simeonstraße“ ausgelegt. In Abschnitt 5.3 wird genauer beschrieben, welche Richtlinien bei der Erstellung von Segmenten aus Aussagen in Routenbeschreibungen, welche nicht direkt eine Aktion beschreiben, verwendet werden.

Die räumlichen Informationen der Satzbedeutungen beschreiben Pfade mit ihren Start- und Endpunkten oder Orientierungspunkte der Route. Orientierungspunkte werden in CRIL als Positionen dargestellt. Da Positionen in CRIL auch für andere Zwecke verwendet werden, bilden die Orientierungspunkte eine Teilmenge der Positionen. Abbildung 5.1 zeigt Beispiele für CRIL-Netze zu Satzbedeutungen nach [Tschander et al. 03]. In der zweiten Reihe sind CRIL-Netze gezeigt, bei denen bereits GCS-Inferenzen zur Ermittlung der Relation von Start- und Endpunkten von Pfaden gezogen wurden. Die Knoten, welche Pfade oder Orientierungspunkte auf der Route beschreiben, sind hervorgehoben.

Ein natürlichsprachlicher Satz kann mehrere Pfade oder Orientierungspunkte beschreiben, was entsprechend zu einer Repräsentation einer Satzbedeutung mit mehreren solchen Objekten führt. Tabelle 5.1 zeigt bereits eine Zerlegung der Repräsentation der Satzbedeutungen in Segmente. Ein Segment ist definiert als ein Teil einer Repräsentation einer Satzbedeutung, welcher erstens maximal eine Aktion und zweitens maximal einen Pfad der Route mit zugehörigen Start- und Endpunkten oder aber einen einzelnen Orientierungspunkt der Route, falls dieser keinem Pfad zugeordnet ist, umfasst. Segmente repräsentieren, genau wie Satzbedeutungen, aus der Routenbeschreibung extrahierte räumliche Informationen. Segmente, deren räumliche Informationen einen Pfad mit zugehörigen Start- und Endpunkten repräsentieren, werden als Pfadsegmente bezeichnet. Segmente, deren räumliche Informationen nur einen Orientierungspunkt beschreiben, werden Ortssegmente genannt.

Einem Segment kann ein zusammenhängender Teil der natürlichsprachlichen Routenbeschreibung zugeordnet werden, dieser wird als **Beschreibungsanteil** eines Segmentes bezeichnet. Durch die Reihenfolge der Beschreibungsanteile innerhalb der Routenbeschreibung sind Segmente in einer linearen Folge geordnet. Folgt ein Beschreibungsanteil

¹Die Darstellung orientiert sich an [Tschander et al. 03] und entspricht nicht der aktuellen Implementation des GA.

5.2 Segmentierung

Seg.	Beschreibungsanteil	Aktionen	räumliche Relationen	Landmarken
1	Da müßt Ihr da vorgehen erstmal.	!GO(w1)		
2	Bis vor den Kaufhof. (...)	!GO(w2)	to(w2,FRONT,l1,rsys1)	BUILDING(11) NAME(11,“Kaufhof“)
3	Und dann links runter.	!GO(w2)	to(w2,LEFT(rsys2))	
4	Vor,	!GO(w4)		
5	zwischen Kaufhof und Karstadt,	!BEAT(p5)	loc(p5,BETWEEN(l1,l2))	BUILDING(11) NAME(11,“Kaufhof“) BUILDING(12) NAME(12,“Karstadt“)
6	da gehen Sie mal links (...) runter,	!GO(w6)	to(w6,LEFT(rsys6))	
7	immer gradaus, ist nicht weit.	!GO(w7)	to(w7,FRONT(rsys7))	
8	Das ist jetzt, es ist, kann man sagen Hauptmarkt,	!BEAT(p8)	loc(p8,ON(l3))	OPEN-AREA(13) NAME(13,“Hauptmarkt“)
9	dann die Simeonstraße,	!GO(w9)	loc(w9,ALONG(l4))	TRACK(14) NAME(14,“Simeonstraße“)
10	immer gradaus. (...)	!GO(w10)	to(w10,FRONT(rsys10))	
11	Über den Hauptmarkt weg,	!GO(w11)	via(w11,ON(l3))	OPEN-AREA(13) NAME(13,“Hauptmarkt“)
12	dann in die Simeonstraße,	!GO(w12)	to(w12,ON(l4))	TRACK(14) NAME(14,“Simeonstraße“)
13	dann ist links (...) der Karstadt, rechts der Kaufhof	!BEAT(p13)	loc(p13,LEFT(l2,rsys13)) loc(p13,RIGHT(l1,rsys14))	BUILDING(11) NAME(11,“Kaufhof“) BUILDING(12) NAME(12,“Karstadt“)
14	und da gehen Sie die Straße runter (...)	!GO(w14)	loc(w14,along(l5))	TRACK(15)
15	und da kommen Sie unten aufn Pferdemarkt.	!GO(w15)	to(w15,ON(l6))	OPEN-AREA(16), NAME(16,“Pferdemarkt“)

Tabelle 5.1: CRIL-Repräsentation einer Routenbeschreibung

5 Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung

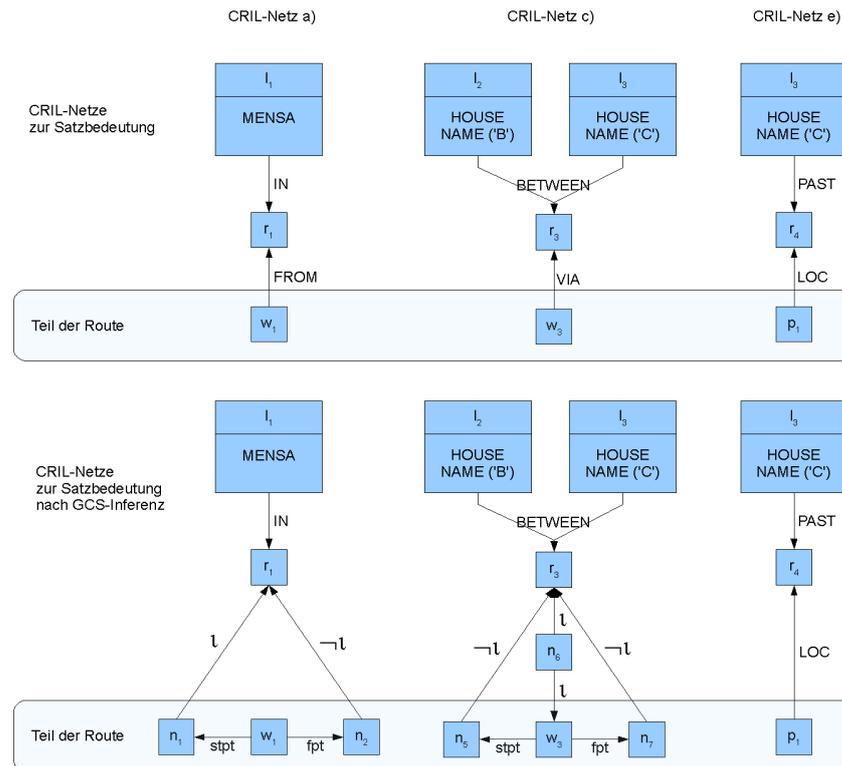


Abbildung 5.1: CRIL-Netze und ihr Anteil an der Route

eines Segmentes S_1 auf den Beschreibungsanteil eines anderen Segmentes S_2 , so wird auch gesagt, dass das Segment S_2 auf das Segment S_1 folgt.

5.3 Korpusanalyse und Segmentierungsrichtlinie

Die diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung basiert auf einer Analyse eines Teils des Trierkorpus. Die 21 zur Analyse ausgewählten Protokolle enthalten Routenbeschreibungen, in denen diskontinuierliche Beschreibungsanteile der Art Wiederholung mindestens einmal auftreten. Bei diesen Routenbeschreibungen handelt es sich um in-advance-Routenbeschreibungen, welche von einem einzelnen Beschreibenden gegeben wurden.

Die ausgewählten Protokolle wurden aufbereitet, indem Anteile entfernt wurden, welche in DIV nicht verarbeitet werden können. Darunter fallen alle Teile der Routenbeschreibung, welche sich nicht auf die Route beziehen, wie beispielsweise Gesprächseröffnungen.² Alle diskontinuierlichen Anteile, welche nicht von der Art Wiederholung sind, wurden ebenfalls entfernt.

5.3.1 Ermittlung von Satzbedeutung und Segmentierung

Für die ausgewählten Protokolle wurden manuell die Satzbedeutungen ermittelt und Segmente aus diesen generiert. Die 21 Protokolle wurden zu insgesamt 215 Segmenten umgewandelt. Im Schnitt umfasst eine der untersuchten Routenbeschreibungen etwas mehr als 10 Segmente, wobei die maximale Anzahl von Segmenten bei 22, die minimale bei 3 liegt. Von den generierten Segmenten sind 177 (82.3 %) Pfadsegmente und 38 (17.7 %) Ortssegmente. Alle im weiteren Verlauf dieser Arbeit angegebenen statistischen Daten sind auf diese Segmente bezogen.

5.3.2 Segmentierungsrichtlinie auf Grundlage der Propositionen in Routenbeschreibungen nach Denis

In Kapitel 2 wurde die Zerlegung von Routenbeschreibungen in Propositionen nach Denis [Denis 98] eingeführt. Im Folgenden soll beschrieben werden, wie die Propositionen von Denis als eine Segmentierungsrichtlinie für die manuelle Erstellung von Segmenten genutzt werden können.

Ein Segment kann mehrere Propositionen repräsentieren

Ein Segment kann mehrere Propositionen repräsentieren. So kann ein Segment zum Beispiel sowohl eine Aktion mit Bezug zu einer Landmarke als auch eine Aktion ohne Bezug zu einer Landmarke repräsentieren.

²In einer Routenbeschreibung wird zum Beispiel ein Witz erzählt, diese Passage der Routenbeschreibung wurde vor der Umwandlung in Segmente entfernt.

5 Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung

Beispiel für Beschreibungsanteil eines Segmentes, welches mehr als eine Proposition repräsentiert:

„Gehe nach links in die Dietrichstraße.“

Dieser Satz wird zu einem Pfadsegment umgewandelt, in dem der Pfad sowohl dadurch spezifiziert ist, dass er auf der Dietrichstraße liegt (Bezug zu Landmarke) als auch dadurch, dass er links vom imaginären Wanderer liegt (kein Bezug zu Landmarken).

Aktionen mit Bezug zu Landmarken

Beschreibungen von Aktionen mit Bezug zu Landmarken werden sowohl durch Pfad- als auch Ortssegmente repräsentiert. Der Großteil der beschriebenen Aktionen mit Bezug zu Landmarken wird durch Pfadsegmente repräsentiert. 57.6 % der Pfadsegmente repräsentieren Propositionen über Aktionen mit Bezug zu Landmarken. Dabei kann die Aktion explizit durch ein Verb spezifiziert werden oder durch eine Präposition impliziert werden.

Beispiel für Beschreibungsanteil eines Pfadsegmentes mit explizit genannter Aktion:

„Gehen Sie über den Hauptmarkt.“

Beispiel für Beschreibungsanteil eines Pfadsegmentes mit implizierter Aktion:

„Über den Hauptmarkt.“

Auch Ortssegmente können Aktionen mit Bezug zu Landmarken repräsentieren, dies kommt im untersuchten Korpus allerdings selten vor. 5.3 % der Ortssegmente repräsentieren Aktionen mit Bezug zu Landmarken.

Beispiel für Beschreibungsanteil eines Ortssegmentes mit explizit genannter Aktion:

„Stehen Sie auf dem Hauptmarkt.“

Aktionen ohne Bezug zu Landmarken

Propositionen, welche Aktionen ohne Bezug zu Landmarken spezifizieren, beschreiben das Fortsetzen oder Starten einer Bewegung oder aber eine Reorientierung. Im untersuchten Korpus werden keine Reorientierungen beschrieben, welche nicht gleichzeitig das Starten einer Bewegung beschreiben. 27.7% der untersuchten Pfadsegmente repräsentieren Beschreibungen von Aktionen ohne Bezug zu Landmarken.

Einführung von Landmarken

Wird eine Landmarke eingeführt, so hängt die Umwandlung des entsprechenden Satzteils zu einem Segment von der Art der erwähnten Landmarke ab. Es wird angenommen, dass eingeführte Landmarken sich stets auf einen Pfad der Route oder einen Orientierungspunkt der Route beziehen. Auf diese Weise wird versucht, Ellipsen der mündlichen Sprache zu kompensieren.

5.4 Lokale Relationen von aufeinander folgenden Segmenten

Handelt es sich bei der Landmarke nicht um einen Track, sondern um eine dreidimensional ausgedehnte Landmarke oder einen Platz, so wird angenommen, dass die Einführung der Landmarke in Bezug zu einem Orientierungspunkt auf der Route steht. Diese Annahme stützt sich sowohl auf Denis Befund [Denis 98], dass Punkte, an denen ein Orientierungswechsel stattfindet, häufig durch dreidimensional ausgedehnte Landmarken beschrieben sind als auch auf die Studie von Klippel, Tappe und Habel [Klippel et al. 03], nach der Landmarken-Chunking (die Beschreibung eines Orientierungspunktes durch Landmarken) eine wichtige Rolle in Routenbeschreibungen spielt. Im untersuchten Teil des Korpus ist diese Annahme korrekt. Alle eingeführten Landmarken, welche nicht von der Art Track sind, beschreiben einen Orientierungspunkt der beschriebenen Route. 94.7 % aller untersuchten Ortssegmente wurden aus einer Einführung einer Landmarke generiert.

Handelt es sich um eine Landmarke der Art Track, so wird angenommen, dass ein Pfad der Route auf diesem Track (oder zumindest einem Teil davon) liegt, auch wenn dies nicht durch Aktionsverben oder Präpositionen angezeigt wird. Eine Ausnahme bildet die Erwähnung von mehr als einem Track in einem Segment. In diesem Fall wird ebenfalls davon ausgegangen, dass ein Orientierungspunkt auf der Route beschrieben wird. Diese Annahme stützt sich auf den Befund von Denis, dass zweidimensional ausgedehnte Landmarken genutzt werden, um fortschreitende Aktionen, wie das Traversieren eines Pfades, zu spezifizieren. Im untersuchten Teil des Korpus ist diese Annahme bis auf eine Ausnahme korrekt.³ 14.7 % der Pfadsegmente sind aus der Einführung einer Landmarke generiert worden.

Beschreibung von Landmarken und Kommentare

Propositionen, welche Beschreibungen von Landmarken entsprechen, wurden bei der Erstellung der Segmente dem Segment zugeordnet, in dem diese beschriebene Landmarke zur Spezifikation eines Pfades oder Orientierungspunktes genutzt wird.

Kommentare wurden, wie weiter oben beschrieben, bereits in der Vorverarbeitung aus den untersuchten Routenbeschreibungen entfernt. Daher gibt es keinen Bezug zwischen Kommentaren und Segmenten.

5.4 Lokale Relationen von aufeinander folgenden Segmenten

Mit der im ersten Abschnitt dieses Kapitels eingeführten Definition von Segmenten kann eine Systematik der verschiedenen Arten von Wiederholungs-Diskontinuitäten auf Ebene der Segmente aufgestellt werden. Dazu werden die möglichen Relationen zwischen einem Segment und dem vorangegangenen Segment der Routenbeschreibung analysiert.

³Bei der einen Beschreibung einer Landmarke der Art Track, welche nicht einen Pfad der Route darstellt, wird explizit gesagt, dass eine bestimmte Straße nicht traversiert werden soll.

Zur Definition der Systematik von Wiederholungen wird die Folge von Segmenten, welche aus einer Routenbeschreibung gewonnen wurde, mit einem Modell der beschriebenen Route verglichen. Es ist die Intention eines Instruierenden, mit einer Routenbeschreibung eine Route in der realen Welt zu beschreiben. Eine Routenbeschreibung kann zu einer Folge von Segmenten verarbeitet werden. Segmente enthalten Informationen über Pfade und Orientierungspunkte als Teile einer Route in der realen Welt.

Anhand einer Karte oder anderer Hilfsmittel kann versucht werden, die in einer Routenbeschreibung beschriebene Route nachzuvollziehen. Die so gewonnene Repräsentation einer Route beschreibt eine **ermittelte Route**. Dabei wird die Annahme getroffen, dass diese ermittelte Route auch die Route ist, welche der Instruierende beschreiben wollte. Die Konstruktion einer ermittelten Route ist notwendig, da die tatsächliche mentale Repräsentation einer Route, welche ein Instruierender als Grundlage seiner Routenbeschreibung verwendet, nicht zugänglich ist.

In Segmenten beschriebene Pfade oder Orientierungspunkte können Pfaden und Orientierungspunkten der ermittelten Route zugeordnet werden. Der von einem Pfadsegment beschriebene Pfad mit seinen Start- und Endpunkten kann nur einem Pfad der ermittelten Route mit seinen Start- und Endpunkten zugeordnet werden. Der von einem Ortssegment beschriebene Orientierungspunkt kann nur einem Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet werden. Mehrere, durch verschiedene Segmente repräsentierte Pfade oder Orientierungspunkte, können dem gleichen Pfad oder Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet werden. Durch diese Zuordnung ist es möglich, zu bestimmen, in welcher Relation von verschiedenen Segmenten beschriebene Pfade oder Orientierungspunkte zueinander stehen.

Segmente sind durch die Reihenfolge ihrer Beschreibungsanteile in der Routenbeschreibung geordnet. Sind zwei Segmente in dieser Ordnung benachbart, so stehen diese in einer **lokalen Relation** zueinander. Verschiedene lokale Relationen können genutzt werden, um zu beschreiben, in welcher Relation die durch benachbarte Segmente repräsentierten Pfade oder Orientierungspunkte zueinander stehen. Lokale Relationen erfüllen innerhalb von DIV die Aufgabe von *diskurs Relationen* [Rosales Sequeiros 95]. Sie beschreiben, in welchem semantischen Zusammenhang die Informationen benachbarter Textpassagen zueinander stehen.

Lokale Relationen geben an, ob ein Segment in kontinuierlicher Weise auf ein vorangegangenes Segment folgt oder ob eine Wiederholungs-Diskontinuität vorliegt. Was Kontinuität zwischen zwei aufeinander folgenden Segmenten bedeutet, muss für alle vier möglichen Abfolgen von Pfad- und Ortssegmenten festgelegt werden. Indem definiert ist, was Kontinuität zwischen aufeinander folgenden Segmenten bedeutet, ergibt sich, was als Diskontinuität angesehen werden kann.

Lokale Relationen zwischen Ortssegment O_1 und Ortssegment O_2

Folgt ein Ortssegment O_2 auf ein anderes Ortssegment O_1 , so gilt O_2 als **kontinuierlich** zu O_1 , wenn beide Segmente dem gleichen Orientierungspunkt der ermittelten Route

5.4 Lokale Relationen von aufeinander folgenden Segmenten

zugeordnet werden. Andernfalls gilt O_2 als **distal diskontinuierlich** zu O_1 .

Beispiel: Ortssegment O_2 folgt kontinuierlich auf Ortssegment O_1 .

Beschreibungsanteil von Ortssegment O_1 : „*Da ist eine Kreuzung,*“

Beschreibungsanteil von Ortssegment O_2 : „*und da ist ein Dekogeschäft.*“

Beide Ortssegmente beschreiben den gleichen Orientierungspunkt der Route. Das Dekogeschäft liegt an der Kreuzung.

Beispiel: Ortssegment O_2 folgt distal diskontinuierlich auf Ortssegment O_1 .

Beschreibungsanteil von Ortssegment O_1 : „*Da ist links der Frankenturm.*“

Beschreibungsanteil von Ortssegment O_2 : „*Sie stehen jetzt auf dem Hauptmarkt.*“

Der Frankenturm liegt nicht auf dem Hauptmarkt.

Lokale Relationen zwischen Pfadsegment P_1 und Pfadsegment P_2

Folgt ein Pfadsegment P_2 auf ein anderes Pfadsegment P_1 , so gilt P_2 als **kontinuierlich** zu P_1 , wenn der Endpunkt des in P_1 beschriebenen Pfades und der Startpunkt des in P_2 beschriebenen Pfades dem gleichen Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet werden.

Beispiel: Pfadsegment P_2 folgt in kontinuierlicher Relation auf Pfadsegment P_1 .

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_1 : „*Gehe die Grabenstraße runter.*“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_2 : „*Und dann gehst Du nach links.*“

Am Ende der Grabenstraße führt die Route nach links. Der von P_2 beschriebene Pfad beginnt am Endpunkt des von P_1 beschriebenen Pfades.

Werden beide Pfadsegmente dem gleichen Pfad der ermittelten Route mit gleichen Start- und Endpunkten zugeordnet, so gilt P_2 als **stationär diskontinuierlich** zu P_1 . In diesem Fall beschreiben beide Segmente den gleichen Pfad der Route.

Beispiel: Pfadsegment P_2 folgt in stationär diskontinuierlicher Relation auf Pfadsegment P_1 .

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_1 : „*Gehe die Grabenstraße runter.*“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_2 : „*Also geradeaus runter gehen.*“

Beide Segmente beschreiben den gleichen Pfad der Route.

Trifft keine dieser Bedingungen zu, so gilt P_2 als **distal diskontinuierlich** zu P_1 .

Beispiel: Pfadsegment P_2 folgt in distal diskontinuierlicher Relation auf Pfadsegment P_1 .

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_1 : „*Und dann nehmen Sie die Simeonstraße.*“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_2 : „*Also jetzt erstmal über den Hauptmarkt.*“

Der Hauptmarkt liegt am Startpunkt der beschriebenen Route und vor der Simeonstraße.

Lokale Relationen zwischen Pfadsegment P_1 und Ortssegment O_2

Wird der von einem Ortssegment O_2 beschriebene Orientierungspunkt dem gleichen Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet wie der Endpunkt eines durch ein Pfadsegment P_1 beschriebenen Pfades, so gilt O_2 als **kontinuierlich** zu P_1 .

Beispiel: Ortssegment O_2 folgt kontinuierlich auf Pfadsegment P_1 .

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_1 : „*Gehn Se über die Ampelanlage rüber,*“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment O_2 : „*und dann stehn Se praktisch davor.*“

Der Beschreibungsanteil des Ortssegmentes O_2 bezieht sich auf das Ziel der Routenbeschreibung, das Karl-Marx-Haus. Dieses liegt in der ermittelten Route hinter der Kreuzung, welche im Beschreibungsanteil von P_1 beschrieben wird.

Wird der von einem Ortssegment O_2 beschriebene Orientierungspunkt dem gleichen Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet, wie der Startpunkt eines durch ein Pfadsegment P_1 beschriebenen Pfades, so gilt O_2 als lokal diskontinuierlich zu P_1 . Steht ein Segment in lokal diskontinuierlicher Relation zu einem vorangegangenen Pfadsegment, so wird das nachfolgende Segment S_3 in Bezug auf seine lokale Relation behandelt, als würde es auf dasselbe Pfadsegment P_1 folgen wie das Ortssegment O_2 . Auf diese Weise können nach einem Pfadsegment mehrere lokal diskontinuierliche Ortssegmente folgen.

Beispiel: Ortssegment O_2 folgt lokal diskontinuierlich auf Pfadsegment P_1 .

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_1 : „*Gehen Sie die Straße runter,*“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment O_2 : „*da wo Café Bley ist.*“

Das Café Bley liegt in der beschriebenen Route am Startpunkt der in P_1 beschriebenen Straße.

Wird der von einem Ortssegment O_2 beschriebene Orientierungspunkt einem Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet, welchem weder der Startpunkt noch der Endpunkt des im Pfadsegment P_1 beschriebenen Pfades zugeordnet ist und auch sonst nicht auf dem Pfad P_2 liegt, so gilt O_2 als distal diskontinuierlich zu P_1 .

Beispiel: Ortssegment O_2 folgt distal diskontinuierlich auf Pfadsegment P_1 .

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_1 : „*Und dann nehmen Sie die Simeonstraße.*“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment O_2 : „*Also hier ist der Hauptmarkt.*“

Der Hauptmarkt liegt am Startpunkt der beschriebenen Route und vor der Simeonstraße.

Lokale Relationen zwischen Ortssegment O_1 und Pfadsegment P_2

Wird der von einem Ortssegment O_1 beschriebene Orientierungspunkt dem gleichen Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet wie der Startpunkt eines durch ein Pfadsegment P_2 beschriebenen Pfades, so gilt P_2 als kontinuierlich zu O_1 .

Beispiel: Pfadsegment P_2 folgt in kontinuierlicher Relation auf Ortssegment O_1 .

Beschreibungsanteil von Ortssegment O_1 : „*Das ist jetzt der Hauptmarkt,*“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_2 : „*und dann gehen Sie die Simeonstraße runter.*“

In der beschriebenen Route soll der Navigierende vom Hauptmarkt in die Simeonstraße gehen.

Wird der von einem Ortssegment O_1 beschriebene Orientierungspunkt einem Orientierungspunkt der ermittelten Route zugeordnet, welchem nicht der Startpunkt des im

Pfadsegment P_2 beschriebenen Pfades zugeordnet ist, so gilt P_2 als distal diskontinuierlich zu O_1 .

Beispiel: Pfadsegment P_2 folgt in distal diskontinuierlicher Relation auf Ortssegment O_1 .
Beschreibungsanteil von Ortssegment O_1 : „Das ist links der Frankenturm.“

Beschreibungsanteil von Pfadsegment P_2 : „Also jetzt erstmal die Grabenstraße geradeaus.“

Die Segmente wurden aus einer Routenbeschreibung extrahiert, welche bis zum Frankenturm führen soll. Dieser befindet sich nicht in der Nähe der Grabenstraße, welche am Beginn der Route liegt.

5.4.1 Lokale Relationen im untersuchten Korpus

Die lokalen Relationen zwischen aufeinander folgenden Segmenten der untersuchten Routenbeschreibungen wurden manuell ermittelt. Die Verteilung der Relationen ist in Tabelle 5.2 dargestellt.

Gesamtzahl der Segmente	215	
kontinuierliche Relation zu vorangegangenem Segment	80	37.2 %
distal diskontinuierliche Relation zu vorangegangenem Segment	31	14.4 %
lokal diskontinuierliche Relation zu vorangegangenem Segment	7	3.3 %
stationär diskontinuierliche Relation zu vorangegangenem Segment	76	35.3 %
erstes Segment einer Routenbeschreibung	21	9.8 %

Tabelle 5.2: Verteilung der lokalen Relationen im untersuchten Korpus

5.5 Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung

Die in dieser Arbeit vorgestellte diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung (im Folgenden DIV abgekürzt) ist nach dem Vorbild einer kognitiven Architektur zur inkrementellen Verarbeitung natürlicher Sprache entworfen [Budi & Anderson 04]. Nach Anderson und Budi werden natürlichsprachliche Informationen während des Hörens oder Lesens eines Textes in einzelne bedeutungstragende Einheiten zerlegt und diese zu einer mentalen Repräsentation integriert. Dieser Ansatz soll auch mit DIV verfolgt werden.

DIV ist ein erster Vorschlag dafür, wie die Verarbeitung diskontinuierlicher Routenbeschreibungen in einem natürlichen kognitiven System prinzipiell funktionieren und in einem künstlichen System nachgebildet werden kann. Durch die Anwendung dieses Modells auf einen Testkorpus, kann evaluiert werden, ob das Modell in der Lage ist,

qualitativ die Leistungen eines natürlichen Systems zu reproduzieren. Im Kapitel 7 wird eine solche Evaluation vorgestellt. DIV berücksichtigt keine quantitativen Aspekte, etwa den zeitlichen Aufwand für einen Recallprozess oder eine Operation innerhalb des internen Modells.

5.5.1 Ablauf von DIV

Die Verarbeitung in DIV verläuft satzweise. Die Satzbedeutung eines natürlichsprachlichen Satzes der Routenbeschreibung wird durch einen Parser ermittelt und in Segmente aufgeteilt. Dabei wird die Abfolge festgehalten, in der die Segmente aus der natürlichsprachlichen Routenbeschreibung extrahiert worden sind. Eigenschaften der Segmente werden auf Grundlage der durch sie repräsentierten Informationen oder ihres Beschreibungsanteils ermittelt. Die genutzten Eigenschaften und ein Verfahren zur Ermittlung lokaler Relationen sind in den Abschnitten 5.6 und 5.7 beschrieben. Diese ermittelten lokalen Relationen werden genutzt, um den Aufbau eines zusammenhängenden Modells der Route zu steuern.

Einzelne Segmente repräsentieren Informationen über Teile der Route. In der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung werden diese einzelnen Teile zu einem Modell der gesamten Route integriert. Es wird davon ausgegangen, dass das erste Segment, welches aus einer Routenbeschreibung extrahiert worden ist, den Beginn der Route beschreibt und die durch dieses Segment repräsentierte räumliche Information und Aktion sich auf den Beginn der Route beziehen. Ausgehend vom ersten aus der Beschreibung extrahierten Segment, wird ein **initiales Instruktionsmodell** durch eine inkrementelle Verarbeitung weiterer Segmente aufgebaut.

Jedes weitere zu verarbeitende Segment steht in einer lokalen Relation zu dem vorangegangenen Segment. Lokale Relationen bestimmen, ob und in welcher Weise, die durch ein Segment repräsentierten räumlichen Informationen in das initiale Instruktionsmodell integriert werden. Steht ein Segment in einer distal diskontinuierlichen lokalen Relation zu dem vorangegangenen Segment, so wird die in diesem Segment enthaltene Information nicht in das initiale Instruktionsmodell integriert. Stattdessen wird ausgehend vom distal diskontinuierlichen Segment ein **diskontinuierliches Instruktionsmodell** durch Verarbeitung weiterer Segmente aufgebaut, bis ein Segment verarbeitet wird, welches durch seine Eigenschaften anzeigt, dass eine Abbruchbedingung für den Aufbau eines diskontinuierlichen Instruktionsmodells eingetreten ist. Die Eigenschaften sind in Abschnitt 5.4.3 beschrieben. Erst nach dem Eintreten dieser Abbruchbedingung wird das diskontinuierliche Instruktionsmodell in das initiale Instruktionsmodell integriert. Die Integration von diskontinuierlichen Instruktionsmodellen wird in Kapitel 6 beschrieben.

Nach dieser Integration können weitere Segmente verarbeitet werden. Sind alle Segmente, welche aus einem Satz extrahiert worden sind, verarbeitet, so wird mit der Verarbeitung des nächsten Satzes begonnen. Dies wird fortgesetzt, bis alle Sätze der natürlichsprachlichen Routenbeschreibung verarbeitet worden sind. Die Verarbeitung verläuft satzweise, da zur Ermittlung von lokalen Relationen zum Teil alle Segmentes, welche aus einem

Satz extrahiert worden sind, betrachtet werden müssen. Ist das letzte Segment des letzten Satzes der Routenbeschreibung verarbeitet, so findet eine Finalisierungsphase statt. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Verarbeitung durch DIV genauer beschrieben.

5.5.2 Initialisierung

Die Verarbeitung einer diskontinuierlichen natürlichsprachlichen Routenbeschreibung durch DIV setzt mehrere Vorverarbeitungsschritte voraus. Zuerst muss die Wegbeschreibung in Sätze zerlegt werden. Die Grenze zwischen zwei Sätzen wird durch das Satzzeichen „.“ oder „!“ bestimmt. Im zweiten Schritt wird die Bedeutung der Sätze in Bezug auf Aktionen und räumliche Informationen extrahiert. Die gewonnene Repräsentation der Satzbedeutung wird in Segmente zerlegt und die Eigenschaften der Segmente bestimmt.

Zusammen werden diese Schritte als Initialisierungsphase bezeichnet. Die ersten beiden Schritte der Vorverarbeitung werden bereits vom GA geleistet.⁴

Bestimmung der Bedeutung auf Satzebene und Zerlegung in Segmente

Die Bestimmung der Bedeutung von Sätzen erfolgt im GA durch einen Parser für natürliche Sprache in Verbindung mit einem Lexikon, welches linguistische Informationen zur Abbildung von Wörtern auf Strukturen zur Bedeutungsrepräsentation enthält. In diesem Prozess wird die Folge von Sätzen in eine Folge von Satzbedeutungen überführt. In der Satzbedeutung werden räumliche Informationen und Aktionen, welche im Satz beschrieben werden, repräsentiert. Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit gehe ich davon aus, dass diese Aufgabe, auch für mündliche Wegbeschreibungen, im Prinzip zufriedenstellend von einem Parser gelöst werden kann.

Die gewonnene Satzbedeutung wird in Segmente zerlegt. Dazu wird die in Abschnitt 5.2 gegebene Definition von Segmenten und die in Abschnitt 5.3 beschriebene Segmentierungsrichtlinie verwendet. Die Abfolge der extrahierten Segmente und die zusammenhängende Passage der Routenbeschreibung, im Folgenden Beschreibungsanteil genannt, aus welcher die Segmente extrahiert worden sind, werden festgehalten.

Bestimmung von Eigenschaften von Segmenten

Eigenschaften von Segmenten werden entweder aus der zugehörigen Satzbedeutung oder dem zugehörigen Beschreibungsanteil abgeleitet. Eigenschaften von Segmenten und ihre Bestimmung werden in Abschnitt 5.5 beschrieben.

⁴Diese Aussage muss insofern eingeschränkt werden, als dass die aktuelle Implementation dies prinzipiell leisten kann. Lexikon und Grammatik des Parsers sind nicht auf die Verarbeitung von Routenbeschreibungen aus dem Trierkorpus ausgelegt. Informationen über die im Trierkorpus verwendeten Landmarken sind nicht im Lexikon der aktuellen Implementation enthalten.

Bestimmung der lokalen Relationen von Segmenten

In Abschnitt 5.6 wird ein Verfahren zur Ermittlung von lokalen Relationen auf Grundlage der Eigenschaften eines Segmentes beschrieben.

5.5.3 Inkrementeller Aufbau eines zusammenhängenden Instruktionsmodells

Die in Segmenten repräsentierten Pfade und Orientierungspunkte der Route sind noch nicht miteinander verbunden. Wird eine Routenbeschreibung in Repräsentationen von Satzbedeutungen umgewandelt und die repräsentierte räumliche Information als ein CRIL-Netz dargestellt, existiert für jedes Segment ein Teilnetz, welches zunächst nicht mit anderen Teilnetzen verbunden sein muss.

Ziel der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung ist es, ein internes Modell der Route zu generieren, welches aus einem zusammenhängenden CRIL-Netz besteht. Durch ein zusammenhängendes CRIL-Netz ist beschrieben, welche Pfade direkt aufeinander folgen. Aus dieser Information kann ein Aktionsplan für die Navigation des Agenten generiert werden.

In [Tschander et al. 03] wird vorgeschlagen, in der Instruktionsverarbeitung die Folge von Aktionen zu verwenden, um Pfade in einem CRIL-Netz zu verbinden. Der Endpunkt eines Pfades kann mit dem Startpunkt des als nächstes zu traversierenden Pfades identifiziert werden. Dabei bestimmt die Reihenfolge der Aktionen im Aktionsplan die Reihenfolge der Pfade im internen Modell der Route. Abbildung 4.6 aus Kapitel 4 zeigt eine Darstellung der Identifikation von End- und Startpunkt eines Pfades innerhalb eines CRIL-Netzes. Auf ähnliche Weise können Knoten, welche Positionen repräsentieren, mit Start- oder Endknoten von Pfaden identifiziert werden.

In [Tschander et al. 03] wird eingeräumt, dass Strategien zum Identifizieren von Positionen noch erprobt werden müssen. In dieser Arbeit wird eine solche Strategie vorgestellt, welche Routenbeschreibungen mit diskontinuierlichen Anteilen der Art Wiederholung verarbeiten kann.

Mit der in [Tschander et al. 03] vorgeschlagenen Methode, den Aufbau eines zusammenhängenden CRIL-Netzes durch die Folge von Aktionen zu steuern, können interne Routenmodelle aus kontinuierlichen, schriftlichen Wegbeschreibungen erzeugt werden, mit denen der GA in seiner virtuellen Umgebung navigieren kann. Durch Diskontinuitäten in der Routenbeschreibung kommt es zu Fehlern bei dem Versuch, ein Instruktionsmodell auf Grundlage der Reihenfolge aufzubauen, in der Aktionen in der Routenbeschreibung beschrieben werden. Diskontinuitäten der Art Wiederholung führen dazu, dass dieselben Aktionen mehrfach, an verschiedenen Stellen der Routenbeschreibung beschrieben werden. In Kapitel 1 wurde ein Beispiel zum mehrfachen Auftreten derselben Aktion in Routenbeschreibungen mit Wiederholungen gegeben.

Würde man die Abfolge der Aktionen in einer Routenbeschreibung mit diskontinuierlichen Anteilen der Art Wiederholung als Grundlage für den Aufbau eines internen Instruktionsmodells verwenden, so würde dies dazu führen, dass dieselben Pfade oder Ori-

entierungspunkte der Route mehrfach an verschiedenen Stellen des internen Modells der Route auftreten. Ein solches Modell wäre zur Navigation wenig hilfreich und kann nicht als gelungener Aufbau einer Repräsentation, der in der Routenbeschreibung enthaltenen räumlichen Information, angesehen werden.

DIV verwendet zum Aufbau einer zusammenhängenden Repräsentation einer Route lokale Relationen zwischen Segmenten. Im zweiten Teil dieses Kapitels wird beschrieben, wie diese lokalen Relationen auf der Grundlage von Eigenschaften von Segmenten ermittelt werden können. Zunächst soll dargestellt werden, in welcher Weise diese Relationen genutzt werden, um inkrementell ein zusammenhängendes Instruktionsmodell aufzubauen.

Je nach lokaler Relation, welche ein Segment zu seinem Vorgänger-Segment besitzt, werden verschiedene Operationen verwendet, um die in dem Segment repräsentierte räumliche Information in das Modell der Route zu integrieren. Die räumliche Information eines Segmentes und das Modell der Route werden als CRIL-Netze dargestellt. Die im Folgenden vorgestellten Operatoren werden sowohl für den Aufbau des initialen Instruktionsmodells als auch für den eines diskontinuierlichen Instruktionsmodells verwendet.

Zwei nicht zusammenhängende CRIL-Netze werden in DIV verbunden, indem Knoten der CRIL-Netze miteinander „identifiziert“ werden. Dabei werden entweder zwei Knoten, welche Orientierungspunkte repräsentieren oder aber zwei Knoten, welche Pfade repräsentieren, miteinander identifiziert. Die Identifikation von zwei Knoten wird durch die symmetrische Relation IDENTIFIKATION oder DEFAULT-IDENTIFIKATION zwischen diesen beiden Knoten dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden diese Relationen in Darstellungen von CRIL-Netzen in dieser Arbeit durch ID und DEF-ID abgekürzt. Die Identifikation von zwei Knoten eines CRIL-Netzes durch Relationen macht es möglich, diese im weiteren Verlauf der Verarbeitung mit geringem Aufwand wieder zu trennen.

Die Relation IDENTIFIKATION wird verwendet, um Knoten der räumlichen Information von Segmenten zu verbinden, zwischen denen eine der lokalen Relationen kontinuierlich, stationär diskontinuierlich oder lokal diskontinuierlich ermittelt werden konnte.

Die Relation DEFAULT-IDENTIFIKATION wird verwendet, wenn die lokale Relation zwischen zwei Segmenten nicht ermittelt werden konnte und daher ein Defaultschluss getroffen wurde, welcher zu einer Identifikation von zwei Knoten führt. Dieses Vorgehen macht es möglich, Defaultschlüsse im weiteren Verlauf der Verarbeitung zu korrigieren, falls eine Evidenz gegen den Defaultschluss vorliegt.

Zwei durch die Relation IDENTIFIKATION oder DEFAULT-IDENTIFIKATION verbundene Knoten eines CRIL-Netzes beschreiben den gleichen Orientierungspunkt oder Pfad der repräsentierten Route. Die Relationen unterscheiden sich in der „Sicherheit“, mit der sie innerhalb der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung ermittelt worden sind.

Das zu einem Instruktionsmodell gehörige CRIL-Netz, welches Teile der Route repräsentiert, besteht stets aus einem einzelnen Orientierungspunkt, einem einzelnen Pfad mit Start- und Endpunkten oder einer linearen Folge von Pfaden, wobei der Endpunkt eines Pfades mit dem Startpunkt des folgenden Pfades identifiziert ist, falls es einen folgen-

5 Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung

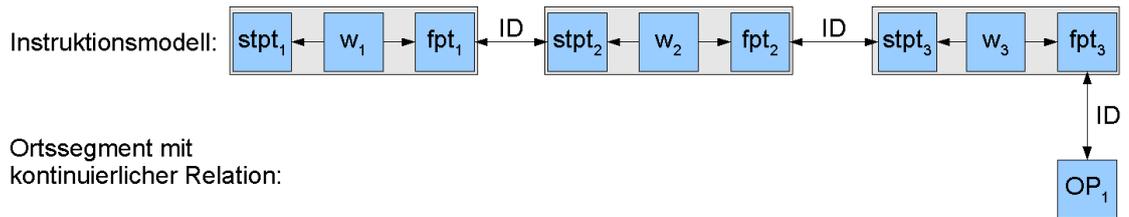


Abbildung 5.2: Operation für Ortssegment mit ermittelter kontinuierlicher Relation.

den Pfad gibt. Ein Instruktionsmodell beschreibt also stets eine lineare Folge von Orientierungspunkten.

Im Folgenden sind für Pfad- und Ortssegmente in Abhängigkeit ihrer durch Eigenschaften ermittelten lokalen Relation zum zuvor verarbeiteten Segment, verschiedene Operationen aufgeführt, die dieses Segment in ein Instruktionsmodell integrieren oder aber den Aufbau und die Integration eines diskontinuierlichen Instruktionsmodells veranlassen.

Es kann vorkommen, dass ein Segment keine Eigenschaften besitzt, durch welche eine lokale Relation zu seinem Vorgänger ermittelt werden kann. In diesem Fall werden Defaultannahmen über die Relation des im Segment beschriebenen Teils der Route zum internen Routenmodell des Instruktionsmodells getroffen. Diese Defaultannahmen sind in Abschnitt 5.6 beschrieben und begründet.

Operation für Ortssegment mit ermittelter kontinuierlicher Relation: Identifikation mit letztem Orientierungspunkt des Instruktionsmodells

Beschreibt ein Segment einen Orientierungspunkt der Route, und wurde für dieses Segment eine kontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt, so wird der beschriebene Orientierungspunkt mit dem letzten, im Instruktionsmodell repräsentierten Orientierungspunkt identifiziert. Abbildung 5.2 zeigt diese Operation. Zur Übersichtlichkeit wurden in dieser und den Folgenden Abbildungen räumliche Relationen zu den repräsentierten Pfaden und Orientierungspunkten weggelassen.

Operation für Ortssegment mit ermittelter lokal diskontinuierlicher lokaler Relation: Identifikation mit Startpunkt des letzten Pfades des Instruktionsmodells

Beschreibt ein Segment einen Orientierungspunkt der Route, und wurde für dieses Segment eine lokale diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt, so wird der beschriebene Orientierungspunkt mit dem Startpunkt des letzten im Instruktionsmodell repräsentierten Pfades identifiziert. Abbildung 5.3 zeigt diese Operation.

Operation für Ortssegment ohne ermittelte lokale Relation:

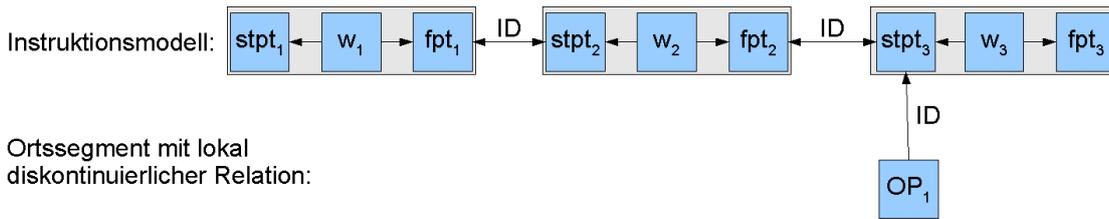


Abbildung 5.3: Operation für Ortssegment mit ermittelter lokal diskontinuierlicher Relation.

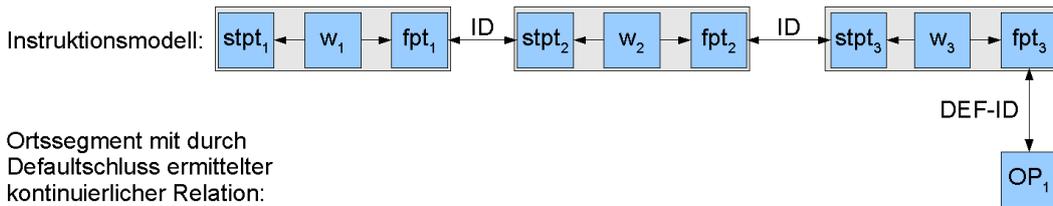


Abbildung 5.4: Operation für Ortssegment mit durch Defaultschluss ermittelter kontinuierlicher Relation.

Identifikation mit letztem Orientierungspunkt des Instruktionsmodells

Es gibt Segmente, bei denen die intendierte Relation nicht sicher ermittelt werden kann. Könnte für ein Ortssegment keine Relation zu dem vorangegangenen Segment ermittelt werden, so wird die Annahme getroffen, dass dieses Segment in einer kontinuierlichen Relation zu dem vorangegangenen Segment steht. Entsprechend wird der vom Segment beschriebene Orientierungspunkt mit dem letzten Orientierungspunkt des Instruktionsmodells durch die Relation **DEFAULT-IDENTIFIKATION** identifiziert. Abbildung 5.4 zeigt diese Operation.

Operation für Pfadsegment mit kontinuierlicher lokaler Relation: Verkettung von Pfaden

Steht ein Pfadsegment in einer kontinuierlichen Relation zum letzten verarbeiteten Segment, so wird der Startpunkt des repräsentierten Pfades mit dem letzten im Instruktionsmodell beschriebenen Orientierungspunkt identifiziert. Diese Operation wird Verkettung von Pfaden genannt. Abbildung 5.5 zeigt diese Operation.

Operation für Pfadsegment mit stationär diskontinuierlicher lokaler Relation: Verschmelzung von Pfaden

Steht ein Pfadsegment in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum zuvor verarbeiteten Segment, so werden Startpunkte, Pfade und Endpunkte des Segmentes und des

5 Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung

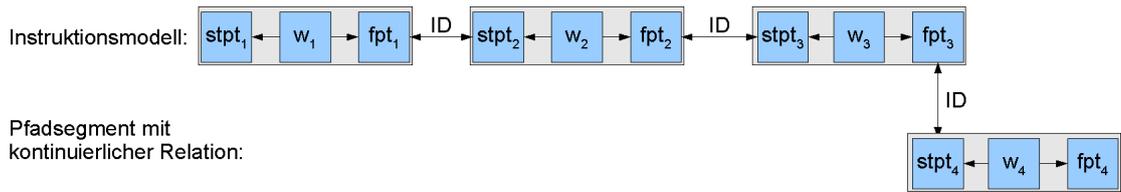


Abbildung 5.5: Operation für Pfadsegment mit ermittelter kontinuierlicher Relation.

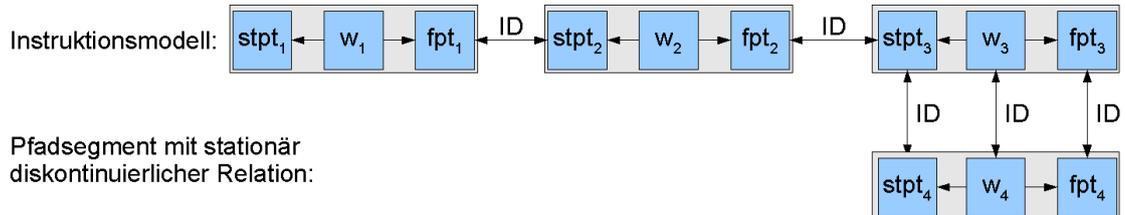


Abbildung 5.6: Operation für Pfadsegment mit ermittelter stationär diskontinuierlicher Relation.

letzten Pfades des Instruktionsmodells miteinander identifiziert. Diese Operation wird Verschmelzung von Pfaden genannt. Abbildung 5.6 zeigt diese Operation.

Operation für Pfadsegment ohne ermittelte lokale Relation: Defaultverketzung von Pfaden

Kann für ein Pfadsegment die lokale Relation nicht ermittelt werden, wird die Annahme getroffen, dass das beschriebene Segment in einer kontinuierlichen Relation zu dem zuletzt verarbeiteten Segment steht. Anders als bei einer kontinuierlichen Relation wird der Startpunkt des im Segment beschriebenen Pfades durch die Relation **DEFAULT-IDENTIFIKATION** mit dem Endpunkt des letzten im Instruktionsmodell repräsentierten Pfades verbunden. Diese Operation wird als „Defaultverketzung“ von Pfaden bezeichnet. Die Relation **DEFAULT-IDENTIFIKATION** legt fest, dass die durch sie verbundenen Orientierungspunkte solange als miteinander identifiziert anzusehen sind, bis ein Grund gegen diese Annahme vorliegt. Eventuell kann eine spätere auftretende distale Diskontinuität diese Relation weiter aufklären; dies ist im Kapitel 6 beschrieben. Abbildung 5.7 zeigt diese Operation.

Operation für Pfadsegment oder Ortssegment mit distaler lokaler Relation: Bildung und Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Segmente, für die eine distal diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt wurde, werden nicht unmittelbar in ein Instruktionsmodell integriert.

Baut DIV gerade das initiale Instruktionsmodell auf, das heißt, das letzte verarbeitete Segment wurde in das initiale Instruktionsmodell integriert, so wird der Aufbau des

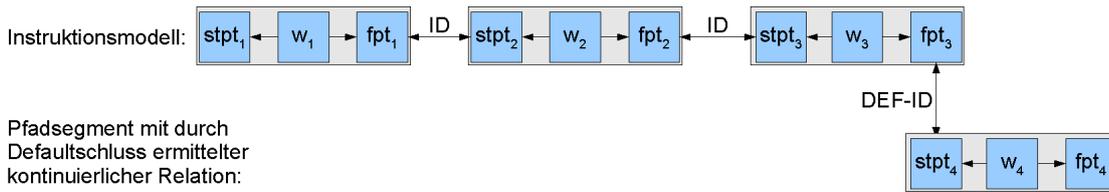


Abbildung 5.7: Operation für Pfadsegment mit durch Defaultschluss ermittelter kontinuierlicher Relation.

initialen Instruktionsmodells vorerst unterbrochen. Ausgehend vom zu verarbeitenden Segment wird ein diskontinuierliches Instruktionsmodell aufgebaut. Tritt eine der im Folgenden beschriebenen Bedingungen für den Abbruch des Aufbaus eines diskontinuierlichen Instruktionsmodells ein, wird das diskontinuierliche Instruktionsmodell in das initiale Instruktionsmodell integriert. Die Integration von Instruktionsmodellen ist im Kapitel 6 beschrieben.

Baut DIV gerade ein diskontinuierliches Instruktionsmodell auf, so wird dieses Instruktionsmodell zunächst in das initiale Instruktionsmodell integriert, bevor es zum Aufbau eines weiteren diskontinuierlichen Instruktionsmodells kommt.

Bedingungen für den Abbruch des Aufbaus eines diskontinuierlichen Instruktionsmodells und die Integration des diskontinuierlichen Instruktionsmodells in das initiale Instruktionsmodell:

- *Entweder:* Es liegen keine weiteren Segmente zur Verarbeitung vor.
- *Oder:* Ein weiteres zu verarbeitendes Segment steht in einer ermittelten distal diskontinuierlichen Relation zu dem zuvor verarbeiteten Segment.
- *Oder:* Das diskontinuierliche Instruktionsmodell kann so in das initiale Instruktionsmodell integriert werden, dass die jeweils letzten Orientierungspunkte der Routenteile, welche durch diese Instruktionsmodelle repräsentiert werden, miteinander identifiziert werden können. Dies ist dann der Fall, wenn ein in das diskontinuierliche Instruktionsmodell integriertes Segment die Eigenschaft besitzt, über eine einzigartige Landmarke spezifiziert worden zu sein, welche ebenfalls verwendet wird, um den letzten im initialen Instruktionsmodell beschriebenen Pfad oder Orientierungspunkt zu spezifizieren.

Operation für Pfadsegment oder Ortssegment als erstes aus der Routenbeschreibung extrahiertes Segment: Aufbau des initialen Instruktionsmodells

Es wird davon ausgegangen, dass das erste aus einer Routenbeschreibung extrahierte Segment den Beginn der Route beschreibt. Der in diesem Segment beschriebene Orientierungspunkt oder der Startpunkt des Pfades, falls es sich um ein Pfadsegment handelt,

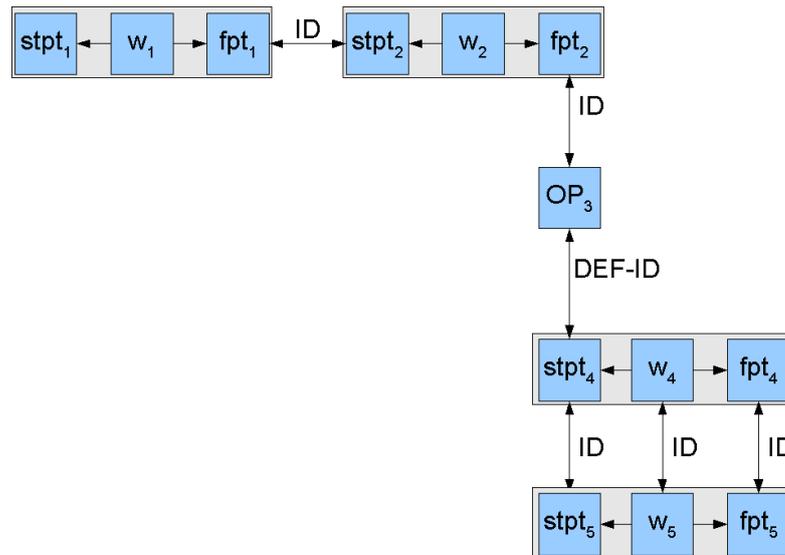


Abbildung 5.8: Beispiel für einen Ausschnitt aus einem Instruktionsmodell

erhält eine räumliche IN Relation zu der besonderen Region **START**. Ausgehend von diesem Segment, wird das initiale Instruktionsmodell aufgebaut.

5.5.4 Struktur eines inkrementell aufgebauten Instruktionsmodells

Das CRIL-Netz eines inkrementell aufgebauten Instruktionsmodells repräsentiert eine Folge von Pfaden, welche durch Orientierungspunkte verbunden sind. Dabei kann jeder Pfad oder Orientierungspunkt durch mehrere Knoten, welche über die Relationen **IDENTIFIKATION** oder **DEFAULT-IDENTIFIKATION** verbunden sind, repräsentiert werden. Abbildung 5.8 zeigt einen Ausschnitt eines solchen CRIL-Netzes.

5.5.5 Finalisierung

Nachdem das letzte aus der Routenbeschreibung extrahierte Segment verarbeitet worden ist, beginnt die Finalisierungsphase. In dieser Phase finden drei Verarbeitungsschritte statt:

Zuerst wird noch einmal versucht, solche diskontinuierlichen Instruktionsmodelle zu integrieren, bei denen eine Integration während des inkrementellen Aufbaus des Instruktionsmodells, nach dem in Kapitel 6 beschriebenen Verfahren, fehlgeschlagen ist. Eventuell sind neue Informationen in das initiale Instruktionsmodell integriert worden, welche eine Integration zu diesem späteren Zeitpunkt ermöglichen. Als zweiter Schritt wird geprüft, ob das entstandene Modell der Route vollständig in dem Sinne ist, dass es vom Startpunkt der Route zum Zielpunkt führt. Ist dies nicht der Fall, finden weitere Bear-

beitungsschritte statt. Diese beiden Verarbeitungsschritte sind im Kapitel 6 beschrieben und führen zu einem finalen Instruktionsmodell.

Als dritter Verarbeitungsschritt der Finalisierungsphase wird ein zusammenhängender Aktionsplan aus dem finalen Instruktionsmodell erstellt. Dieser neue Aktionsplan ersetzt den ursprünglichen, aus der Routenbeschreibung extrahierten Aktionsplan. Für jeden Pfad w des Routenmodells wird eine $!GO(w)$ Aktion in den Aktionsplan eingefügt. Dabei wird für alle transitiv durch die Relation IDENTIFIKATION oder DEFAULT-IDENTIFIKATION verbundenen Knoten, welche Pfade repräsentieren, jeweils nur eine Aktion für diesen Aktionsplan erstellt. Durch die Integration distaler Instruktionmodelle kann es dazu kommen, dass Alternativen in Instruktionplänen entstehen, in dem Sinne, dass für einen Abschnitt der Route mehrere Repräsentationen vorliegen. Vorschläge, wie mit solchen Instruktionmodellen umgegangen werden kann, werden in Abschnitt 6.7.3 beschrieben. Mit der Erstellung dieses Aktionsplanes ist die Verarbeitung durch DIV abgeschlossen.

5.5.6 Einordnung in die Navigationsphase des GA

Die diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung findet in der Instruktionsphase des Geometrischen Agenten statt. Sie kann in die aktuelle Architektur dieser Phase, welche in [Tschander et al. 03] dargestellt ist, integriert werden.

Während der syntaktischen und semantischen Verarbeitung der Routenbeschreibung, bildet ein Lexikon für sprachliche Marker Phrasen innerhalb der natürlichsprachlichen Beschreibung auf sprachliche Eigenschaften von Segmenten ab. Die Repräsentation der Satzbedeutungen werden in Segmente zerlegt. Inhaltliche Eigenschaften von Segmenten werden bestimmt. Sprachliche und inhaltliche Eigenschaften steuern die diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung, welche als eine Erweiterung der bestehenden Instruktionsverarbeitung des GA angesehen werden kann. Abbildung 5.9 zeigt die durch DIV erweiterte Architektur der Instruktionsphase des Geometrischen Agenten.

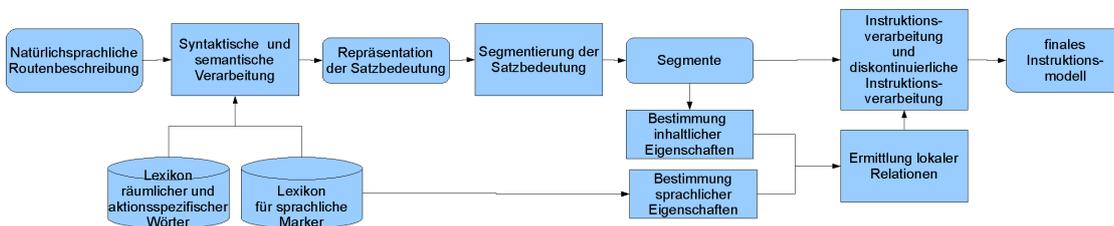


Abbildung 5.9: Architektur der durch DIV erweiterten Instruktionsphase des GA

5.6 **Eigenschaften von Segmenten zur Bestimmung der lokalen Relation**

In der Initialisierungsphase von DIV werden Segmenten verschiedene Eigenschaften zugeordnet. Diese Eigenschaften werden genutzt, um lokale Relationen zu ermitteln. Dies ist in Abschnitt 5.7 beschrieben. Diese Eigenschaften erweitern die Repräsentation der Routenbeschreibung in der Instruktionssphase des Geometrischen Agenten.

Eigenschaften von Segmenten, welche aus der Repräsentation räumlicher Informationen eines Segmentes extrahiert worden sind, heißen „inhaltliche Eigenschaften“. Aus dem Beschreibungsanteil eines Segmentes extrahierte Eigenschaften werden „sprachliche Eigenschaften“ genannt. Finden sich in einer Routenbeschreibung Hinweise auf Interaktion zwischen dem Beschreibenden und dem Empfänger der Beschreibung, zum Beispiel, indem Nachfragen protokolliert worden sind, so wird dies zu den sprachlichen Eigenschaften eines Segmentes gezählt.

Zur Motivation der einzelnen Eigenschaften sind statistische Daten angegeben, welche sich auf die untersuchten Routenbeschreibungen beziehen. Zu jeder Eigenschaft ist angegeben, wieviele untersuchte Segmente diese Eigenschaft besitzen und wieviele dieser Segmente in der lokalen Relationen stehen, welche durch eine Eigenschaft impliziert wird.

5.6.1 **Inhaltliche Eigenschaften**

Eigenschaften, welche aus der in einem Segment spezifizierten räumlichen Information abgeleitet sind, werden als inhaltliche Eigenschaften bezeichnet.

Nicht für alle inhaltlichen Eigenschaften existieren zurzeit Repräsentationen in der Sprache CRIL. Wird in der Beschreibung eines Pfades beispielsweise eine Distanz angegeben, so wird im Rahmen dieser Arbeit angenommen, dass dies als räumliche Eigenschaft des beschriebenen Pfades erkannt und in der Satzbedeutung repräsentiert wird.

Spezifikation durch einzigartige Landmarke: „EM: Landmarke I“

Landmarken spielen eine herausragende Rolle in Wegbeschreibungen. Im Rahmen der Verarbeitung von diskontinuierlichen Routenbeschreibungen sind besonders solche Landmarken interessant, welche im Verlauf der Route nur ein einziges Mal vorkommen. Diese Landmarken werden als „einzigartig“ bezeichnet. Ist die Umgebung der Route unbekannt, so kann ein kognitives System nur Annahmen darüber treffen, ob eine Landmarke einzigartig in diesem Sinne ist. Grundlage hierzu ist das vorhandene Weltwissen über die genannten Landmarken und ihre Verteilung in der Welt.

Eine gute Heuristik ist es, anzunehmen, dass alles, was einen individuellen Namen besitzt, einzigartig nach dieser Definition ist. So gibt es zum Beispiel mehrere Straßen mit dem Namen „Grabenstraße“ in Deutschland [Google Maps], aber nur eine davon liegt in Trier.

5.6 Eigenschaften von Segmenten zur Bestimmung der lokalen Relation

Alle Vorkommen der „Grabenstraße“ innerhalb einer Routenbeschreibung, welche durch diese Stadt führt, beziehen sich daher auf dieselbe Straße. Auch besondere Gebäude wie ein Krankenhaus oder eine Post, fallen in die Kategorie der einzigartigen Landmarken.

Die Wiederholung einer einzigartigen Landmarke in einer Routenbeschreibung kann als ein Hinweis gesehen werden, dass gleiche Teile der Route wiederholt beschrieben werden. 52.0 % der untersuchten Segmente sind durch mindestens eine einzigartige Landmarke spezifiziert. 8.8 % dieser Segmente sind durch eine einzigartige Landmarke spezifiziert, welche bereits zuvor in der Routenbeschreibung vorgekommen ist.

Die Korrektheit der Einschätzung, ob eine Landmarke einzigartig ist, kann auf Grundlage von Wissen über die Umgebung, in welcher die in einer Routenbeschreibung beschriebene Route liegt, verbessert werden. Bestimmte Landmarken kommen in einigen Umgebungen häufiger vor als in anderen. So kommen zum Beispiel Brücken häufiger in Umgebungen vor, die reich an Gewässern sind. Der GA verfügt nicht über Vorwissen über die Umgebung, in der er navigieren soll. Es ist daher für den Agenten nicht möglich, eine informierte Einschätzung über die zu erwartende Häufigkeit von Landmarken entlang der beschriebenen Route zu treffen. Daher wird in dieser Arbeit nicht versucht, Vorwissen des Agenten über die Umgebung einer Route zur Einschätzung der Einzigartigkeit einer Landmarke zu nutzen.

Ziel der Route: „I: Ziel der Route“

Selbst wenn eine Routenbeschreibung eine unbekannte Umgebung beschreibt, so sind dem Instruierten mindestens zwei Orte bekannt: Der Start und das Ziel der Route. Sind diese Orte durch einzigartige Landmarken beschrieben, kann das Vorkommen dieser Landmarken innerhalb einer Routenbeschreibung als ein wichtiger Hinweis für die Verarbeitung diskontinuierlicher Beschreibungsanteile genutzt werden.

Wird in einer Routenbeschreibung das Ziel einer Routenanfrage genannt, so kann geschlossen werden, dass somit auch das Ende der Route beschrieben worden ist. Ein Segment, dessen räumliche Information über eine Landmarke spezifiziert ist, welche als Ziel der Route bekannt ist, erhält die Eigenschaft „Ziel der Route“. Wird eine solche Eigenschaft erkannt, so erhält das Segment eine räumliche IN Relation zur besonderen Region „Ziel“.

Es ist anzunehmen, dass nachfolgende Segmente eine Wiederholung darstellen, da es unsinnig ist, eine Routenbeschreibung über das Ziel der Route hinaus fortzusetzen. 6.5 % der untersuchten Segmente besitzen die Eigenschaft „I: Ziel der Route“. 42.9 % der Segmente, welche auf ein Segment mit der Eigenschaft „I: Ziel der Route“ folgen, stehen in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Beispiel: Für Segment mit Eigenschaft „Ziel der Route“: *„(...) und dann kommen Sie zum Frankenturm. Also immer geradeaus.“* Die beiden Sätze sind Teil einer Routenbeschreibung, welche zum Frankenturm führen soll. Der erste Satz bildet den Satzanteil eines Segmentes mit der Eigenschaft „Ziel der Route“. Der zweite Satz bildet den Satzanteil

teil eines Segmentes, welches in distal diskontinuierlicher Relation zum vorangegangenen Segment steht.

Startpunkt der Route: „I: Start der Route“

Analog zur Eigenschaft „Ziel der Route“ kann eine Eigenschaft „Start der Route“ definiert werden. Die explizite Nennung von Landmarken, welche den Startpunkt der Route beschreiben, treten im untersuchten Teil des Trierkorpus allerdings nicht auf.

Pfad führt an einer Landmarke vorbei: „I: vorbei, Landmarke l“

Wird in der räumlichen Information eines Segmentes beschrieben, dass ein Pfad an einer Landmarke vorbeiführt, so erhält das Segment die Eigenschaft „I: vorbei, Landmarke l“, wobei diese Eigenschaft durch die genutzte Landmarke l spezifiziert wird.

Beispiel für ein Segment mit der Eigenschaft „I: vorbei, Horten“

„Gehen Sie die Fleischstraße hoch. Am Horten vorbei.“

Der zweite Satz ist der Beschreibungsanteil eines Segmentes, welches die Eigenschaft „I: vorbei, Horten“ besitzt.

3.3 % (6 Vorkommen) der untersuchten Pfadsegmente besitzen die Eigenschaft „I: vorbei, Landmarke“. 5 dieser Segmente stehen, wenn es sich nicht um das erste, aus einer Routenbeschreibung extrahierte Segment handelt, in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Werden beim inkrementellen Aufbau eines Instruktionsmodells mehrere Pfade miteinander identifiziert, welche dadurch spezifiziert sind, an einer Landmarke vorbeizuführen, so ist es wichtig, die Reihenfolge, in welcher diese Spezifikationen in der Routenbeschreibung auftreten, festzuhalten.

Spezifiziert Distanz: „I: Distanz, Distanz d“

Alle Pfadsegmente, welche eine Distanz spezifizieren, erhalten die Eigenschaft „I: Distanz, Distanz d“, wobei die Eigenschaft durch die beschriebene Distanz d spezifiziert wird. Segmente, welche Distanzen spezifizieren, beziehen sich häufig auf einen zuvor beschriebenen Pfad.

1.9 % (4 Vorkommen) der untersuchten Pfadsegmente besitzen die Eigenschaft „I: Distanz“. Alle diese Segmente sind Pfadsegmente und stehen in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment, falls diese Relation nicht bereits als distal diskontinuierlich ermittelt wurde.

Beispiel für ein Segment mit der Eigenschaft „I: Distanz, 200 m“:

„Brotstraße. Da kommen Sie nach etwa, na gut zweihundert Metern vor so ein Geschäftshaus.“

Der zweite Satz ist der Satzanteil eines Pfadsegmentes, welches eine Distanz spezifiziert.

Dieses Segment steht in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Spezifiziert Restriktion: „I: Restriktion“

Wird in einer Routenbeschreibung erwähnt, was nicht zu tun ist, so wird dies im Rahmen dieser Arbeit als Restriktion bezeichnet. Ein Beispiel für eine Restriktion ist der zweite Teil des Satzes: *„Gehe die Fleischstraße runter, nicht die Dietrichstraße.“* Das Segment S_2 , welches aus dem zweiten Teil des Satzes generiert wird, steht in einer stationär kontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment S_1 , da „nicht die Dietrichstraße“ als eine Beschreibung des in S_1 beschriebenen Pfades angesehen wird. Ein Segment, das eine Restriktion repräsentiert, erhält die Eigenschaft: „I: Restriktion“.

Nur eines der untersuchten Segmente besitzen die Eigenschaft „I: Restriktion“, es steht in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Spezifiziert Ereignis: „I: Ereignis“

In Routenbeschreibungen stehen die Handlungen des Navigierenden im Vordergrund. Andere Handelnde werden in der Regel nicht beschrieben. Die in einer Routenbeschreibung beschriebene Umgebung ist zumindest in den in dieser Arbeit untersuchten Korpora statisch. Daraus folgt, dass Ereignisse, welche in der Routenbeschreibung beschrieben werden, eine Folge der Handlungen des Navigierenden sind. Die einzigen, im untersuchten Korpus beschriebenen Ereignisse, sind das Sichtbarwerden oder Erreichen von Landmarken. Diese Ereignisse werden in den untersuchten Korpora durch die Verben „kommen“ oder „stoßen“ angezeigt. Segmente, in deren Satzanteil eines dieser Verben vorkommt, erhalten die Eigenschaft, ein Ereignis zu beschreiben. Besitzt ein Pfadsegment die Eigenschaft, ein Ereignis zu beschreiben, so steht das Pfadsegment in der Regel in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment. 15.8 % der untersuchten Pfadsegmente beschreiben ein Ereignis. 100 % dieser Segmente stehen, wenn es sich nicht um das erste Segment der Routenbeschreibung handelt, in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Beispiele für Segmente mit Eigenschaft „Ereignis“:

„Gehe die Fleischstraße runter. Du stößt auf eine Post.“

„Gehe die Fleischstraße runter. Da kommt eine Post.“

„Gehe die Fleischstraße runter. Du kommst an eine Post.“ Die drei Sätze dieser Beispiele sind Beschreibungsanteile von Segmenten mit der Eigenschaft „I: Ereignis“.

Es ist anzumerken, dass im Rahmen dieser Arbeit nicht dazwischen unterschieden wird, dass der Instruierte an eine Landmarke kommt, oder dass eine Landmarke „kommt“, da dies keinen Einfluss auf die Ermittlung lokaler Relationen hat.

5.6.2 Aus dem Beschreibungsanteil extrahierte Eigenschaften

Eigenschaften eines Segmentes können auch aus seinem Beschreibungsanteil gewonnen werden. Bestimmte, in der Routenbeschreibung verwendete Wörter oder Phrasen, können verwendet werden, um auf lokale Relationen zwischen Segmenten zu schließen. Diese Wörter oder Phrasen werden **sprachliche Marker** genannt. Kann ein solcher sprachlicher Marker im Beschreibungsanteil eines Segmentes gefunden werden, wird dem Segment je nach Art des sprachlichen Markers eine Eigenschaft zugeordnet.

Sprachliche Marker können als metasprachliche Äußerung verstanden werden. In einer Routenbeschreibung bezieht sich die Objektebene auf Teile der beschriebenen Route, die Metaebene auf die Beschreibung selbst. Mündliche Routenbeschreibungen können als zwei ineinander verwobene Informationsströme betrachtet werden: Ein Objektstrom, bestehend aus räumlichen Informationen und Beschreibungen von Aktionen bezieht sich auf Teile der Route, während ein Kontrollstrom von sprachlichen Markern Hinweise gibt, wie diese Teile der Route zu einer Gesamtroute zu integrieren sind.

Diese Sichtweise findet sich auch innerhalb der Linguistik wieder. Quasthoff beschreibt in [Quasthoff 79] die Verwendung von Sprachpartikeln als Gliederungssignale. Diese können entweder als ein Artefakt kognitiver Prozesse oder als beabsichtigte Strukturierung auftreten. Die von Quasthoff identifizierte Unterart der Gliederungssignale, die Verknüpfungssignale, entsprechen den im Folgenden vorgestellten sprachlichen Markern, welche Kontinuität anzeigen. In [Öztürk 08] wird die Verwendung der Worte „dann“ und „bis“ als Konnektoren innerhalb von Routenbeschreibungen beschrieben.

Auch das Vorkommen von Beschreibungsanteilen von Segmenten im gleichen Satz der Routenbeschreibung oder die in der Routenbeschreibung dokumentierten Nachfragen seitens des Instruierten, gelten als aus dem Beschreibungsanteil extrahierte Eigenschaften. Im Folgenden werden verschiedene aus dem Beschreibungsanteil eines Segmentes extrahierte Eigenschaften vorgestellt.

Sprachlicher Marker für Diskontinuität: „SP: also“ und „SP: Moment“

Häufig werden Wiederholungsdiskontinuitäten von dem Wort „also“ eingeleitet. Als Gliederungssignal könnte diese Phrase etwa mit „*Ich beginne die Beschreibung.*“ oder „*Ich beginne die Beschreibung erneut.*“ übersetzt werden. Der sprachliche Marker „SP: also“ kann daher als ein Indiz für eine distale Diskontinuität genutzt werden.

7.9 % der untersuchten Segmente haben die Eigenschaft „SP: also“. 69.2 % dieser Segmente, welche nicht das erste aus einer Routenbeschreibung extrahierte Segment sind, stehen in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Beispiel für die Verwendung von „also“:

„*Sie biegen links in die Sternstraße. Also Sie gehen nach links.*“ Der zweite Satz ist der Beschreibungsanteil eines Segmentes, welches in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment steht.

5.6 Eigenschaften von Segmenten zur Bestimmung der lokalen Relation

Die Phrase „Moment“ erfüllt eine ähnliche Funktion, allerdings ist sie im untersuchten Korpus deutlich seltener vertreten. 0.9 % (2 Vorkommen) der untersuchten Segmente haben die Eigenschaft „SP: also“. Eines dieser Segmente stehen in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Beispiel für die Verwendung von „Moment“:

„An der Post vorbei, gehen Sie die Brückenstraße hoch. Moment, dann kommt erstmal an der alten Post vorbei und da ist eine Kreuzung (...).“

Durch die Phrase „Moment“ wird im zweiten Satz dieser Beschreibung eine Wiederholung eingeleitet.

Ein weiterer Kandidat für diese Art von Markern ist die Phrase „wie gesagt“. Sie deutet daraufhin, dass eine Information bereits zuvor in der Routenbeschreibung gegeben wurde. Anders als „also“ oder „Moment“ leitet die Phrase „wie gesagt“ jedoch nicht zwingend eine Wiederholung ein. Die Phrase „wie gesagt“ kann daher nicht zur Bestimmung lokaler Relationen genutzt werden. Zusammen mit dem einmaligen Vorkommen der Phrase im untersuchten Korpus, spricht dieser Grund dagegen, „wie gesagt“ in dieser Arbeit als sprachlichen Marker zu verwenden.

Beispiel für ein Vorkommen der Phrase „wie gesagt“:

„Eh, hier rüber, eh, wo's Bley is, ne, gehn Sie grade hoch, immer gradaus an Herten vorbei, an der Post vorbei, dann kommt der, eh, der Kornmarkt mit seinem riesengroßen weißen Brunnen, da auch dran vorbei und dann halten Sie sich immer rechts, und dann kommt, wie gesagt, die Ampel.“

In diesem Beispiel kann die Phrase „wie gesagt“ nicht genutzt werden, um eine lokale Relation zu ermitteln. Das Segment, in dessen Beschreibungsanteil die Phrase vorkommt, steht in einer kontinuierlichen lokalen Relation zum vorangegangenen Segment.

Sprachlicher Marker für Kontinuität: „SP: dann“, „SP: und dann“, „SP: und“

Steht das Wort „dann“ oder die Phrase „und dann“ am Anfang des Satzanteils eines Segmentes, kann daraus geschlossen werden, dass die im Segment beschriebene Aktion einer zuvor beschriebenen Aktion nachgeordnet ist, dies entspricht in den meisten Fällen einer kontinuierlichen Relation zwischen diesen Segmenten. Für Ortssegmente kann ebenfalls der sprachliche Marker „SP: und“ genutzt werden, welcher für Ortssegmente eine kontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment anzeigt.

17.6 % der untersuchten Segmente haben die Eigenschaft „SP: dann“ oder „SP: und dann“. 63.2 % dieser Segmente stehen in einer kontinuierlichen lokalen Relation zum vorangegangenen Segment. 18.4 % der Ortssegmente haben die Eigenschaft „SP: und“. 71.4 % dieser Segmente stehen in einer kontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Beispiel für die Verwendung des sprachlichen Markers „dann“ in einer Routenbeschreibung:

„Über die Ampel weg und dann in die Brückenstraße.“

Nach [Öztürk 08] wird das Wort „dann“ in Routenbeschreibungen genutzt, um die Beschreibung einer Aktion A_1 mit einer Beschreibung einer Aktion A_2 zu verbinden, wenn A_2 A_1 beendet, A_1 A_2 startet, A_1 und A_2 sich teilweise überlappen oder wenn A_2 direkt auf A_1 folgt. Eine Erläuterung dieser temporalen Relationen findet sich in Kapitel 6 dieser Arbeit. Bezieht man diese temporalen Relationen auf die Segmente dieser Arbeit so, entsprechen sie sowohl kontinuierlichen oder stationär diskontinuierlichen lokalen Relationen zwischen Segmenten. In Abschnitt 5.7 wird erläutert, wie weitere Eigenschaften von Segmenten genutzt werden können, um zu ermitteln, welche der beiden lokalen Relationen durch das Wort „dann“ impliziert wird.

Sprachlicher Marker für lokale Diskontinuität von Pfadsegmenten: „SP: immer“

Das Wort „immer“ kann in einer Phrase wie „immer geradeaus“ oder „immer runter“ genutzt werden, um zu beschreiben, dass der Navigierende für längere Zeit in die gleiche Richtung gehen soll. Eine solche Beschreibung wird häufig genutzt, um eine vorangegangene Beschreibung einer Aktion, in welcher ein Pfad traversiert wird, zu ergänzen. Ein Pfadsegment, welches die Eigenschaft hat, den sprachlichen Marker „SP: immer“ zu besitzen, steht häufig in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

9.0 % der untersuchten Pfadsegmente besitzen den sprachlichen Marker „SP: immer“. 71.4 % dieser Segmente, welche nicht in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment stehen, stehen in einer stationär diskontinuierlichen Relation zu diesem Segment.

Beispiel für eine Routenbeschreibung mit dem sprachlichen Marker „SP: immer“:
„Gehen Sie die Fleischstraße runter. Immer geradeaus.“

Deiktischer sprachlicher Marker für Startpunkt der Route: „SP : hier“

Der deiktische Ausdruck „hier“ verweist in Wegbeschreibungen, welche am Startpunkt der Route aufgenommen worden sind, in der Regel auf diesen Startort. Ein Segment, in dessen Beschreibungsanteil der sprachliche Marker „SP: hier“ vorkommt, wird genauso behandelt, als hätte es die inhaltliche Eigenschaft „I: Startpunkt der Route“. Nach [Scheel & Blanck 08] verweisen in Routenbeschreibungen, welche unter Verwendung externer Repräsentationen entstehen, deiktische Marker hingehen auf Elemente der Repräsentation.

13.0 % der Segmente besitzen den sprachlichen Marker „SP: hier“. 100 % dieser Segmente, welche nicht das erste aus einer Routenbeschreibung extrahierte Segment sind, stehen in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Temporaler sprachlicher Marker für Startpunkt der Route: „SP: jetzt“, „SP: erst einmal“

Die temporalen Phrasen „jetzt“ und „erst einmal“ werden in Routenbeschreibungen, welche am Startpunkt der Route aufgenommen worden sind, genutzt, um auf den Anfang einer Route zu verweisen. Ein Segment, in dessen Beschreibungsanteil der sprachliche Marker „SP: jetzt“ oder „SP: erst einmal“ vorkommt, wird genauso behandelt, als hätte es die inhaltliche Eigenschaft „Startpunkt der Route“.

6.5 % der Segmente besitzen den sprachlichen Marker „SP: jetzt“. 100 % dieser Segmente, welche nicht das erste aus einer Routenbeschreibung extrahierte Segment sind, stehen in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Sprachlicher Marker für Abschluss einer Bewegung: „SP: bis“ und „SP: bis zu“

Segmente, die Aktionen repräsentieren, welche den Navigierenden instruieren, einen Pfad zu traversieren, werden in dieser Arbeit als nicht mehr weiter zerteilbar betrachtet. Es ist nicht möglich, dass in einem Segment nur ein Teil einer Bewegungsaktion oder nur ein Teil eines Pfades spezifiziert werden.

Es gibt jedoch Beschreibungen von Bewegungsaktionen, welche das Ende der Aktion hervorheben. Dies ist zum Beispiel in folgendem Satz der Fall: *„Gehen Sie bis zur Kreuzung.“* Dies kann bei der Verarbeitung von Pfadsegmenten genutzt werden. Pfadsegmente, in deren Beschreibungsanteil der sprachliche Marker „SP: bis“ oder „SP: bis zu“ vorkommt, stehen häufig in einer lokal stationären Relation zum vorangegangenen Segment.

9.0 % der untersuchten Pfadsegmente haben die Eigenschaft „SP: bis“ oder „SP: bis zu“. 87.6 % dieser Pfadsegmente stehen, wenn sie nicht in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment stehen, in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Beispiel für Verwendung von „bis“:

„Da müßt Ihr da vorgehen erstmal. Bis vor den Kaufhof.“

Das aus dem zweiten Satz extrahierte Segment steht in einer stationär diskontinuierlichen lokalen Relation zum Segment, welches aus dem ersten Satz extrahiert wird.

Nach [Öztürk 08] wird das Wort „bis“ in Routenbeschreibungen sowohl als Präposition als auch als Subjunktor verwendet. Als Präposition wird „bis“ genutzt, um den Endpunkt einer Aktion, welche auf einem Pfad verläuft, zu beschreiben. Als Subjunktor verbindet „bis“ zwei Aktionen, wobei die zweite Aktion die erste beendet. Beide Verwendungen von „bis“ entsprechen einer lokal stationären Relation zwischen den Segmenten, welche aus den jeweiligen Aktionsbeschreibungen extrahiert werden.

Sprachlicher Marker für lokale Diskontinuität von Ortssegmenten: „SP: wo“, „SP: da wo“

Der sprachliche Marker „wo“ wird in den untersuchten Routenbeschreibungen genutzt, um anzuzeigen, dass die Beschreibung eines Ortes sich auf einen zuvor beschriebenen Ort bezieht. Folgt die Beschreibung eines Orientierungspunktes, in welcher das Wort „wo“ verwendet wird, auf die Beschreibung eines Pfades und wird nichts über den Endpunkt dieses Pfades ausgesagt, so bezieht sich die Beschreibung des Orientierungspunktes in der Regel auf den Beginn des Pfades, wie in folgendem Beispiel:

„Und dann gehen Sie die Straße runter, da wo Café Bley ist.“

Ein Ortssegment, dessen Beschreibungsanteil den sprachlichen Marker „SP: wo“ enthält, steht häufig in einer lokal diskontinuierlichen Relation zu seinem Vorgängersegment, falls dies einen Pfad spezifiziert und nicht über die Eigenschaft „spezifiziert Endpunkt“ verfügt. Wird eine lokal diskontinuierliche Relation für ein Segment ermittelt, wird das nachfolgende Segment behandelt, als würde es auf das zuletzt verarbeitete Pfadsegment folgen.

10.5 % der untersuchten Ortssegmente haben die Eigenschaft „SP: wo“, 75.0 % dieser Segmente stehen in einer lokal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Syntaktischer Marker: „SY: gleicher Satz“

Syntaktische Eigenschaften folgen demselben Schema wie sprachliche Marker, nur dass in diesem Fall der Satzbau der zugrunde liegenden Beschreibung analysiert wird. Kommt der Beschreibungsanteil eines Segmentes S_2 und des vorangegangenen Segmentes S_1 im gleichen Satz der Routenbeschreibung vor, so erhält das Segment S_2 die Eigenschaft „SY: gleicher Satz“.

In der Korpusanalyse liegen 71.9 % der distal diskontinuierlichen Relationen zwischen zwei Segmenten, deren Beschreibungsanteil in unterschiedlichen Sätzen der Routenbeschreibung vorkommt. Nur 28.1 % der distal diskontinuierlichen Relationen liegen zwischen Segmenten, welche aus dem gleichen Satz extrahiert worden sind. Wird eine einzigartige Landmarke in einem Satz der Routenbeschreibung wiederholt, welche bereits in einem anderen Satz der Routenbeschreibung vorkam, so wird daher angenommen, dass der gesamte Satz, in welchem die Wiederholung der einzigartigen Landmarke vorkommt, bereits beschriebene Teile der Route erneut beschreibt. Für das erste aus diesem Satz extrahierte Segment wird daher eine distal diskontinuierliche Relation zu dem vorangegangenen Segment ermittelt.

Hinweise auf Interaktion: „HI: Nachfrage“

Die Analyse des Trierkorpus hat ergeben, dass 15 % der Diskontinuitäten eine Nachfrage vorausging. Nachfragen sind in den schriftlich fixierten Protokollen des Trierkorpus

5.7 Ermittlung lokaler Relationen auf Grundlage von Eigenschaften von Segmenten

dokumentiert. Es ist daher einfach zu ermitteln, ob dem Satzanteil eines Segmentes eine Nachfrage vorausging. Trifft dies für ein Segment zu, so erhält es die Eigenschaft „HI: Nachfrage“. Ein Segment, welches diese Eigenschaft besitzt, steht häufig in einer distal diskontinuierlichen Relation zu dem vorangegangenen Segment.

10.7 % der untersuchten Segmente haben die Eigenschaft „HI: Nachfrage“. 39.1 % dieser Segmente stehen in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment.

Dies ist eine sehr schwache Form der Nutzung von Wissen über Interaktion zwischen Instruierendem und Instruiertem, da nicht berücksichtigt wird, was gerade gefragt wurde. Auch andere Interaktionselemente, wie nonverbale Rückmeldungen, könnten auf diese Art genutzt werden, falls diese Interaktionselemente dokumentiert wären.

5.7 Ermittlung lokaler Relationen auf Grundlage von Eigenschaften von Segmenten

Die Ermittlung lokaler Relationen entspricht einem Klassifikationsproblem. Die lokale Relation eines Segmentes S_2 zum vorangegangenen Segment S_1 wird anhand der Eigenschaften von S_2 ermittelt.

Zur Lösung des Klassifikationsproblems wird ein Entscheidungsbaum verwendet. Die im Folgenden vorgestellten Regeln werden der Reihe nach angewendet, um eine lokale Relation eines Segmentes zum vorangegangenen Segment zu ermitteln. Dabei ist die lokale Relation eines Segmentes solange unbestimmt, bis eine der Bedingungen der Regeln zutrifft. Kann eine lokale Relation ermittelt werden, so bricht dieses Verfahren an der Stelle ab. Eine weitere Untersuchung der Eigenschaften eines Segmentes findet nicht statt. Auf diese Weise kann es nicht dazu kommen, dass für ein Segment unterschiedliche lokale Relationen ermittelt werden.

Zunächst wird überprüft, ob ein Segment Eigenschaften hat, welche anzeigen, dass es in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment steht. Erst nach dieser Überprüfung wird nach Hinweisen auf eine andere lokale Relation zur Integration in ein Instruktionsmodell gesucht. Dabei werden für Pfadsegmente und Ortssegmente unterschiedliche Regeln verwendet.

Das Verfahren zur Klassifikation ist so angelegt, dass falsch positive Klassifikationen von lokalen Relationen als distal diskontinuierlich durchaus vorkommen können, falsch negative Klassifikationen aber vermieden werden. Der Grund dafür ist, dass nicht erkannte distale Diskontinuitäten zum Aufbau fehlerhafter Instruktionsmodelle führen, eine fälschlich vermutete distal diskontinuierliche Relation zunächst nur zum Aufbau eines distalen Instruktionsmodells führt, welches eventuell immer noch korrekt in das initiale Instruktionsmodell integriert werden kann.

Die vorgestellten Regeln formalisieren die Befunde, welche in Abschnitt 5.5 zu den Eigenschaften von Segmenten vorgestellt worden sind. Wurde eine der Regeln noch nicht

im Zuge der Eigenschaften von Segmenten motiviert, findet sich eine Erläuterung direkt bei der Beschreibung der Regel.

Es ist zu beachten, dass für das erste aus einer Routenbeschreibung extrahierte Segment keine lokale Relation zu einem vorangegangenen Segment ermittelt wird.

5.7.1 Ermittlung distal diskontinuierlicher Relationen

Zunächst wird überprüft, ob ein Segment eine Eigenschaft besitzt, welche anzeigt, dass es in einer distal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment steht.

Distal diskontinuierliche Relationen werden vor anderen lokalen Relationen ermittelt, da auch solche Segmente, welche distal diskontinuierlich sind, Eigenschaften besitzen können, welche im weiteren Verlauf der Ermittlung von Eigenschaften genutzt werden. Ausgehend von distal diskontinuierlichen Segmenten wird jedoch ein eigenes Instruktionsmodell aufgebaut. Daher haben Eigenschaften, welche eine Beziehung zu dem direkt vorangegangenen Segment anzeigen, keine Bedeutung, da es für das erste Segment, welches zu einem distalen Instruktionsmodell verarbeitet wird, kein vorangegangenes Segment gibt.

Folgende Bedingungen können eine distal diskontinuierliche Relation eines Segmentes zum vorangegangenen Segment implizieren:

BEDINGUNG D-1: Das Segment hat die Eigenschaft „SP: hier“ und beschreibt daher durch diesen deiktischen Marker den Startpunkt der Route.

BEDINGUNG D-2: Das Segment hat die Eigenschaft „SP: jetzt“ und beschreibt daher durch diesen temporalen Marker daher den Startpunkt der Route.

BEDINGUNG D-3: Das Segment besitzt einen der sprachlichen Marker „SP: also“.

BEDINGUNG D-4: Das Segment steht am Anfang eines Satzes der Routenbeschreibung, in welchem eine einzigartige Landmarke zur Beschreibung räumlicher Informationen genutzt wird, welche bereits in dem Instruktionsmodell vorkommt, in welches das Segment integriert werden soll. Um diese Bedingung zu prüfen, sind die inhaltliche Eigenschaft „I: einzigartige Landmarke“ und die sprachliche Eigenschaft „SY: gleicher Satz“ notwendig.

Oder das Segment besitzt die Eigenschaft „I: einzigartige Landmarke“ und die gleiche einzigartige Landmarke wird bereits in der Beschreibung eines Segmentes verwendet, welches aus dem gleichen Satz der Routenbeschreibung extrahiert wurde. Auch für diese Bedingung sind die Eigenschaften „I: einzigartige Landmarke“ und „SY: gleicher Satz“ notwendig.

BEDINGUNG D-5: Das Segment besitzt einen der sprachlichen Marker „SP: Moment“.

BEDINGUNG D-6: Das Segment folgt auf ein Segment mit der Eigenschaft „I: Ziel der Route“.

BEDINGUNG D-7: Das Segment hat die Eigenschaft „HI: Nachfrage“.

5.7 Ermittlung lokaler Relationen auf Grundlage von Eigenschaften von Segmenten

Bedingung	Korrektheit	Anwendung	korrekt klassifiziert	verbleibende distal diskontinuierliche Relationen
D-1 „SP: hier“	100 %	15	11 (73.3 %)	21
D-2 „SP: jetzt“	100 %	5	4 (68.7 %)	17
D-3 „SP: also“	69.2 %	9	5 (55.6)	12
D-4 Wiederholung einzigartiger Landmarke	55.1 %	20	9 (45.0 %)	3
D-5 „SP: Moment“	50 %	0	0	3
D-6 nach Nennung des Ziels	42.9 %	3	3 (100 %)	0
D-7 „HI: Nachfrage“	39 %	12	0	0

Tabelle 5.3: Evaluation der Bedingungen zur Ermittlung distal diskontinuierlicher Relation

Zuerst wurde die Korrektheit einzelner Bedingungen, welche eine distal diskontinuierliche Relation anzeigen, ermittelt. Die Bedingungen wurden nach ihrer Korrektheit geordnet und genutzt, um die lokalen Eigenschaften von Segmenten des untersuchten Korpus in einem Entscheidungsbaum zu bestimmen. Tabelle 5.3 zeigt die Korrektheit der einzelnen Bedingungen, wie oft eine Bedingung im untersuchten Korpus erfüllt ist, wie viele korrekte Klassifikationen sich aus der Bedingung ergeben und wie viele Segmente mit distal diskontinuierlicher Relation zum vorangegangenen Segment nach der Anwendung der Bedingung noch nicht erkannt worden sind.

Die Evaluation der Bedingungen für distal diskontinuierliche Relationen zeigt, dass im untersuchten Korpus alle distal diskontinuierlichen Relationen durch die Bedingungen D-1 bis D-6 erkannt werden können. Die Bedingung D-7 führt nur zu weiteren Fehlern. Daher werden in DIV die Bedingungen D-1 bis D-6 genutzt, um distal diskontinuierliche Relationen zu erkennen.

Dieses Verfahren erfüllt das anfangs aufgestellte Ziel, alle distal diskontinuierlichen Relationen zu erkennen, also keine Falsch-negativ-Klassifikationen zu erzeugen. Leider führt dieses Vorgehen zu einer hohen Anzahl von Falsch-positiv-Klassifikationen. Die Korrektheit der Klassifikation als distal diskontinuierlich liegt bei 61.5 %. Durch Integration der distalen Instruktionsmodelle in das initiale Instruktionsmodell, können diese falschen Klassifikationen zu einem Teil kompensiert werden.

5.7.2 Ermittlung lokaler Relationen von Ortssegmenten

Ein Ortssegment, welches nicht in distal diskontinuierlicher Relation zum vorangegangenen Segment steht, wird in ein Integrationsmodell integriert, indem der durch das Segment beschriebene Orientierungspunkt mit einem durch das Instruktionsmodell beschriebenen Orientierungspunkt identifiziert wird.

Die Schwierigkeit besteht darin, zu ermitteln, mit welchem Orientierungspunkt des Instruktionsmodells das aktuelle Ortssegment identifiziert werden soll. Da eine distal diskontinuierliche Relation bereits ausgeschlossen ist, kann das Ortssegment nur noch in einer kontinuierlichen oder einer lokal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment stehen. Es gibt mehrere Eigenschaften von Segmenten, welche die lokale Relation eines Ortssegmentes implizieren können:

REGEL O-1: Enthält der Beschreibungsanteil eines Ortssegmentes einen sprachlichen Marker für Kontinuität „SP: dann“, so wird eine kontinuierliche lokale Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt.

REGEL O-2: Enthält der Beschreibungsanteil eines Ortssegmentes einen sprachlichen Marker für Kontinuität „SP: und“, so wird eine kontinuierliche lokale Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt.

REGEL O-3: Hat ein Ortssegment die Eigenschaft „I: Ziel der Route“, so wird eine kontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt. Die Idee hinter dieser Regel ist, dass es selten vorkommt, dass ein Ortssegment, welches den Endpunkt einer Route beschreibt, in einer lokal diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment steht, denn dies würde implizieren, dass die Route nach dem Erreichen des Ziels noch weiterführt.

REGEL O-4: Für ein Ortssegment, dessen Beschreibungsanteil den sprachlichen Marker „SP: wo“ oder „SP: da wo“ enthält, wird eine lokal diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt. Wird eine lokal diskontinuierliche Relation für ein Segment ermittelt, wird das nachfolgende Segment behandelt, als würde es auf das zuletzt verarbeitete Pfadsegment folgen.

Es ist zu beachten, dass die Abfolge, in der die Regeln angewendet werden, einen Einfluss auf die ermittelte lokale Relation eines Ortssegmentes haben kann. Hat ein Segment sowohl die Eigenschaft „SP: wo“ (REGEL O-4) als auch beispielsweise die Eigenschaft „SP: dann“ (REGEL O-1), so entscheidet die Abfolge, in welcher die Regeln angewendet werden, darüber, welche lokale Relation ermittelt wird. Im untersuchten Korpus gibt es allerdings keine derartigen Konflikte bei der Ermittlung lokaler Relationen von Ortssegmenten. Tabelle 5.4 zeigt die Korrektheit der einzelnen Regeln, die Häufigkeit der Anwendungen dieser Regeln im untersuchten Korpus und die Korrektheit der durch diese Regeln vorgenommenen Klassifikationen. Es ist anzumerken, dass die Korrektheit der Klassifikationen bei einigen Regeln höher ist als die Korrektheit, mit der von einer Eigenschaft auf eine Relation geschlossen werden kann. Das liegt daran, dass bereits distal diskontinuierliche Relationen für Segmente ermittelt worden sind. Diese Segmente werden nicht mehr durch die Regeln O-1 bis O-4 klassifiziert.

5.7 Ermittlung lokaler Relationen auf Grundlage von Eigenschaften von Segmenten

Regel	Relation	Korrektheit	Anwendung	korrekt klassifiziert
O-1 „SP: dann“	kontinuierlich	75.0 %	3	3 (100 %)
O-2 „SP: und“	kontinuierlich	71.4 %	5	5 (100 %)
O-3 „I: Ziel der Route“	kontinuierlich	100 %	4	4 (100 %)
O-4 „SP: wo“	lokal diskontinuierlich	75.0 %	3	3 (100 %)

Tabelle 5.4: Evaluation der Regeln zur Ermittlung lokaler Relationen von Ortssegmenten

Durch die Regeln O-1 bis O-4 können 51.7 % der nicht klassifizierten lokalen Relationen von Ortssegmenten korrekt bestimmt werden. Für die verbleibenden Ortssegmente muss die lokale Relation über einen Defaultschluss ermittelt werden. Die anfängliche Analyse der lokalen Relationen im untersuchten Korpus hat gezeigt, dass kontinuierliche Relationen bei Ortssegmenten mit einem Verhältnis von 24 zu 7 deutlich häufiger vertreten sind als lokal diskontinuierliche Relationen. Daher wird für den Defaultschluss eines nicht klassifizierten Ortssegmentes angenommen, dass es sich in einer kontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment befindet. Diese Heuristik erreicht im untersuchten Korpus eine Korrektheit von 78.6 %.

5.7.3 Bestimmung lokaler Relationen von Pfadsegmenten

Wurde für ein Pfadsegment keine distal diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt, so muss bestimmt werden, ob dieses Segment in einer kontinuierlichen oder einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment steht. Es gibt mehrere Eigenschaften von Segmenten, welche unterschiedliche lokale Relationen eines Pfadsegmentes implizieren können. Diese Eigenschaften können bei dem gleichen Segment vorkommen. Daher muss durch die Reihenfolge der Regeln festgelegt werden, wie mit solchen Konflikten umgegangen wird. Zunächst werden die verwendeten Regeln vorgestellt, danach wird die Reihenfolge dieser Regeln erläutert:

REGEL P-1: Ist der durch ein Pfadsegment beschriebene Pfad inkompatibel zum letzten im Instruktionsmodell beschriebenen Pfad, so wird eine kontinuierliche Relation ermittelt. Zwei Pfade gelten als inkompatibel im Sinne dieser Regel, wenn sie durch ungleiche, einzigartige Landmarken des Typs **TRACK** spezifiziert sind, wenn ein Pfad durch eine Landmarke der Art **TRACK** und der andere Pfad durch eine Landmarke der Art **Platz** spezifiziert ist oder wenn beide Pfade durch ungleiche Distanzangaben spezifiziert sind.

REGEL P-2: Hat ein Pfadsegment die Eigenschaft „I: Ereignis“, so wird eine stationär diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt.

REGEL P-3: Enthält der Beschreibungsanteil eines Pfadsegmentes den sprachlichen Marker „SP: dann“ oder „SP: und dann“, so wird eine kontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt.

Diese Regel entspricht der Regel O-1 für Ortssegmente, nur dass bei Pfadsegmenten der sprachliche Marker „und“ nicht verwendet wird.

REGEL P-4: Hat ein Pfadsegment die Eigenschaft „I: Distanz, Distanz d “, so wird eine stationär diskontinuierliche Relation ermittelt.

REGEL P-5: Hat ein Pfadsegment die Eigenschaft „I: Restriktion“, so wird eine stationär diskontinuierliche Relation ermittelt.

REGEL P-6: Hat ein Pfadsegment die Eigenschaft „I: vorbei, Landmarke l “, so wird für dieses Segment eine stationär diskontinuierliche Relation ermittelt.

REGEL P-7: Enthält der Beschreibungsanteil eines Pfadsegmentes einen sprachlichen Marker für den Abschluss einer Bewegung „SP: bis“ oder „SP: bis zu“, so wird eine stationär diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt.

REGEL P-8: Enthält der Beschreibungsanteil eines Pfadsegmentes den sprachlichen Marker für stationäre Diskontinuität „SP: immer“, so wird eine stationär diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt.

Begründung der Abfolge der Regeln

Für aufeinander folgende Segmente, welche inkompatible Pfade beschreiben, darf keine stationär diskontinuierliche Relation ermittelt werden, da ansonsten eine Repräsentation eines Pfades der Route im Instruktionsmodell entstehen würde, welche dadurch spezifiziert ist, dass sie auf zwei verschiedenen zweidimensional ausgedehnten Landmarken gleichzeitig liegt. So etwas ist im untersuchten Korpus nicht vorgekommen. Daher wird die Regel P-1 vor allen anderen Regeln angewendet.

Ein Pfadsegment P_1 , welches die Eigenschaft „I: Ereignis“ besitzt, bezieht sich in der Regel auf eine bereits beschriebene Aktion, auch wenn der sprachliche Marker „SP: dann“ in P_1 vorkommt. Das in P_1 repräsentierte Ereignis beendet eine zuvor beschriebene Aktion. Nach [Öztürk 08] sind die Verben „kommen“ und „stoßen“ Vollendungsverben und zeigen im Zusammenhang mit dem Wort „dann“ an, dass eine Aktion beschrieben wird, welche eine zuvor beschriebene Aktion beendet.

Die Beschreibung eines Ereignisses ist daher entscheidend dafür, welche lokale Relation durch das Wort „dann“ impliziert wird. Durch die Anwendung der Regel P-2 werden solche Segmente mit dem sprachlichen Marker „dann“ erkannt, welche in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment stehen. Von den verbleibenden Segmenten mit diesem Marker, welche noch nicht klassifiziert worden sind, kann angenommen werden, dass sie in einer kontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment stehen. Diese Annahme hat sich im untersuchten Korpus als korrekt erwiesen.

Die Regeln P-4 bis P-8 beziehen sich alle auf Eigenschaften, welche stationär diskontinuierliche Relationen zum vorangegangenen Segment implizieren. Daher ist die Reihenfolge dieser Regeln untereinander nicht entscheidend. Wichtig ist, dass diese Regeln erst nach der Regel P-3 angewendet werden, da der sprachliche Marker „dann“ die von den Regeln P-4 bis P-8 genutzten Eigenschaften außer Kraft setzen kann. Dies kann am Beispiel des sprachlichen Markers „immer“ demonstriert werden:

5.7 Ermittlung lokaler Relationen auf Grundlage von Eigenschaften von Segmenten

Regel	Relation	Korrektheit	Anwendung	korrekt klassifiziert
P-1 Inkompatibilität	kontinuierlich	100 %	5	5 (100 %)
P-2 „I: Ereignis“	stationär	100 %	26	26 (100 %)
P-3 „SP: dann“	kontinuierlich	63.2 %	22	22 (100 %)
P-4 „I: Distanz“	stationär	100 %	4	4 (100 %)
P-5 „I: Restriktion“	stationär	100 %	1	1 (100 %)
P-6 „I: vorbei“	stationär	83.3 %	4	4 (100 %)
P-7 „SP: bis“	stationär	78.6 %	2	2 (100 %)
P-8 „SP: immer“	stationär	56.3 %	11	10 (90.9 %)

Tabelle 5.5: Evaluation der Regeln zur Ermittlung lokaler Relationen von Pfadsegmenten

Beispiel für Segment mit sprachlichem Marker „immer“:

„Gehen Sie bis zum Hauptmarkt, immer geradeaus.“

Beispiel für Segment mit den sprachlichen Markern „dann“ und „immer“:

„Gehen Sie bis zum Hauptmarkt und dann immer geradeaus.“

Im ersten Satz bezieht sich die Passage „immer geradeaus“ auf den ersten Teil des Satzes. Somit steht das aus dieser Passage generierte Segment in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment. Im zweiten Satz zeigt der sprachliche Marker „dann“ an, dass die Passage „und dann immer geradeaus“ der ersten beschriebenen Handlung nachgeordnet ist und daher in einer kontinuierlichen Relation zu diesem Segment steht.

Tabelle 5.5 zeigt die Korrektheit der Regeln P-1 bis P-8, die Häufigkeit der Anwendung der Regeln und die Korrektheit der dadurch entstehenden Klassifikationen.

Im untersuchten Korpus können durch die Regeln P-1 bis P-8 69.5 % der noch nicht klassifizierten lokalen Relationen von Pfadsegmenten bestimmt werden. Dabei liegt die Korrektheit der Klassifikation bei 98.9 %. Für die verbleibenden Pfadsegmente muss die lokale Relation über einen Defaultschluss ermittelt werden. Die Analyse der lokalen Relationen im untersuchten Korpus hat ergeben, dass stationär diskontinuierliche Relationen bei Pfadsegmenten mit 75 zu 65 leicht häufiger als kontinuierliche Relationen vorkommen. Für die nicht klassifizierten Pfadsegmente kehrt sich dieses Verhältnis um: 26 der nicht klassifizierten Pfadsegmente stehen in einer kontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment, nur 13 stehen in einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment. Dies wird dadurch erklärt, dass durch das vorgestellte Verfahren stationär diskontinuierliche Relationen besser erkannt werden können als kontinuierliche Relationen. Daher wird für den Defaultschluss eines nicht klassifizierten Pfadsegmentes angenommen, dass es sich in einer kontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment befindet. Diese Heuristik erreicht im untersuchten Korpus eine Korrektheit von 66.7 %.

5.7.4 Beispiel für Ermittlung lokaler Relationen

Die in diesem Kapitel vorgestellten Eigenschaften von Segmenten und die Regeln, welche zur Ermittlung dieser Eigenschaften genutzt werden, sollen an der zu Anfang dieses Kapitels vorgestellten Beispielroutenbeschreibung demonstriert werden. Tabelle 5.6 zeigt noch einmal die Satzanteile der Segmente, in welche die Routenbeschreibung zerlegt worden ist. Bei jedem Segment ist angegeben, ob es einen Pfad oder einen Orientierungspunkt beschreibt, welche Eigenschaften das Segment hat und welche lokale Relation auf Grund welcher Regel oder Bedingung ermittelt wurde.

Bei den Segmenten 5, 6 und 14 konnte eine lokale Relation nicht ermittelt werden. In DIV wird der Defaultschluss gezogen, dass diese Segmente in einer kontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment stehen.

5.7 Ermittlung lokaler Relationen auf Grundlage von Eigenschaften von Segmenten

Seg.	Beschreibungsanteil	Art	Eigenschaften	Regel	lokale Relation
1	Da müßt Ihr da vorgehen erstmal.	Pfad	erstes Segment SP: erstmal		
2	Bis vor den Kaufhof. (...)	Pfad	EM: Kaufhof SP: bis vor	P-7	stationär diskontinuierlich
3	Und dann links runter.	Pfad	SP: dann	P-3	kontinuierlich
4	Vor,	Pfad	-	D-4	distal diskontinuierlich
5	zwischen Kaufhof und Karstadt,	Ort	EM: Kaufhof EM: Karstadt SY: gleicher Satz		Defaultschluss
6	da gehen Sie mal links (...) runter,	Pfad	SY: gleicher Satz		Defaultschluss
7	immer gradaus, ist nicht weit.	Pfad	SP: immer I: Distanz SY: gleicher Satz	P-4	stationär diskontinuierlich
8	Das ist jetzt, es ist, kann man sagen Hauptmarkt,	Ort	EM: Hauptmarkt SP: jetzt	D-2	distal diskontinuierlich
9	dann die Simeonstraße,	Pfad	EM: Simeonstraße SP: dann SY: gleicher Satz	P-3	kontinuierlich
10	immer gradaus. (...)	Pfad	SP: immer SY: gleicher Satz	P-8	stationär diskontinuierlich
11	Über den Hauptmarkt weg,	Pfad	EM: Hauptmarkt	D-4	distal diskontinuierlich
12	dann in die Simeonstraße,	Pfad	EM: Simeonstraße SP: dann SY: gleicher Satz	P-3	kontinuierlich
13	dann ist links (...) der Karstadt, rechts der Kaufhof	Ort	EM: Karstadt EM: Kaufhof SP: dann SP: gleicher Satz	O-1	kontinuierlich
14	und da gehen Sie die Straße runter (...)	Pfad	SY: gleicher Satz		Defaultschluss
15	und da kommen Sie unten auf den Pferdemarkt.	Pfad	EM: Pferdemarkt I: Ziel E: kommen SY: gleicher Satz	P-2	stationär diskontinuierlich

Tabelle 5.6: Beispiel für Eigenschaften und ermittelte lokale Relationen von Segmenten

5 *Diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung*

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

6.1 Einleitung

Wird während des inkrementellen Aufbaus eines zusammenhängenden Instruktionsmodells durch DIV eine distal diskontinuierliche Relation für ein Segment ermittelt, wird ausgehend von diesem Segment ein diskontinuierliches Instruktionsmodell aufgebaut und erst bei Eintreten einer Abbruchbedingung in das initiale Instruktionsmodell integriert. In diesem Kapitel wird die Integration von diskontinuierlichen Instruktionsmodellen in initiale Instruktionsmodelle beschrieben.

Zur Integration von zwei Instruktionsmodellen I_1 und I_2 werden Koreferenzen zwischen Orientierungspunkten und Pfaden, welche in I_1 und I_2 repräsentiert sind, hergestellt. Die Ermittlung der Koreferenzen erfolgt in einem dreistufigen Verfahren. Dabei kann nur ein Pfad des initialen Instruktionsmodells koreferent zu einem Pfad des diskontinuierlichen Instruktionsmodells oder ein Orientierungspunkt des initialen Instruktionsmodells koreferent zu einem Orientierungspunkt des diskontinuierlichen Instruktionsmodells sein. Deuten gefundene Koreferenzen darauf hin, dass beim inkrementellen Aufbau eines Instruktionsmodells in DIV ein Fehler geschehen ist, wird versucht, das fehlerhafte Instruktionsmodell bei der Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle zu modifizieren, um diesen Fehler zu korrigieren.

Enthalten die Instruktionsmodelle Beschreibungen gleicher Orientierungspunkte oder Pfade der Route und kann dies bei der Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle erkannt werden, so kann ein zusammenhängendes Instruktionsmodell geschaffen werden. Koreferenzen werden genutzt, um Knoten der CRIL-Netze, welche die räumliche Information der beiden Instruktionsmodelle repräsentieren, miteinander zu identifizieren. Das zusammenhängende Instruktionsmodell kann dann in der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung als neues initiales Instruktionsmodell genutzt werden. Weitere Segmente und diskontinuierliche Instruktionsmodelle können in das neue initiale Instruktionsmodell integriert werden, bis alle aus der Routenbeschreibung extrahierten Segmente verarbeitet worden sind.

6.2 Grundlagen der Integration

Entscheidungspunkte sind Orte auf einer Route, an denen der Navigierende die Möglichkeit hat, zwischen verschiedenen wahrgenommenen Pfaden, zu wählen. Die Anzahl mögli-

cher Entscheidungspunkte entlang einer Route ist begrenzt. Nach [Klippel et al. 03] (Abschnitt 2.3.2), werden nicht alle Entscheidungspunkte entlang der Route als Orientierungspunkte innerhalb einer Routenbeschreibung verwendet, das heißt, nicht alle Entscheidungspunkte werden als Start- oder Endpunkte von Pfaden genutzt. Werden ein oder mehrere Entscheidungspunkte in einer Routenbeschreibung nicht erwähnt, wird dies nach [Klippel et al. 03] als räumliches Chunking bezeichnet. Entscheidungspunkte werden vor allem dann in Routenbeschreibungen nicht erwähnt, wenn an diesen Entscheidungspunkten kein Richtungswechsel stattfindet.

Der Instruierende kann in einer Routenbeschreibung die beschriebenen Orientierungspunkte frei wählen. Die hierarchische Strukturierung einer Route als eine Folge von Pfaden, welche durch Orientierungspunkte verbunden sind, spiegelt nach dem Generierungsmodell von Denis [Denis 97] (Abschnitt 2.3.1) die Organisation des räumlichen Wissens des Instruierenden wider. In Kapitel 2 wurde die Theorie vorgestellt, dass sich der Zugriff auf relevantes räumliches Wissen im Verlauf einer Routenbeschreibung verbessert. Dadurch können mehr räumliche Informationen verfügbar werden. Die Beschreibung gleicher oder ähnlicher Mengen von Orientierungspunkten in den Wiederholungen des untersuchten Korpus sprechen dafür, dass auch durch bessere Abrufbarkeit räumlicher Informationen keine grundsätzliche Umstrukturierung des räumlichen Wissens stattfindet.

Die begrenzte Anzahl von Entscheidungspunkten entlang einer Route, die Konvention Entscheidungspunkte mit Richtungswechsel als Orientierungspunkte zu verwenden [Klippel et al. 03] und die grundsätzlich gleichbleibende Struktur des räumlichen Wissens, auf dessen Grundlage eine Routenbeschreibung generiert wird, sprechen dafür, dass bei einer Wiederholung innerhalb einer Routenbeschreibung keine völlig anderen Orientierungspunkte verwendet werden, als in der vorangegangenen Beschreibung des gleichen Teils der Route. Da bei der Verarbeitung von Routenbeschreibungen in DIV davon ausgegangen wird, dass die Routenbeschreibungen frei von Alternativen sind, gilt, dass analog zur Verwendung gleicher Orientierungspunkte in Wiederholungen auch gleiche Pfade zwischen den Orientierungspunkten beschrieben werden.

Diese Annahme über die Verwendung gleicher Orientierungspunkte und Pfade in Wiederholungen wird durch die Untersuchung am Korpus gestützt. Von den 32 Wiederholungen, welche nicht auf lokaler Ebene integriert werden können, für die also ein diskontinuierliches Instruktionmodell aufgebaut wird, werden in 18 (56.2 %) nur Orientierungspunkte und Pfade erwähnt, welche auch im initialen Instruktionsmodell vorkommen. In 4 (12.5 %) der nicht lokalen integrierbaren Wiederholungen kommt es vor, dass ein neuer Orientierungspunkt zwischen zwei bereits beschriebenen Orientierungspunkten erwähnt wird. In 3 (9.4 %) der Wiederholungen wird ein bereits beschriebener Orientierungspunkt zwischen anderen Orientierungspunkten weggelassen. In 7 (21.9 %) nicht lokalen integrierbaren Wiederholungen werden andere Orientierungspunkte und Pfade als zuvor beschrieben.

Abbildung 6.1 zeigt die Strukturierung eines Teils einer Route in einer Wegbeschreibung und mögliche Veränderungen dieser Strukturierung durch Hinzufügen oder Weglassen

Eigenschaft des distalen Instrukti- onsmodells	Anzahl
beschreibt nur Pfade und Orientie- rungspunkte, welche auch im initia- len Instruktiionsmodell vorkommen	34 (65.4 %)
fügt Orientierungspunkt zwischen zwei Orientierungspunkten des in- itiales Instruktiionsmodells ein	8 (15.4 %)
lässt Orientierungspunkt zwischen zwei Orientierungspunkten des in- itiales Instruktiionsmodells weg	3 (5.8 %)
Repräsentation anderer Orientie- rungspunkte und Pfade als im initia- len Instruktiionsmodell	7 (13.5 %)

Tabelle 6.1: Verteilung der Repräsentation gleicher oder verschiedener Pfade und Orientierungspunkte in distalen Instruktiionsmodellen

von Orientierungspunkten oder aber die Wahl neuer Orientierungspunkte.

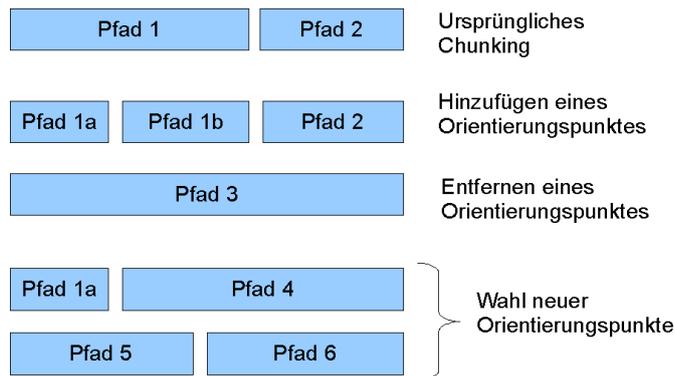


Abbildung 6.1: Mögliche Orientierungspunkte von Wiederholungen

Für die Integration von distalen Instruktiionsmodellen müssen aber nicht nur solche distalen Instruktiionsmodelle betrachtet werden, welche durch eine korrekt klassifizierte distal diskontinuierliche Relation entstanden sind, sondern auch solche distalen Instruktiionsmodelle, welche durch eine falsch positive Klassifikation der lokalen Relation als distal diskontinuierlich entstanden sind. Tabelle 6.1 zeigt die Verteilung der Repräsentation gleicher oder verschiedener Pfade und Orientierungspunkte in distalen Instruktiionsmodellen im Vergleich zum initialen Instruktiionsmodell.

Für die Integration von Instruktiionsmodellen wird auf Grund dieser Befunde die Annahme getroffen, dass in diskontinuierlichen Instruktiionsmodellen zum Großteil gleiche Orientierungspunkte und Pfade repräsentiert werden wie im initialen Instruktiionsmodell.

Daher wird bei der Integration von zwei Instruktionsmodellen versucht, Koreferenzen zwischen je zwei beschriebenen Orientierungspunkten oder zwei beschriebenen Pfaden herzustellen. Darüber hinaus erlaubt diese Annahme, ausgehend von bereits gefundenen Koreferenzen, weitere Koreferenzen auf Grund der Struktur der repräsentierten Teile der Route herzustellen, dies ist im Abschnitt 6.6 beschrieben.

6.3 Distale Relationen zwischen Instruktionsmodellen und mögliche Integration

Instruktionsmodelle repräsentieren Teile von Routen. Routen bestehen aus einer zusammenhängenden linearen Folge von Pfaden mit Start- und Endpunkten. Dort, wo der Endpunkt eines Pfades auf den Startpunkt des nächsten Pfades trifft, liegt ein Orientierungspunkt. Genau wie ein einzelnes Segment einem Orientierungspunkt der Route oder einem Pfad mit Start- und Endpunkten der Route zugeordnet werden kann, so kann auch der durch ein Instruktionsmodell repräsentierte Teil einer Route einem Orientierungspunkt der Route oder einer zusammenhängenden Folge von Pfaden mit dazugehörigen Start- und Endpunkten der Route zugeordnet werden. Teile von Routen werden einander zugeordnet, indem Koreferenzen zwischen zwei Pfaden oder zwei Orientierungspunkten hergestellt werden. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels ist beschrieben, wie sich diese Koreferenzen ermitteln lassen.

Die durch die Instruktionsmodelle repräsentierten Teile der Route können in verschiedenen Relationen zueinander stehen. Die repräsentierten Teile der Route können sich teilweise oder vollkommen überlappen, sich berühren oder gänzlich unzusammenhängend sein. Relationen zwischen den beschriebenen Teilen der Route werden genutzt, um die Relationen zwischen den Instruktionsmodellen festzulegen, welche diese Teile der Route beschreiben. Relationen zwischen Instruktionsmodellen werden distale Relationen genannt. Distale Relationen werden genutzt, um die Beziehung zwischen einem initialen Instruktionsmodell und einem diskontinuierlichen Instruktionsmodell zu beschreiben.

6.3.1 Distale Relationen

Allen stellt in [Allen 83] Relationen zur Modellierung von Beziehungen zwischen zeitlichen Intervallen vor. Diese Relationen können genutzt werden, um die Beziehung zwischen gleichgerichteten, eindimensionalen räumlichen Strukturen zu repräsentieren. Da Routen in dieser Arbeit als lineare zusammenhängende Folgen von Pfaden mit Start- und Endpunkten modelliert werden, können die Relationen des Allen-Kalküls genutzt werden, um Relationen zwischen Instruktionsmodellen zu beschreiben. Die Relationen des Allen-Kalküls bilden somit das Inventar distaler Relationen zwischen einem initialen Instruktionsmodell und einem diskontinuierlichen Instruktionsmodell.

Genau wie Zeit linear voranschreitet und sich (zumindest nach dem Modell von Allen) nicht verzweigen kann, so geht auch der Verlauf der Route linear voran. Verzweigungen

6.3 Distale Relationen zwischen Instruktionsmodellen und mögliche Integration

Englisch	Deutsch	Symbol	Invers
A before B	A vor B	<	>
A meets B	A trifft B	m	mi
A overlaps B	A überlappt B	o	oi
A starts B	A startet B	s	si
A during B	A während B	d	di
A finishes B	A beendet B	f	fi
A equals B	A gleich B	=	

Tabelle 6.2: Zeitliche Relationen zwischen zwei zeitlichen Intervallen A und B nach Allen

von beschriebenen Routen sind nur möglich, wenn Alternativen beschrieben werden (siehe Abschnitt 3.2.2). Im Rahmen von DIV werden Diskontinuitäten der Art Alternative jedoch nicht behandelt. Es wird vorausgesetzt, dass die zu verarbeitenden Routenbeschreibungen frei von Alternativen sind. Daher können sich Instruktionsmodelle, welche aus der gleichen Routenbeschreibung extrahiert worden sind, nur in die gleiche Dimension erstrecken.

Tabelle 6.2 zeigt die 13 von Allen definierten Relationen, welche zwischen zwei zeitlichen Intervallen A und B bestehen können.

Distale Relationen zwischen Instruktionsmodellen werden in DIV durch die Ermittlung von Koreferenzen bestimmt, dies ist in Abschnitt 6.4 und folgenden beschrieben.

Integrationsmöglichkeiten

Je nach Art der distalen Relation, welche zwischen einem diskontinuierlichen und einem initialen Instruktionsmodell besteht, kann es möglich sein, die beiden Instruktionsmodelle zu einem gemeinsamen, zusammenhängenden Instruktionsmodell zu integrieren. Es können folgende drei Fälle unterschieden werden: Nicht integrierbare Instruktionsmodelle, Integration ohne Überschneidung von Pfaden und Integration mit Überschneidung von Pfaden.

Es ist zu beachten, dass das initiale Instruktionsmodell stets am Startpunkt der Route beginnt. Daher ist es nicht möglich, dass ein initiales Instruktionsmodell A zu einem diskontinuierlichen Instruktionsmodell B so in einer distalen Relation steht, dass der Beginn des integrierten Instruktionsmodells nicht gleichzeitig der Beginn des initialen Instruktionsmodells A ist. Tabelle 6.3 zeigt die zulässigen und die unzulässigen distalen Relationen zwischen einem initialen Instruktionsmodell A und einem diskontinuierlichen Instruktionsmodell B. Abbildung 6.2 stellt die möglichen integrierten Routenrepräsentationen in Abhängigkeit der distalen Relationen dar.

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Integration	zulässige distale Relationen	unzulässige distale Relationen
nicht integrierbar	$A < B$	$A > B$
Integration ohne Überlappung von Pfaden	$A m B$	$A mi B$
Integration mit Überlappung von Pfaden	$A o B$	$A oi B$
Integration mit Überlappung von Pfaden	$A s B$	
Integration mit Überlappung von Pfaden	$A si B$	
Integration mit Überlappung von Pfaden	$A di B$	$A d B$
Integration mit Überlappung von Pfaden	$A fi B$	$A f B$
Integration mit Überlappung von Pfaden	$A = B$	

Tabelle 6.3: Zulässige und unzulässige distale Relationen zwischen einem initialen Instruktionsmodell A und einem initialen Instruktionsmodell B

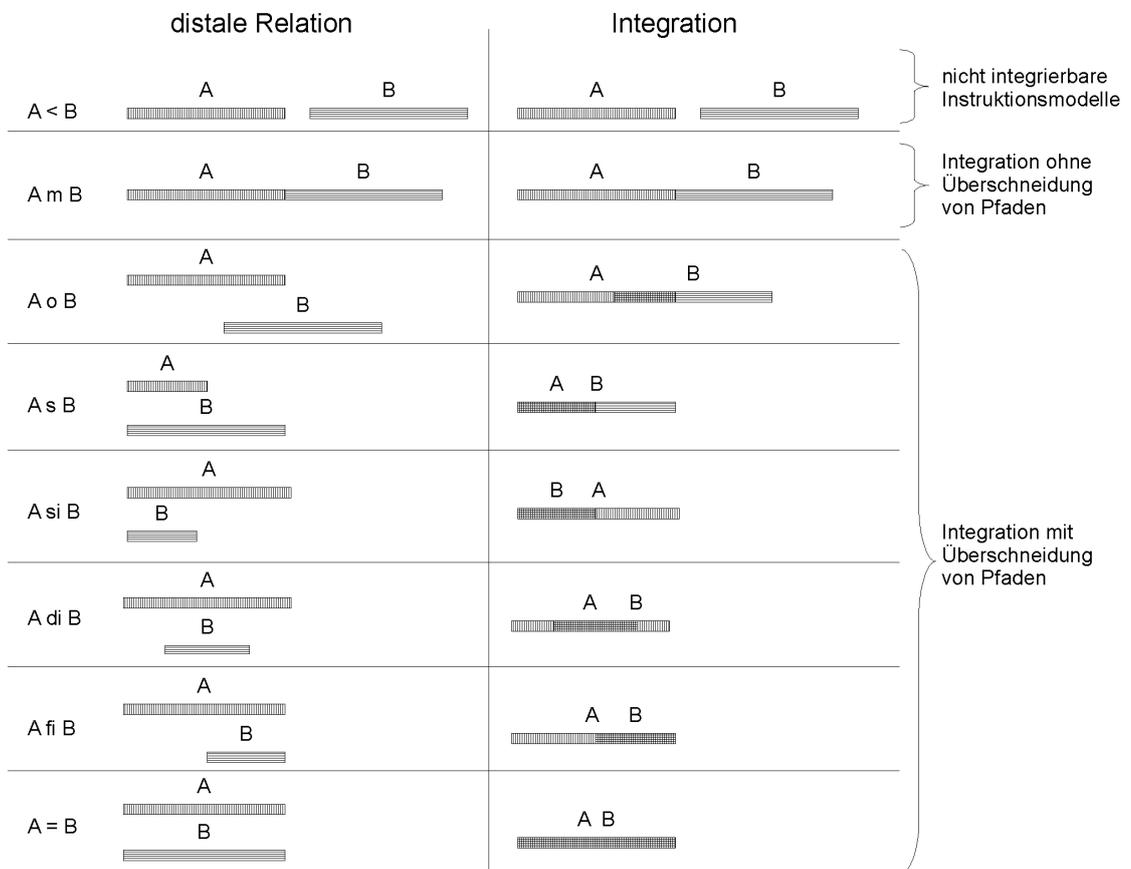


Abbildung 6.2: Distale Relationen zwischen initialem Instruktionsmodell A und diskontinuierlichem Instruktionsmodell B, mögliche Integrationen der Instruktionsmodelle

Nicht integrierbare Instruktionsmodelle

Steht ein initiales Instruktionsmodell A und ein diskontinuierliches Instruktionsmodell B in der distalen Relation $A < B$, so ist es nicht möglich, ein zusammenhängendes Instruktionsmodell aus diesen beiden Instruktionsmodellen zu generieren. Die Integration des diskontinuierlichen Instruktionsmodells schlägt in diesem Fall fehl. Das initiale Instruktionsmodell A wird als neues initiales Instruktionsmodell für den weiteren Aufbau des Instruktionsmodells durch DIV verwendet. Das nicht integrierte diskontinuierliche Instruktionsmodell B wird als „ungebunden“ bezeichnet. In der Finalisierungsphase von DIV wird noch einmal versucht, ungebundene Instruktionsmodelle zu integrieren. Dieses Vorgehen setzt auf die Möglichkeit, dass durch die Integration weiterer diskontinuierlicher Instruktionsmodelle die Lücke zwischen den Instruktionsmodellen A und B geschlossen werden kann.

Integration ohne Überschneidung von Pfaden

Stehen ein initiales Instruktionsmodell A und ein diskontinuierliches Instruktionsmodell B in der distalen Relation $A \text{ m } B$, so beschreibt der letzte in A repräsentierte Orientierungspunkt und der erste in B repräsentierte Orientierungspunkt den gleichen Orientierungspunkt der Route.

Durch Identifikation der sich berührenden Orientierungspunkte in den CRIL-Netzen, welche die räumliche Information der initialen Instruktionsmodelle repräsentieren, kann ein zusammenhängendes integriertes Instruktionsmodell erstellt werden. Dieses integrierte Modell wird nun als neues initiales Instruktionsmodell verwendet. Es ist anzumerken, dass in diesem Fall ein Fehler bei der Ermittlung der distalen lokalen Relation, welche zur Bildung des diskontinuierlichen Instruktionsmodells geführt hat, gemacht wurde. Richtig wäre es gewesen, eine kontinuierliche lokale Relation an Stelle der distal diskontinuierlichen Relation zu ermitteln. Die Integration ohne Überschneidung ist eine Korrekturmaßnahme für eine positiv falsche Klassifikation der lokalen Relation eines Segmentes als distal diskontinuierlich.

Integration mit Überschneidung von Pfaden

Bei allen anderen Relationen, bei denen es zu einer teilweisen oder vollkommenen Überschneidung der repräsentierten Teile der Route kommt, müssen die Pfade und Orientierungspunkte, welche Teil dieser Überschneidung sind, zu einem gemeinsamen Modell integriert werden. Dies geschieht durch Ermittlung von Koreferenzen. Das Verfahren zum Ermitteln dieser Koreferenzen ist weiter unten beschrieben. Ist der Bereich der Überschneidung erst integriert, entsteht genau wie bei der Integration ohne Überschneidung von Pfaden, ein zusammenhängendes Instruktionsmodell, welches als neues initiales Instruktionsmodell verwendet werden kann.

6.4 Überblick über das Integrationsverfahren

Initiales Instruktionsmodell I_I und diskontinuierliches Instruktionsmodell I_D repräsentieren eine lineare Folge von Pfaden mit ihren Start- und Endpunkten oder aber einen einzelnen Orientierungspunkt. Zur Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle in ein initiales Instruktionsmodell werden Koreferenzen zwischen einem in I_I repräsentierten Orientierungspunkt und einem in I_D repräsentierten Orientierungspunkt oder zwischen einem in I_I repräsentierten Pfad und einem in I_D repräsentierten Pfad hergestellt. Die Repräsentationen von zwei Pfaden oder zwei Orientierungspunkten sind koreferent, wenn sie sich auf den gleichen Teil der Route beziehen.

Koreferenzen werden in einem dreistufigen Verfahren ermittelt. In der ersten Stufe des Verfahrens werden einzigartige Landmarken und die speziellen Regionen START und ZIEL genutzt, um Koreferenzen herzustellen. Diese Koreferenzen werden „Landmarken-Koreferenzen“ genannt. Nach diesem Schritt kann ermittelt werden, ob die Instruktionsmodelle integrierbar sind und ob es zu einer Integration mit Überschneidung von Pfaden kommt.

In der zweiten Stufe des Verfahrens wird in der lokalen Umgebung von Landmarken-Koreferenzen nach Ähnlichkeiten in der Beschreibung von Pfaden und Orientierungspunkten gesucht. Zwei Beschreibungen sind ähnlich, wenn sie möglicherweise auf mehrere Pfade oder Orientierungspunkte einer Route zutreffen können, aber in der Regel nur eine Teilmenge der Pfade oder Orientierungspunkte einer Route beschreiben. Die so ermittelten Koreferenzen werden „Ähnlichkeits-Koreferenzen“ genannt.

In der dritten Stufe des Verfahrens wird die Struktur der Instruktionsmodelle genutzt, um Koreferenzen herzustellen. Diese Koreferenzen werden „Struktur-Koreferenzen“ genannt. Die Herstellung von Struktur-Koreferenzen basiert auf der in Abschnitt 1.2 begründeten Annahme, dass zur Repräsentation gleicher Teile der Route in diskontinuierlichen Instruktionsmodellen die gleichen Orientierungspunkte und Pfade genutzt werden, wie in initialen Instruktionsmodellen.

Die Relationen LANDMARKEN-KOREFERENZ, ÄHNLICHKEITS-KOREFERENZ und STRUKTUR-KOREFERENZ werden eingeführt, um Knoten von CRIL-Netzen zu verbinden, von denen ermittelt wurde, dass sie gleiche Orientierungspunkte oder gleiche Pfade beschreiben. Ist ein Knoten N_1 durch eine der drei Koreferenz-Relationen mit einem anderen Knoten N_2 verbunden, so gelten auch alle Knoten, welche mit N_1 über die Relationen IDENTIFIKATION oder DEFAULT-IDENTIFIKATION verbunden sind, als koreferent zu N_2 .

Sind diese drei Verarbeitungsschritte abgeschlossen, können die gefundenen Koreferenzen genutzt werden, um die koreferenten Pfade und Orientierungspunkte der Instruktionsmodelle miteinander zu identifizieren. Dazu werden alle Koreferenzrelationen in Relationen der Art IDENTIFIKATION umgewandelt. Koreferente Knoten werden bei der Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle nicht gleich miteinander identifiziert, damit während des Integrationsverfahrens stets erkennbar ist, zu welchem Instruktionsmodell ein Knoten gehört. Durch die Umwandlung von Koreferenzen in Identifikationen entsteht

ein integriertes Instruktionsmodell, welches als neues initiales Instruktionsmodell für die weitere Verarbeitung einer Routenbeschreibung durch DIV genutzt werden kann.

6.5 Koreferenzen auf Grundlage von einzigartigen Landmarken

Die Ermittlung von Landmarken-Koreferenzen zwischen zwei Pfaden oder zwei Orientierungspunkten, welche in unterschiedlichen Instruktionsmodellen repräsentiert werden, stellt den ersten Schritt in der Herstellung von Koreferenzen dar. Landmarken-Koreferenzen werden zwischen zwei repräsentierten Pfaden oder zwei repräsentierten Orientierungspunkten hergestellt, welche durch räumliche Relationen so spezifiziert sind, dass anzunehmen ist, dass der gleiche Pfad oder Orientierungspunkt der Route beschrieben ist.

Beschreibungen von Orientierungspunkten oder Pfaden können sehr ähnlich sein und sich trotzdem nicht auf den gleichen Pfad oder Orientierungspunkt der Route beziehen. So können zum Beispiel zwei Pfade dadurch beschrieben sein, dass sie im Referenzsystem des Navigierenden links liegen. Diese beiden Beschreibungen müssen sich nicht auf denselben Pfad der Route beziehen, denn es ist möglich, dass der Navigierende mehrfach nach links abbiegen muss, wenn er eine beschriebene Route traversiert.

Zur Herstellung von sicheren Koreferenzen muss ein stärkeres Kriterium als eine ähnliche Beschreibung genutzt werden. Das Konzept der einzigartigen Landmarke wurde bereits in Kapitel 5 eingeführt. Einzigartige Landmarken kommen nach der in Abschnitt 5.5.1 gegebenen Definition nur ein einziges Mal entlang der beschriebenen Route vor. Zur Ermittlung von Landmarken-Koreferenzen wird die Annahme getroffen, dass diese Landmarken in den verarbeiteten Routenbeschreibungen verwendet werden, um stets den gleichen Pfad oder Orientierungspunkt zu beschreiben, sofern die Landmarke in einer kompatiblen räumlichen Relation zu dem beschriebenen Pfad oder Orientierungspunkt stehen. Diese Annahme muss nicht in allen Fällen zutreffen, so könnten in einer Routenbeschreibung zum Beispiel verschiedene Orientierungspunkte mit den Relationen **VOR** einer einzigartigen Landmarke und **AN** dieser Landmarke beschrieben werden. Im untersuchten Korpus trifft die Annahme, dass durch gleiche einzigartige Landmarken in kompatibler Relation beschriebene Pfade oder Orientierungspunkte koreferent sind, jedoch in fast allen Fällen zu.

Landmarken-Koreferenzen sind der Ausgangspunkt zur Integration von diskontinuierlichen Instruktionsmodellen in initiale Instruktionsmodelle, da ausgehend von gefundenen Landmarken-Koreferenzen weitere Koreferenzen hergestellt werden. Ist es nicht möglich, Landmarken-Koreferenzen zwischen zwei Instruktionsmodellen herzustellen, ist es auch nicht möglich, diese ineinander zu integrieren.

Korpusanalyse zur Integration durch Landmarken-Koreferenzen

Für 82.7 % der diskontinuierlichen Instruktionsmodelle des untersuchten Korpus kann mindestens eine Landmarken-Koreferenz hergestellt werden. Es ist zu beachten, dass sol-

che diskontinuierlichen Instruktionsmodelle, bei denen es nicht möglich ist, eine Landmarken-Koreferenz herzustellen, mit durchschnittlich 1.3 Segmenten pro diskontinuierlichem Instruktionsmodell, in der Regel weniger Segmente umfassen, als solche, bei denen die Herstellung einer Landmarken-Koreferenz möglich ist. Letzt genannte Instruktionsmodelle umfassen im Durchschnitt 2.7 Segmente. Betrachtet man die Menge aller Segmente, welche in diskontinuierlichen Instruktionsmodellen des untersuchten Korpus vorkommen, und setzt voraus, dass zur Integration eines diskontinuierlichen Instruktionsmodells mindestens eine Landmarken-Koreferenz notwendig ist, so können 90.5 % dieser Segmente in das initiale Instruktionsmodell integriert werden.

6.5.1 Verfahren zur Ermittlung von Landmarken-Koreferenzen

Für jeden im diskontinuierlichen Instruktionsmodell repräsentierten Pfad oder Orientierungspunkt wird überprüft, ob dieser in einer räumlichen Relation zu einer einzigartigen Landmarke steht oder aber in einer Region liegt, die durch eine einzigartige Landmarke spezifiziert ist.¹

Trifft diese Bedingung zu, wird geprüft, ob es einen Knoten im initialen Instruktionsmodell gibt, zu welchem nach einer der drei im Folgenden beschriebenen Bedingungen eine Landmarken-Koreferenz gebildet werden kann. Trifft eine dieser Bedingungen zu, so wird eine „Übereinstimmung in der Beschreibung durch eine einzigartige Landmarke“ zwischen diesen beiden Knoten festgestellt. Es ist zu beachten, dass Knoten, welche transitiv durch die Relation IDENTIFIKATION oder DEFAULT-IDENTIFIKATION verbunden sind, einen einzigen Pfad oder Orientierungspunkt repräsentieren.

Bedingung für Landmarken-Koreferenz 1 Beide Knoten repräsentieren Orientierungspunkte und beide repräsentierten Orientierungspunkte liegen in der speziellen Region START oder beide repräsentierten Orientierungspunkte liegen in der speziellen Region ZIEL.

Bedingung für Landmarken-Koreferenz 2 Beide Knoten repräsentieren Orientierungspunkte oder beide Knoten repräsentieren Pfade und stehen in einer kompatiblen räumlichen Relation zur gleichen einzigartigen Landmarke. Kompatibel sind zwei räumliche Relationen, wenn sie einander nicht ausschließen. So wird zum Beispiel in einer Routenbeschreibung des Korpus beschrieben, dass man vor (FRONT) einer Landmarke steht, in der Wiederholung befindet man sich allerdings an (AT) dieser Landmarke. Die räumlichen Relationen FRONT und AT sind kompatibel. Ein Beispiel für zwei inkompatible räumliche Relationen sind links (LEFT) und rechts (RIGHT). Es ist nicht möglich, gleichzeitig links und rechts von der gleichen Landmarke zu stehen. Tabelle 6.4 zeigt die im GA verwendeten räumlichen Relationen zwischen einem Objekt wie einem Pfad oder einem Orientierungspunkt und einer Landmarke. Tabelle 6.5 zeigt die Kompatibilität dieser Relationen zueinander.

¹Der Vergleich der Instruktionsmodelle findet in dieser Richtung statt, da die diskontinuierlichen Instruktionsmodelle in der Regel im untersuchten Korpus kleiner waren, als die initialen Instruktionsmodelle.

6.5 Koreferenzen auf Grundlage von einzigartigen Landmarken

Name in CRIL	Beschreibung
LEFT	Objekt ist links von Landmarke
RIGHT	Objekt ist rechts von Landmarke
FRONT	Objekt ist vor Landmarke
REAR	Objekt ist hinter Landmarke
BETWEEN	Objekt ist zwischen Landmarke 1 und Landmarke 2
AT	Objekt ist an Landmarke
IN	Objekt ist in Landmarke
ON	Objekt ist auf Landmarke
ALONG	Pfad führt entlang einer Landmarke

Tabelle 6.4: Räumliche Relationen in CRIL

	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	BETWEEN	AT	IN	ON	ALONG
LEFT	ja	nein	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein
RIGHT	nein	ja	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein
FRONT	nein	nein	ja	nein	ja	ja	nein	nein	nein
REAR	nein	nein	nein	ja	ja	ja	nein	nein	nein
BETWEEN	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein
AT	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein
IN	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein
ON	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja
ALONG	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja

Tabelle 6.5: Kompatibilität von räumlichen Relationen in CRIL

Bedingung für Landmarken-Koreferenz 3 Sind ein Pfad P_1 und ein Orientierungspunkt O_1 durch die gleiche einzigartige Landmarke L_1 beschrieben, so hängt es ebenfalls von der räumlichen Relationen zu dieser Landmarke ab, ob und wie Landmarken-Koreferenzen hergestellt werden können. Liegt ein Pfad in einer Region (räumliche Relation **ON**), welche durch L_1 spezifiziert ist oder führt entlang eines Tracks L_1 (räumliche Relation **ALONG**), so kann eine Landmarken-Koreferenz zwischen dem Startpunkt des Pfades P_1 und dem Orientierungspunkt O_1 hergestellt werden, wenn der Orientierungspunkt O_1 in einer der räumlichen Relationen **LEFT**, **RIGHT**, **FRONT** oder **AT** zu der Landmarke L_1 steht. Steht O_1 in der räumlichen Relation **REAR** zu der Landmarke L_1 so kann eine Landmarken-Koreferenz zum Endpunkt des Pfades P_1 hergestellt werden.

Diese Regelung basiert auf der Beobachtung im Korpus, dass Tracks oder Plätze, welche zu traversieren sind, zur Beschreibung von Orientierungspunkten genutzt werden, welche unmittelbar vor einem Pfad liegen, der über den Platz oder entlang des Tracks führt.

Beispiel für Landmarken-Koreferenz auf Grundlage der Spezifikation eines Pfades und eines Orientierungspunktes:

Beschreibungsanteil eines Pfadsegmentes A: „*Sie kommen an eine Kreuzung.*“

Beschreibungsanteil eines Pfadsegmentes B: „*Gehen Sie über die Kreuzung.*“

Pfadsegment A repräsentiert einen Pfad, dessen Endpunkt als an (**AT**) der Landmarke „Kreuzung“ spezifiziert ist. Pfadsegment B repräsentiert einen Pfad, welcher über die Kreuzung führt und somit auf (**ON**) der Landmarke „Kreuzung“ liegt. Bildet A ein initiales Instruktionsmodell und B ein distales Instruktionsmodell, so kann nach der Bedingung für Landmarken-Koreferenz 3 eine Landmarken-Koreferenz zwischen dem Endpunkt des durch Pfadsegment A repräsentierten Pfades, und dem Startpunkt des durch Pfadsegment B spezifizierten Pfades hergestellt werden.

Es ist zu beachten, dass Koreferenzen sich nicht überkreuzen dürfen: Ist ein Knoten N_{A1} des initialen Instruktionsmodells A koreferent zu einem Knoten N_{B1} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells, so darf ein Knoten N_{A2} , welcher in der Folge der Pfade und Orientierungspunkte hinter N_{A1} liegt, nur zu einem Knoten N_{B2} koreferent sein, welcher in der Folge der Pfade und Orientierungspunkte hinter N_{B1} liegt. Gibt es eine Übereinstimmung in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken zwischen Knoten, welche diese Bedingung verletzt, so deutet dies auf einen Fehler im Aufbau eines der Instruktionsmodelle hin. Im untersuchten Korpus wurden Landmarken in einem kontinuierlichen Abschnitt der Routenbeschreibung stets in der Reihenfolge genannt, in der sie im Verlauf der Route auftreten. Daher besteht der Fehler in einer nicht erkannten distal diskontinuierlichen Relation beim Aufbau eines der Instruktionsmodelle. Dieser Fehler kann sowohl beim Aufbau des initialen als auch des diskontinuierlichen Instruktionsmodells geschehen sein.

Beispiel für nicht erkannte distal diskontinuierliche Relation im initialen Instruktionsmodell:

Teil der Routenbeschreibung, aus welcher das initiale Instruktionsmodell generiert wurde: „An der Post vorbei. Über die Kreuzung.“

Teil der Routenbeschreibung, aus welcher das diskontinuierliche Instruktionsmodell generiert wurde: „Also Sie überqueren die Kreuzung und dann an der Post vorbei.“

Beispiel für nicht erkannte distal diskontinuierliche Relation im diskontinuierlichen Instruktionsmodell:

Teil der Routenbeschreibung, aus welcher das initiale Instruktionsmodell generiert wurde: „Über die Kreuzung rüber und dann an der Post vorbei.“

Teil der Routenbeschreibung, aus welcher das diskontinuierliche Instruktionsmodell generiert wurde: „Also an der Post vorbei. Da über die Kreuzung rüber.“

Eine mögliche Strategie zur Korrektur dieser Fehler ist Backtracking. Der inkrementelle Aufbau der Instruktionsmodelle muss noch einmal überprüft werden, da bei der Bestimmung der lokalen Relation mindestens eines Segmentes, für welches keine distal diskontinuierliche Relation zum vorangegangenen Segment ermittelt wurde, ein Fehler geschehen ist. Durch Defaultschlüsse bestimmte kontinuierliche Relationen zwischen Segmenten sind gute Kandidaten für fehlerhaft bestimmte lokale Relationen. Wurde eines der Instruktionsmodelle durch ein Segment aufgebaut, dessen kontinuierliche Relation durch einen Defaultschluss ermittelt wurde, kann eine Überkreuzung von Übereinstimmungen in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken als eine Evidenz gegen diesen Defaultschluss angesehen werden. Es kann versucht werden, ein zusammenhängendes Instruktionsmodell aufzubauen, in dem der Defaultschluss korrigiert wird, indem die kontinuierliche Relation durch eine distal diskontinuierliche Relation ersetzt wird. Gibt es mehr als ein Segment, dessen lokale Relation durch einen Defaultschluss ermittelt wurde, kann nach dem Prinzip des Backtrackings versucht werden, verschiedene, per Defaultschluss ermittelte kontinuierliche Relationen durch distal diskontinuierliche Relationen zu ersetzen, bis eine fehlerfreie Herstellung von Landmarken-Koreferenzen möglich ist. Da im untersuchten Korpus keine Überkreuzungen von Übereinstimmungen in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken vorkommen, kann diese Strategie im Rahmen dieser Arbeit nicht getestet werden.

Sind die Übereinstimmungen in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken ermittelt und ist sichergestellt, dass diese nicht zu überkreuzenden Koreferenzen führen, können Landmarken-Koreferenzen hergestellt werden. Dabei werden zwei Fälle unterschieden:

Übereinstimmung in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken zwischen zwei Knoten, die Pfade beschreiben

Wurde eine Übereinstimmung in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken zwischen zwei Pfaden gefunden, so werden die beiden Knoten, welche diese Pfade repräsentieren, durch die Relation LANDMARKEN-KOREFERENZ verbunden. Beschreiben zwei Pfadknoten denselben Pfad, so kann geschlossen werden, dass die Start- und Endpunkte der Pfade jeweils dieselben Orientierungspunkte der Route beschreiben. Daher werden

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

die Start- und Endpunkte der beiden koreferenten Pfade ebenfalls mit der Relation LANDMARKEN-KOREFERENZ verbunden.

Beispiel für Übereinstimmungen in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken zwischen Pfaden:

Erstvorkommen: „Gehen Sie die Brückenstraße runter.“

Wiederholung: „Brückenstraße.“

Bei der Wiederholung liegt eine Ellipse vor. Der Satz wird im Rahmen der Verarbeitung als „Nehmen Sie die Brückenstraße.“ aufgefasst.

Übereinstimmung in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken zwischen zwei Knoten, die Orientierungspunkte beschreiben

Wurde eine Übereinstimmung in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken zwischen zwei Knoten gefunden, welche Orientierungspunkte beschreiben, so werden diese Knoten durch die Relation LANDMARKEN-KOREFERENZ miteinander verbunden.

Beispiel für Übereinstimmung in der Beschreibung durch einzigartige Landmarken von Orientierungspunkten:

Erstvorkommen: „Links ist ein Karstadt.“

Wiederholung: „Zwischen Karstadt und Kaufhof.“

6.5.2 Bestimmung distaler Relationen auf Grundlage von sicheren Koreferenzen

Sind die Landmarken-Koreferenzen zwischen zwei Instruktionsmodellen ermittelt worden, so kann unterschieden werden, ob die beiden Instruktionsmodelle sich treffen, überlappen oder nicht zusammenhängen.

Unzusammenhängende Instruktionsmodelle

Gibt es keine Landmarken-Koreferenz zwischen einem initialen Instruktionsmodell A und einem diskontinuierlichen Instruktionsmodell B, so wird geschlossen, dass diese Instruktionsmodelle in der Relation $A < B$ stehen. Dieser Schluss muss nicht korrekt sein, da es sein kann, dass Koreferenzen nicht erkannt worden sind. Es können nur solche Instruktionsmodelle ineinander integriert werden, zwischen denen Landmarken-Koreferenzen hergestellt werden können. Gibt es zwischen dem initialen und dem diskontinuierlichen Instruktionsmodell nicht mindestens eine Landmarken-Koreferenz, so ist eine Integration der beiden Modelle nicht möglich. Das initiale Instruktionsmodell wird unverändert für die weitere Verarbeitung durch DIV verwendet. Das diskontinuierliche Instruktionsmodell bleibt als ungebundenes Instruktionsmodell zurück. Ungebundene Instruktionsmodelle werden für einen späteren Integrationsversuch in der Finalisierungsphase gespeichert. Die Integration wird als abgeschlossen, wenn auch nicht erfolgreich, angesehen.

Sich treffende Instruktionsmodelle

Gibt es genau eine sichere Koreferenz zwischen dem ersten, in einem diskontinuierlichen Instruktionsmodell B beschriebenen Orientierungspunkt und dem letzten, in einem initialen Instruktionsmodell A beschriebenen Orientierungspunkt, so gilt zwischen diesen beiden Instruktionsmodellen die distale Relation $A \text{ m } B$. Diese beiden Orientierungspunkte können mit der Relation IDENTIFIKATION miteinander identifiziert werden. Dies schließt die Integration des diskontinuierlichen Instruktionsmodells in das initiale Instruktionsmodell ab. Das entstehende Instruktionsmodell kann als neues initiales Instruktionsmodell in DIV genutzt werden.

Überlappende Instruktionsmodelle

Gibt es mindestens eine Landmarken-Koreferenz zwischen zwei Pfaden oder Orientierungspunkten, welche nicht das Kriterium der sich treffenden Instruktionsmodelle erfüllt, so überlappen sich die Instruktionsmodelle. Folgende distale Relationen können zwischen einem initialen Instruktionsmodell A und einem distalen Instruktionsmodell B bestehen: $A \circ B$, $A \text{ s } B$, $A \text{ si } B$, $A \text{ di } B$, $A \text{ fi } B$ oder $A = B$. Durch die im Folgenden beschriebene Ermittlung von Ähnlichkeits- und Struktur-Koreferenzen muss festgestellt werden, wie die überlappenden Teile der Route aufeinander abzubilden sind.

6.6 Koreferenzen auf Grundlage ähnlicher Beschreibungen von Pfaden oder Orientierungspunkten

Wurde festgestellt, dass sich die zu integrierenden Instruktionsmodelle überschneiden, können die bereits gefundenen Landmarken-Koreferenzen genutzt werden, um zu bestimmen, welche Pfade und Orientierungspunkte, zwischen denen noch keine Koreferenz vorliegt, zumindest ähnliche Teile der Route beschreiben. Ist von Pfaden oder Orientierungspunkten bekannt, dass sie ähnliche Teile der Route beschreiben, können Ähnlichkeiten ihrer Spezifikation genutzt werden, um Ähnlichkeits-Koreferenzen zwischen zwei Pfaden oder zwei Orientierungspunkten herzustellen.

Bereits weiter oben wurde das Beispiel gegeben, dass zwei Pfade, welche dadurch beschrieben sind, dass sie links vom Navigierenden liegen, nicht unbedingt den gleichen Pfad der Route beschreiben müssen. Gehören diese beiden Pfade jedoch zu einer Beschreibung eines ähnlichen Teils der Route, kann dieses Indiz ausreichen, um eine Ähnlichkeits-Koreferenz festzustellen.

Zunächst muss definiert werden, wann Pfade oder Orientierungspunkte ähnliche Teile der Route beschreiben. Diese Eigenschaft wird als **Lokalität** bezeichnet. Zwei Knoten, von denen anzunehmen ist, dass sie ähnliche Teile der Route beschreiben, gelten als **lokal** zueinander.

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

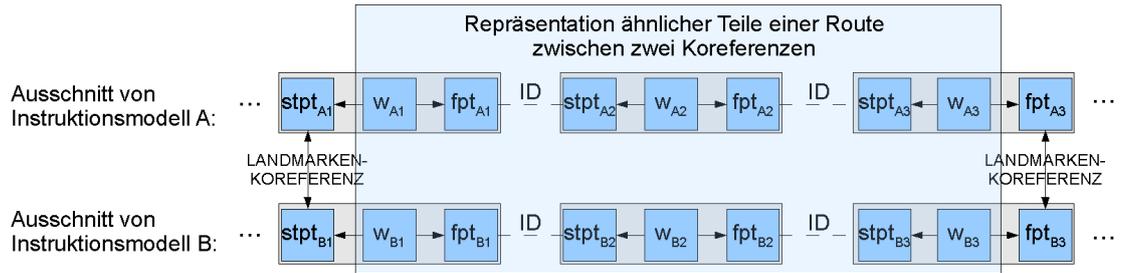


Abbildung 6.3: Repräsentation ähnlicher Teile einer Route zwischen zwei Koreferenzen.

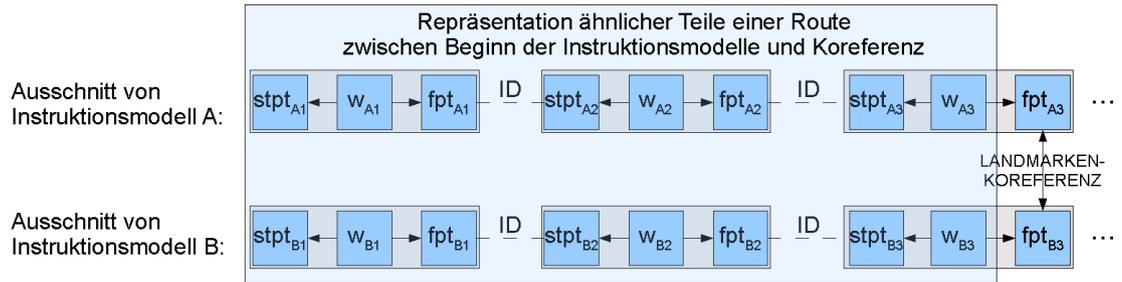


Abbildung 6.4: Repräsentation ähnlicher Teile einer Route zwischen Beginn der Instruktionsmodelle und einer Koreferenz.

Durch die Folge der Pfade und Orientierungspunkte in den beiden Instruktionsmodellen ist auch eine Abfolge der bereits gefundenen Koreferenzen vorgegeben. Dabei gelten zwei Koreferenzen als „direkt aufeinander folgend“, wenn keine weitere Koreferenz dazwischen liegt. Da sich Koreferenzen zwischen den beiden Instruktionsmodellen nicht überschneiden dürfen, gilt für einen Knoten N_{A1} des initialen Instruktionsmodells einer der folgenden Fälle:

Bedingung für Lokalität 1: N_{A1} liegt zwischen zwei Knoten N_{A0} und N_{A2} des initialen Instruktionsmodells A , welche durch direkt aufeinander folgende sichere Koreferenzen zu den Knoten N_{B0} und N_{B2} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B verbunden sind. Alle Knoten des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B , welche zwischen den Knoten N_{B0} und N_{B2} liegen, gelten in diesem Fall als lokal zu N_{A1} . Abbildung 6.3 zeigt ähnliche Teile der repräsentierten Routen von zwei Instruktionsmodellen zwischen zwei Koreferenzen.

Bedingung für Lokalität 2: N_{A1} liegt zwischen dem Beginn des initialen Instruktionsmodells und dem Knoten N_{A2} des initialen Instruktionsmodells, welcher koreferent zu dem Knoten N_{B2} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B ist. Alle Knoten des diskontinuierlichen Instruktionsmodells, welche zwischen dem Beginn dieses Modells und dem Knoten N_{B2} liegen, gelten als lokal zu N_{A1} . Abbildung 6.4 zeigt ähnliche Teile der repräsentierten Routen von zwei Instruktionsmodellen zwischen dem Beginn der Instruktionsmodelle und einer Koreferenz.

Bedingung für Lokalität 3: N_{A1} liegt zwischen dem Ende des initialen Instruktionsmodells und dem Knoten N_{A2} des initialen Instruktionsmodells, welcher koreferent zu dem Knoten N_{B2} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B ist. Alle Knoten des diskontinuierlichen Instruktionsmodells, welche zwischen dem Ende dieses Modells und dem Knoten N_{B2} liegen, gelten als lokal zu N_{A1} . (Eine Abbildung zu dieser Bedingung entfällt, da sie symmetrisch zu Bedingung 2 ist.)

Ist der Knoten N_{A1} bereits koreferent zu einem Knoten N_{B1} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells, muss dieser Knoten nicht weiter behandelt werden.

Sind ein Knoten N_{A1} des initialen Instruktionsmodells und ein Knoten N_{B1} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells nach obiger Definition lokal zueinander, so können Ähnlichkeits-Koreferenzen zwischen diesen Knoten hergestellt werden, wenn eine der folgenden Bedingung erfüllt ist:

Bedingung für Ähnlichkeits-Koreferenz 1: Beide Knoten repräsentieren Pfade der Route und stehen in der gleichen räumlichen Relation in Bezug auf das Referenzsystem des Navigierenden (links, rechts, geradeaus).

Bedingung für Ähnlichkeits-Koreferenz 2: Beide Knoten repräsentieren Pfade der Route und sind durch eine gleiche Distanzangabe beschrieben.

Wird eine Ähnlichkeits-Koreferenz zwischen zwei Pfaden auf diese Weise ermittelt, so werden auch die Start- und Endpunkte der koreferenten Pfade jeweils durch Ähnlichkeits-Koreferenzen verbunden.

Auch hier gilt, dass darauf geachtet werden muss, dass sich Koreferenzen nicht überkreuzen. Anders als bei den sicheren Koreferenzen kann bei der Ermittlung der lokalen Koreferenzen eine Überkreuzung als ein Indiz gewertet werden, dass ein Fehler bei der Bewertung der Ähnlichkeit vorliegt. In einem solchen Fall müssen die Ähnlichkeiten, welche zu überkreuzenden Koreferenzen führen würden, noch einmal überprüft werden. Eine der Ähnlichkeiten, welche zu überkreuzenden Koreferenzen führen würde, muss ausgewählt und bei der Erstellung lokaler Koreferenzen unberücksichtigt bleiben. Da eine Überkreuzung von Koreferenzen auf Grund von Ähnlichkeiten im untersuchten Korpus nicht vorkommt, kann eine Strategie zur Wahl der Ähnlichkeit, welche nicht berücksichtigt wird, nicht angegeben werden.

Korpusanalyse zu Ähnlichkeits-Koreferenzen

Im untersuchten Korpus konnten nur 6 Ähnlichkeits-Koreferenzen auf Grund von Bedingung für Ähnlichkeits-Koreferenz 1 hergestellt werden. Bedingung für Ähnlichkeits-Koreferenz 2 wurde im untersuchten Korpus nicht erfüllt. Die geringe Anzahl an Ähnlichkeits-Koreferenzen kann mit der relativ großen Anzahl bereits ermittelter Landmarken-Koreferenzen erklärt werden. Für viele Knoten der Instruktionsmodelle, welche Pfade repräsentieren und eine der Bedingungen für Ähnlichkeits-Koreferenz erfüllen würden, ist bereits eine Landmarken-Koreferenz ermittelt. Dies kann wiederum dadurch erklärt werden, dass bei den beschriebenen Routen des untersuchten Korpus, nahezu alle Tracks

durch einen Eigennamen bezeichnet werden können. In einer Umgebung, in der Pfade weniger häufig über Eigennamen verfügen, und Landmarken-Koreferenzen zwischen repräsentierten Pfaden daher seltener sind, könnten Ähnlichkeits-Koreferenzen eine wichtigere Rolle spielen.

Die in dieser Verarbeitung gewählten Bedingungen für Ähnlichkeits-Koreferenzen sind nach dem untersuchten Korpus entwickelt worden. Generell eignen sich als Kriterien für Ähnlichkeit zur Herstellung lokaler Koreferenzen solche Beschreibungen von Pfaden und Orientierungspunkten, welche zwar mehrfach in einer Routenbeschreibung verwendet werden können, aber trotzdem nicht so generell sind, dass sie auf nahezu jeden Pfad oder Orientierungspunkt zutreffen.

So eignet sich für den Trierkorpus zum Beispiel die Beschreibung, dass ein Pfad entlang einer Straße verläuft, wenig, um Ähnlichkeits-Koreferenzen zwischen Instruktionsmodellen herzustellen, da nahezu alle Pfade in den untersuchten Routenbeschreibungen des Trierkorpus entlang von Straßen verlaufen. In anderen Korpora, in denen vielleicht verschiedene Typen von Tracks genauer unterschieden werden, könnte dies ebenfalls zur Ermittlung lokaler Koreferenzen genutzt werden.

6.7 Struktur-Koreferenzen

Landmarken- und Ähnlichkeits-Koreferenzen werden hergestellt, indem die Spezifikationen von Pfaden und Orientierungspunkten miteinander verglichen werden. Bei der Herstellung der Ähnlichkeits-Koreferenzen wird das Wissen darum genutzt, dass Orientierungspunkte oder Pfade ähnliche Abschnitte der repräsentierten Route beschreiben. Strukturelle Koreferenzen werden basierend auf der Struktur der Instruktionsmodelle erstellt. Dabei wird unter der Struktur die Abfolge von Pfaden, welche durch Orientierungspunkte verbunden sind, verstanden.

Das initiale und das diskontinuierliche Instruktionsmodell werden als ein CRIL-Netz dargestellt. Bereits gefundene Landmarken- oder Ähnlichkeits-Koreferenzen verbinden die beiden Teilnetze. Die Grundidee für das Ermitteln von Struktur-Koreferenzen ist die Propagation von bekannten Koreferenzen entlang der Struktur der beiden repräsentierten Routenteile. In Abschnitt 6.2 wurde motiviert, dass in der Regel davon auszugehen ist, dass die zu integrierenden diskontinuierlichen Instruktionsmodelle Pfade und Orientierungspunkte repräsentieren, welche bereits im initialen Instruktionsmodell repräsentiert sind. Daher wird versucht, ausgehend von bereits gefundenen Koreferenzen Pfade und Orientierungspunkte eins zu eins aufeinander abzubilden: Pfade mit koreferenten Start- oder Endpunkten sind ebenfalls koreferent, Orientierungspunkte, welche Start- oder Endpunkte koreferenter Pfade sind, sind ebenfalls koreferent.

Die Annahme, dass Pfade und Orientierungspunkte beider Instruktionsmodelle eins zu eins aufeinander abgebildet werden können, ist eine Defaultannahme, welche im weiteren Verlauf als **Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen** bezeichnet wird. Die Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen wird für die Integration der Instruktions-

modelle verwendet, wenn es keine Evidenz gibt, welche gegen diese Annahme spricht. Folgende Evidenzen können gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen vorliegen:

Evidenz E-1 Zwischen zwei koreferenten Orientierungspunkten in den beiden Instrukti-
onsmodellen liegt eine unterschiedliche Anzahl von Pfaden.

Evidenz E-2 Durch eine Integration nach diesem Prinzip würde es dazu kommen, dass
Pfade vor dem Start oder hinter dem Ziel der Route liegen.

Evidenz E-3 Durch die Integration nach diesem Prinzip würde es dazu kommen, das Pfa-
de oder Orientierungspunkte durch inkompatible räumliche Relationen in Bezug
auf die gleiche einzigartige Landmarke spezifiziert sind. Welche räumlichen Rela-
tionen inkompatibel in diesem Sinne sind, ist in Abschnitt 6.5 bereits beschrieben
worden.

Evidenz E-4 Durch die Integration nach diesem Prinzip würde es dazu kommen, dass
zwei Pfade oder zwei Orientierungspunkte in Regionen liegen oder entlang von
Tracks verlaufen, welche zueinander inkompatibel sind. Zwei Regionen sind in-
kompatibel, wenn sie keine gemeinsamen Punkte haben. So ist zum Beispiel in
Trier die Region, welche durch die Landmarke „Pferdemarkt“ spezifiziert wird, in-
kompatibel zu der Region, welche durch die Landmarke „Hauptmarkt“ spezifiziert
wird. Zwei Tracks sind inkompatibel, wenn nicht ein Track entlang des anderen
Tracks verläuft. So ist in Trier beispielsweise die „Grabenstraße“ inkompatibel zur
„Simeonstraße“. Kompatibilität oder Inkompatibilität von Regionen oder Tracks
muss im Weltwissen des Agenten hinterlegt werden. Für den Trierkorpus hat sich
als eine gute Heuristik erwiesen, anzunehmen, dass jeder Platz und jeder Track
nur einen Eigennamen besitzt. Zwei einzigartige Landmarken der Art Platz oder
Track sind demnach inkompatibel, wenn sie unterschiedliche Eigennamen haben.

6.7.1 Ermittlung von Evidenzen gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen und Korrektur von Defaultschlüssen über lokale Relationen

Für alle Folgen von noch nicht koreferenten Pfaden F_A des initialen Instrukti-
onsmodells wird daher zunächst untersucht, ob eine Evidenz gegen die Defaultannahme für
Struktur-Koreferenzen vorliegt. Zunächst wird geprüft, ob Evidenz E-1 oder E-2 vor-
liegen. Ist eine solche Evidenz gegen die Defaultannahme gefunden worden, so wird
zunächst untersucht, ob diese Evidenz durch die Korrektur von Defaultschlüssen über
lokale Relationen beseitigt werden kann. Schlägt auch dies fehl, so können keine Struktur-
Koreferenzen hergestellt werden. Als Nächstes wird überprüft, ob Evidenz E-3 oder E-4
vorliegen. Trifft dies zu, so können ebenfalls keine Struktur-Koreferenzen hergestellt wer-
den. Liegen auch nach dieser Untersuchung keine Evidenzen gegen die Defaultannahme
für Struktur-Koreferenzen vor, so werden Struktur-Koreferenzen hergestellt. Diese Ver-
arbeitungsschritte sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Fall 1: Zwischen Startpunkt der Route und koreferentem Orientierungspunkt

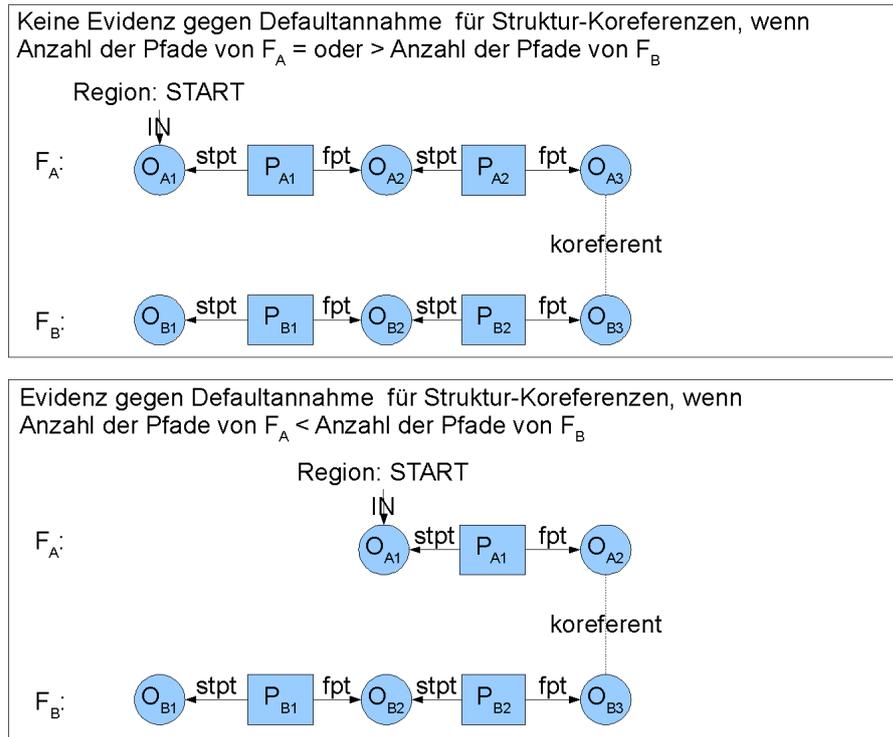


Abbildung 6.5: Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen Startpunkt und koreferentem Orientierungspunkt

Überprüfung der Evidenz E-1 und E-2

Zur Überprüfung der Evidenz E-1 und E-2 werden für alle Folgen von noch nicht koreferenten Pfaden F_A des initialen Instruktionsmodells folgende Fälle unterschieden:

Fall 1: Zwischen Startpunkt und koreferentem Orientierungspunkt Die Folge von Pfaden F_A des initialen Instruktionsmodells A liegt zwischen dem Startpunkt der Route (welcher stets durch den ersten Orientierungspunkt des initialen Instruktionsmodells beschrieben ist) und einem Orientierungspunkt O_{A1} , der koreferent zu einem Orientierungspunkt O_{B1} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B ist. Die Folge der Pfade, welche vor O_{B1} liegt, wird in diesem Fall als F_B bezeichnet.

Keine Evidenz gegen die Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen liegt dann vor, wenn die Anzahl der Pfade von F_A größer oder gleich der Anzahl der Pfade von F_B ist.

Dieser Fall ist in Abbildung 6.5 dargestellt.

Fall 2: Zwischen zwei koreferenten Orientierungspunkten Die Folge von Pfaden F_A des initialen Instruktionsmodells A liegt zwischen den Orientierungspunkten O_{A1}

und O_{A2} , welche zu den Orientierungspunkten O_{B1} und O_{B2} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B koreferent sind. Die Folge der Pfade des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B , welche zwischen O_{B1} und O_{B2} liegt, wird als F_B bezeichnet.

Keine Evidenz gegen die Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen liegt nur dann vor, wenn die Anzahl der Pfade von F_A gleich der Anzahl der Pfade von F_B ist.

Dieser Fall ist in Abbildung 6.6 dargestellt.

Fall 3: Zwischen koreferentem Orientierungspunkt und Endpunkt der Route Die Folge von Pfaden F_A des initialen Instruktionsmodells A liegt zwischen dem Orientierungspunkt O_{A1} , der koreferent zum Orientierungspunkt O_{B1} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B ist, und dem Endpunkt der Route. Die Folge der Pfade nach O_{B2} wird als F_B bezeichnet.

Keine Evidenz gegen die Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen liegt dann vor, wenn die Anzahl der Pfade von F_A größer oder gleich der Anzahl der Pfade von F_B ist.

Dieser Fall ist in Abbildung 6.7 dargestellt.

Fall 4: Zwischen koreferentem OP und letztem OP des initialen Instruktionsmodells Die Folge von Pfaden F_A des initialen Instruktionsmodells A liegt zwischen dem Orientierungspunkt O_{A1} , der koreferent zum Orientierungspunkt O_{B1} des diskontinuierlichen Instruktionsmodells B ist und dem letzten Orientierungspunkt des initialen Instruktionsmodells. Die Folge der Pfade nach O_{B2} wird als F_B bezeichnet.

Endet der letzte Pfad der Folge F_B am Endpunkt der Route, so liegt keine Evidenz gegen die Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen nur dann vor, wenn die Anzahl der Pfade von F_A kleiner oder gleich der Anzahl der Pfade von F_B ist. Andernfalls liegt keine Evidenz gegen die Defaultannahme vor.

Dieser Fall ist in Abbildung 6.8 dargestellt.

Liegt eine Evidenz E-1 oder E-2 gegen die Defaultannahme vor, deutet dies entweder auf einen Fehler beim Aufbau von mindestens einem der Instruktionsmodelle oder aber auf eine unterschiedliche Wahl von Orientierungspunkten in den verschiedenen Teilen der Routenbeschreibung, welche durch die verschiedenen Instruktionsmodelle repräsentiert werden. Im letzten Fall ist die Defaultannahme über die Verwendung gleicher Pfade und Orientierungspunkte in der Wiederholung verletzt. Zunächst wird jedoch versucht, die Evidenzen gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz durch Korrektur von Defaultschlüssen über lokale Relationen zu beseitigen.

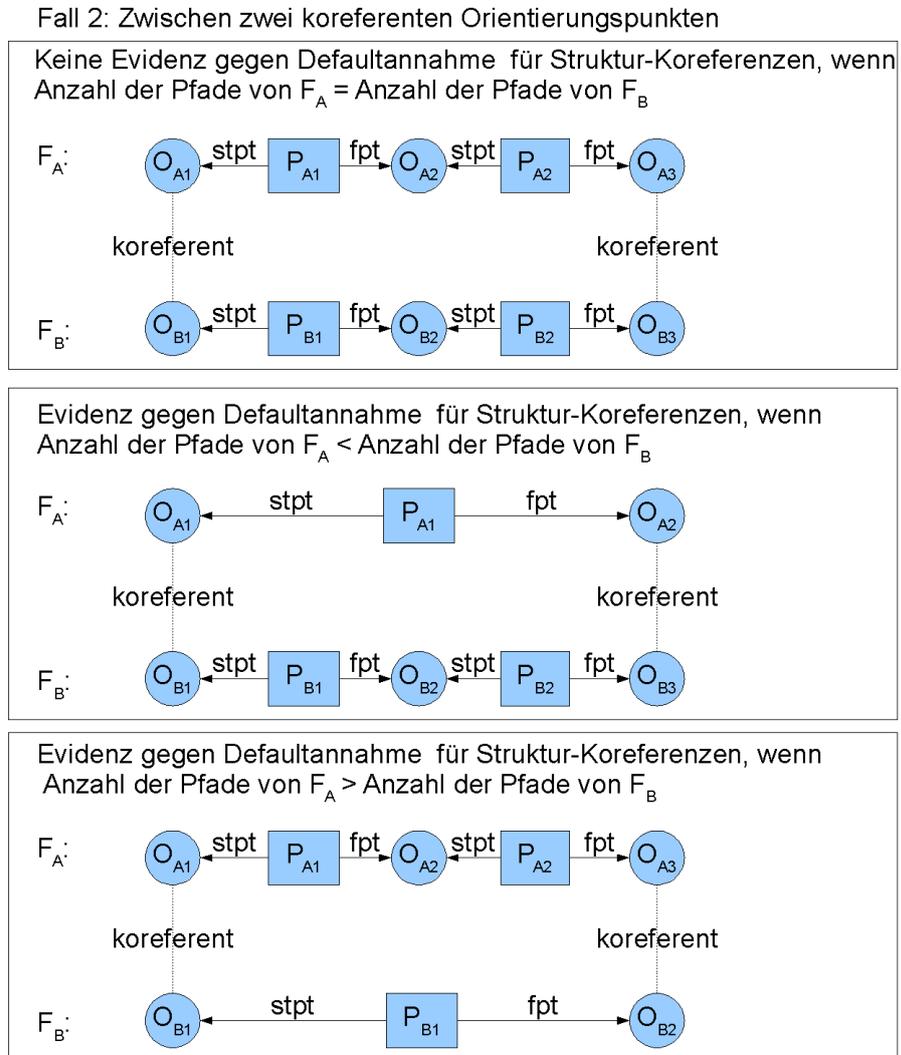


Abbildung 6.6: Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen zwei koreferenten Orientierungspunkten

Fall 3: Zwischen koreferentem Orientierungspunkt und Endpunkt der Route

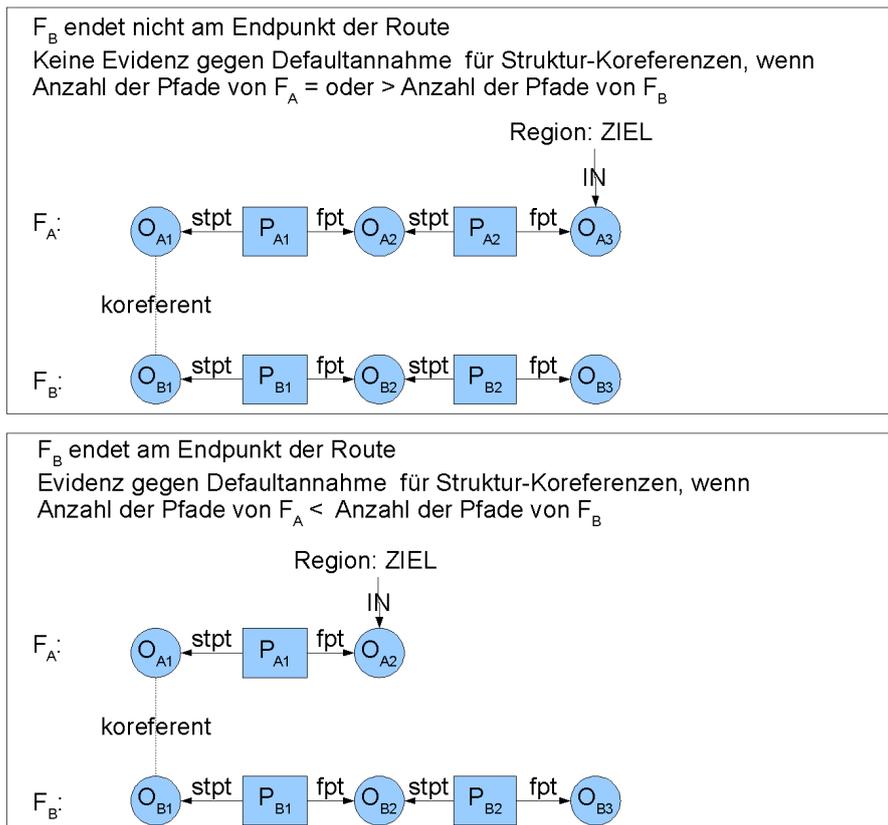


Abbildung 6.7: Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen koreferentem Orientierungspunkt und dem Endpunkt der Route

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Fall 4: Zwischen koreferentem Orientierungspunkt und letztem Orientierungspunkt des Instruktionsmodells

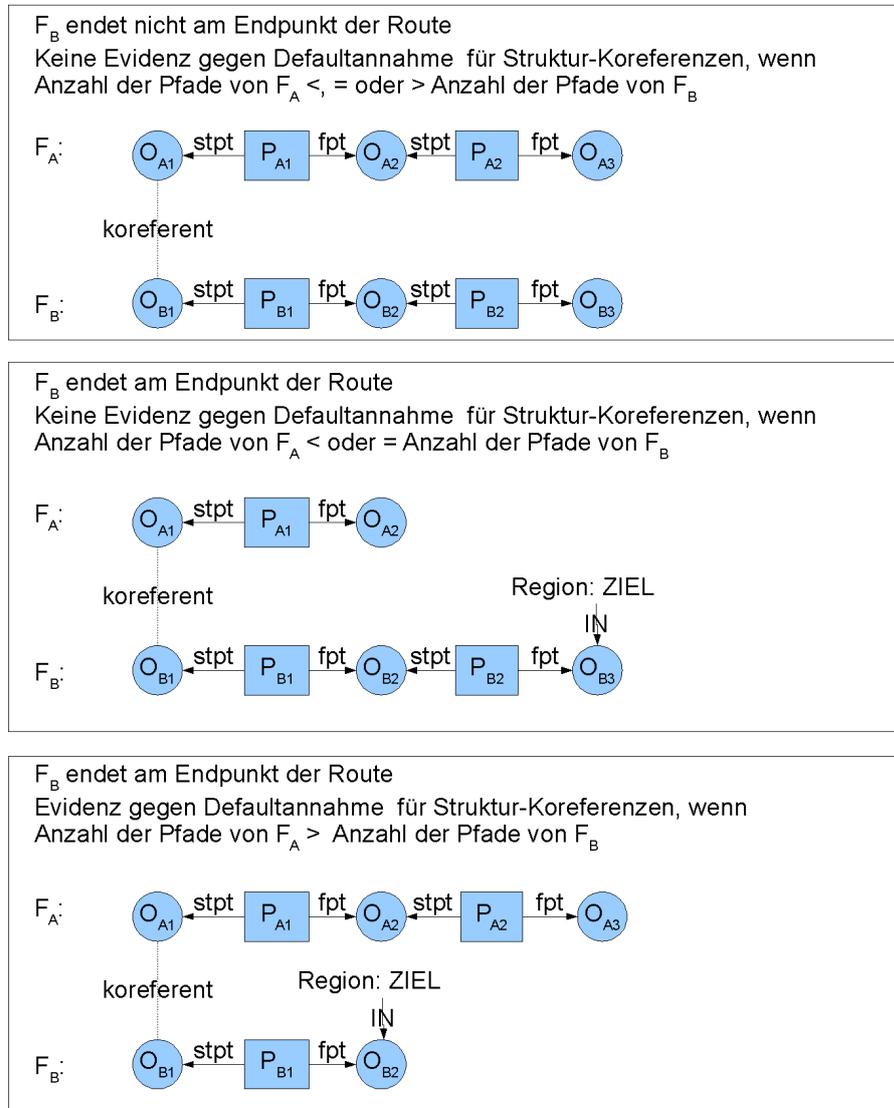


Abbildung 6.8: Evidenz gegen Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen für eine Folge von Pfaden zwischen koreferentem Orientierungspunkt und dem letzten Orientierungspunkt des initialen Instruktionsmodells

Modifikation der Instruktionsmodelle durch Korrektur von Defaultschlüssen über lokale Relationen auf Grund von Evidenzen gegen die Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen.

Liegt eine Evidenz E-1 oder E-2 gegen die Defaultannahme für Struktur-Koreferenzen vor, so wird zunächst versucht, nach dem Prinzip des Backtrackings, durch die Korrektur von Defaultschlüssen, welche bei der Ermittlung lokaler Relationen getroffen worden sind, die Probleme bei der Herstellung struktureller Koreferenzen zu beseitigen. Dieses Vorgehen entspricht der Strategie, die Probleme bei der Herstellung von Struktur-Koreferenzen durch falsche Defaultschlüsse beim Aufbau mindestens eines der Instruktionsmodelle zu erklären.²

Kann die lokale Relation eines Pfadsegmentes nicht ermittelt werden, so wird der Defaultschluss gezogen, dass dieses Segment in einer kontinuierlichen lokalen Relation zum vorangegangenen Segment steht. Der Startpunkt des Pfadsegmentes wird daraufhin mit der Relation DEFAULT-IDENTIFIKATION mit dem Endpunkt des letztes Pfades im aktuell aufgebauten Instruktionsmodell verbunden.

Liegt eine Evidenz E-1 oder E-2 gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz vor, da die Anzahl der Pfade in einer der Folgen von Pfaden F_G zu groß ist, und ist mindestens einer der Pfade P_1 in der Folge der Pfade F_G durch eine DEFAULT-IDENTIFIKATION mit dem vorangegangenen Pfad P_0 verbunden, so wird der Defaultschluss über die lokale Relation des Segmentes, welches P_1 repräsentiert, zurückgezogen. Die Relation DEFAULT-IDENTIFIKATION zwischen dem Startpunkt S_1 , des mit einer DEFAULT-IDENTIFIKATION verbundenen Pfades und dem Endpunkt E_0 des vorangegangenen Pfades P_0 wird entfernt. Die Startpunkte der Pfade S_0 und S_1 , die Pfade P_0 und P_1 sowie die Endpunkte der Pfade E_0 und E_1 werden jeweils miteinander identifiziert. Dies entspricht einer Ersetzung der kontinuierlichen Relation durch eine stationär diskontinuierliche Relation. Abbildung 6.9 zeigt diesen Korrekturvorgang.

Gibt es in einer Folge von Pfaden mehr als einen Pfad, welcher mittels einer DEFAULT-IDENTIFIKATION eingebunden ist, so muss einer dieser Pfade gewählt werden. Da ein solcher Fall im untersuchten Korpus nur ein einziges Mal vorkommt, können Strategien zur Wahl dieses Pfades in dieser Arbeit nicht untersucht werden. Eine andere Möglichkeit zum Umgang mit diesen Alternativen besteht darin, mehrere alternative Instruktionsmodelle zu generieren.

Diese Korrektur wird so lange wiederholt, bis entweder keine Evidenz mehr gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz vorliegt, oder keine weiteren Pfade mehr mittels DEFAULT-IDENTIFIKATION in die Folge der Pfade eingebunden sind. Können nicht alle Evidenzen gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz durch Korrektur von Defaultschlüssen über lokale Relationen beseitigt werden, wird davon ausgegangen, dass bei den Beschreibungen von Teilen der Route, welche den beiden Instruktionsmodellen

²Es ist nicht auszuschließen, dass die strukturellen Koreferenzen auf Grund eines Fehlers an einer anderen Stelle der Verarbeitung nicht problemfrei hergestellt werden können. Auf diese Möglichkeit wird jedoch nicht eingegangen. DIV besitzt keine generelle Möglichkeit zur Selbstkorrektur.

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

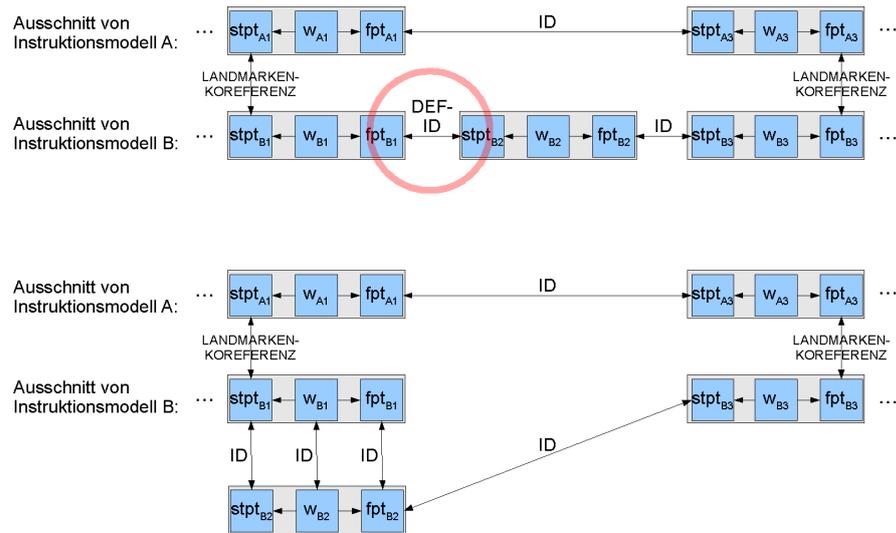


Abbildung 6.9: Korrektur von Default-Identifikation wegen Evidenz gegen Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz

zu Grunde liegt, eine verschiedene Menge von Orientierungspunkten gewählt worden ist und die Herstellung von Struktur-Koreferenzen daher nicht möglich ist.

Überprüfung der Evidenz E-3 und E-4

Liegt keine Evidenz gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz E-1 oder E-2 vor, so wird geprüft, ob es bei der Erstellung von Struktur-Koreferenzen zu einer Evidenz gegen Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz E-3 oder E-4 kommt. Dies kann überprüft werden, indem Struktur-Koreferenzen nach den im folgenden Abschnitt beschriebenen Regeln erstellt und für je zwei koreferente Knoten überprüft wird, ob Evidenz E-3 oder E-4 vorliegen. Liegt eine solche Evidenz vor, können keine Struktur-Koreferenzen hergestellt werden.

6.7.2 Herstellung von Struktur-Koreferenzen

Liegt für eine Folge von Pfaden F_A des initialen Instruktionsmodells keine Evidenz gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz vor, so können für die Pfade und Orientierungspunkte dieser Folge Struktur-Koreferenzen durch iterative Anwendung der im Folgenden beschriebenen Regeln ermittelt werden, welche sich auf die in Abschnitt 6.2 vorgestellten Annahmen zur Verwendung gleicher Pfade und Orientierungspunkte in Wiederholungen stützen. Abbildung 6.10 zeigt eine bildliche Darstellung der Regeln.

Regel STRK 1 Pfade mit koreferenten Start- und Endpunkten sind ebenfalls koreferent.

Regel STRK 2 Start- oder Endpunkte von zwei koreferenten Pfaden sind ebenfalls koreferent.

Regel STRK 3 Sind P_A und P_B zwei Folgen von Pfaden mit koreferenten Start- und Endpunkten, und bestehen die Folgen von Pfaden jeweils aus gleich vielen Pfaden, so sind die Orientierungspunkte der Pfade $O_{A1}, O_{A2}, \dots, O_{An}$ und $O_{B1}, O_{B2}, \dots, O_{Bn}$ paarweise koreferent: O_{A1} ist koreferent zu O_{B1} , O_{A2} ist koreferent zu O_{B2} , \dots , O_{An} ist koreferent zu O_{Bn} .

Diese Regel zur Herstellung von Koreferenzen beruht auf der in Abschnitt 6.2 begründeten Annahme, dass für gleiche Teile von Routen auch in der Wiederholung die gleichen Orientierungspunkte und die gleiche Gliederung in Pfade verwendet werden. Die Tatsache, dass die gleiche Anzahl von Orientierungspunkten in beiden Modellen verwendet wird, wird als ein Indiz dafür gesehen, dass kein Wechsel in der Granularität zwischen den beiden Instruktionsmodellen vorliegt.

Regel STRK 4 Sind P_A und P_B zwei Folgen von Pfaden, welche nur an einer Seite durch koreferente Start- oder Endpunkte O_{A1} und O_{B1} begrenzt sind, so sind zwei Orientierungspunkte O_{A2} und O_{B2} welche durch die Pfade P_{A2} und P_{B2} mit den koreferenten Orientierungspunkten verbunden sind und auf der gleichen Seite der koreferenten Orientierungspunkte liegen, ebenfalls koreferent.

Diese Regel zur Herstellung von Koreferenzen beruht ebenfalls auf der in Abschnitt 6.2 begründeten Annahme, dass für gleiche Teile von Routen auch in der Wiederholung die gleichen Orientierungspunkte und die gleiche Gliederung in Pfade verwendet werden. In diesem Fall liegt jedoch kein Indikator für eine gleiche Granularität der beiden Instruktionsmodelle vor.

Die Regeln STRK-1 bis STRK-4 können iterativ so lange auf die noch nicht koreferenten Teile der zu integrierenden Instruktionsmodelle angewendet werden, bis in einem Durchlauf keine der Regeln mehr angewendet werden konnte. Tritt diese Bedingung ein, so ist die Erstellung der Struktur-Koreferenzen abgeschlossen.

Die iterative Anwendung der Regeln STRK-1 bis STRK-4 entspricht einer Propagation von Constraints (Beschränkung, Integritätsbedingung) durch ein CRIL-Netz, welches aus den beiden zu integrierenden Instruktionsmodellen besteht (siehe [Poole 98]). Die Knoten des CRIL-Netzes entsprechen den Variablen eines Konstraint-Erfüllungs-Problems und somit Knoten des Konstraintnetzes. Koreferenzen entsprechen der Belegung der Variablen und die Regeln STRK-1 bis STRK-4 entsprechen den probagierten Constraints.

6.7.3 Umgang mit nicht koreferenten Knoten

Wurde für einen Knoten eines der zu integrierenden CRIL-Netze weder eine Landmarken-Koreferenz noch eine Ähnlichkeits-Koreferenz oder eine Struktur-Koreferenz ermittelt, so ist ein Knoten nicht koreferent. Nicht koreferente Knoten stellen für die Erstellung von Aktionsplänen in der Finalisierungsphase (Abschnitt 5.5.5) ein Problem dar. Ein nicht koreferenter Knoten entspricht einer Alternative im internen Modell der Route,

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

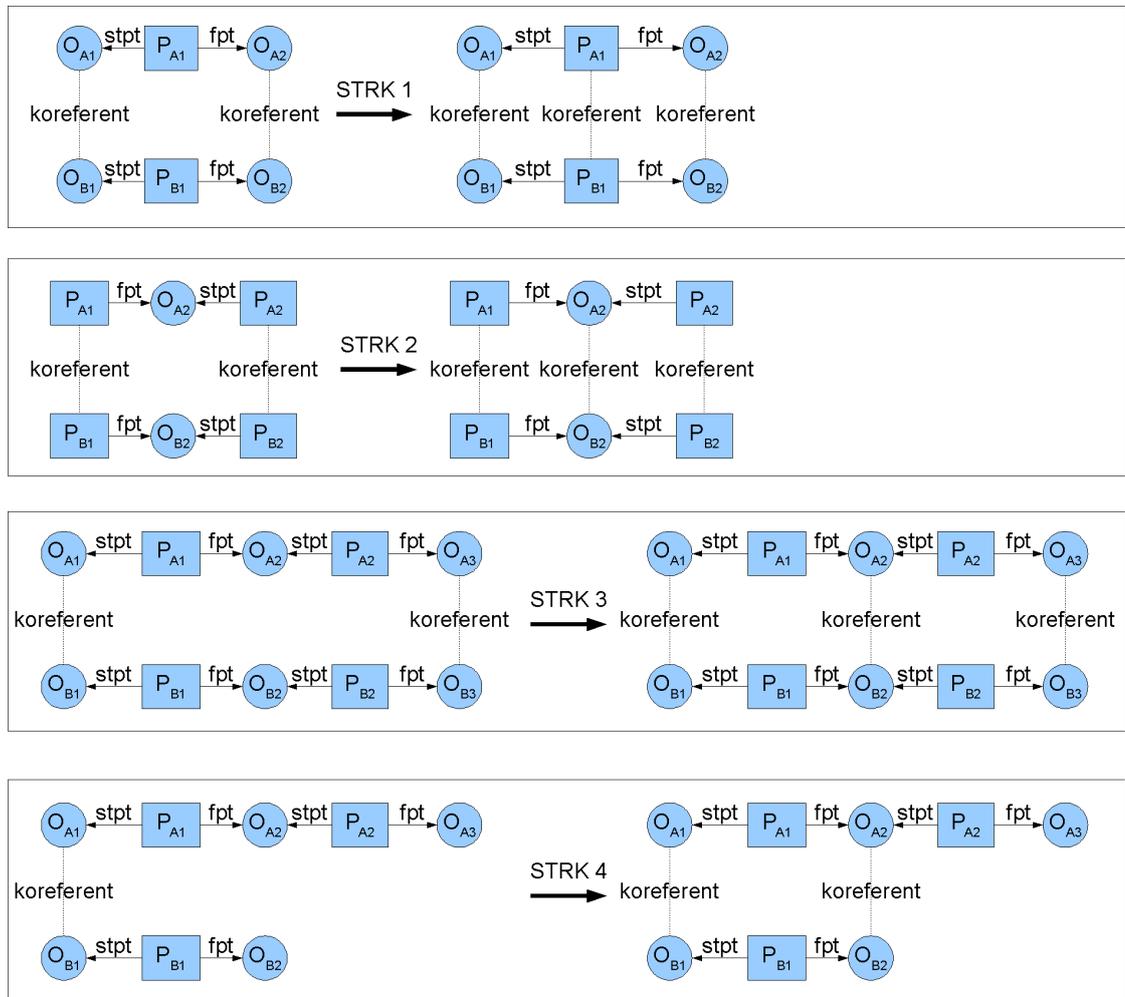


Abbildung 6.10: Regeln zur Ermittlung von Struktur-Koreferenzen

in dem Sinn, dass für mindestens einen Pfad oder einen Orientierungspunkt zwei Beschreibungen vorliegen, welche möglicherweise unterschiedlich sind. Abbildung 6.11 zeigt ein Beispiel eines solchen Instruktionsmodells. Ein Instruktionsmodell mit Alternativen auf Grund nicht koreferenzierender Knoten kann zu mehreren Folgen von Pfaden linearisiert werden. Mögliche Linearisierungen für das Beispiel sind ebenfalls in Abbildung 6.11 dargestellt.

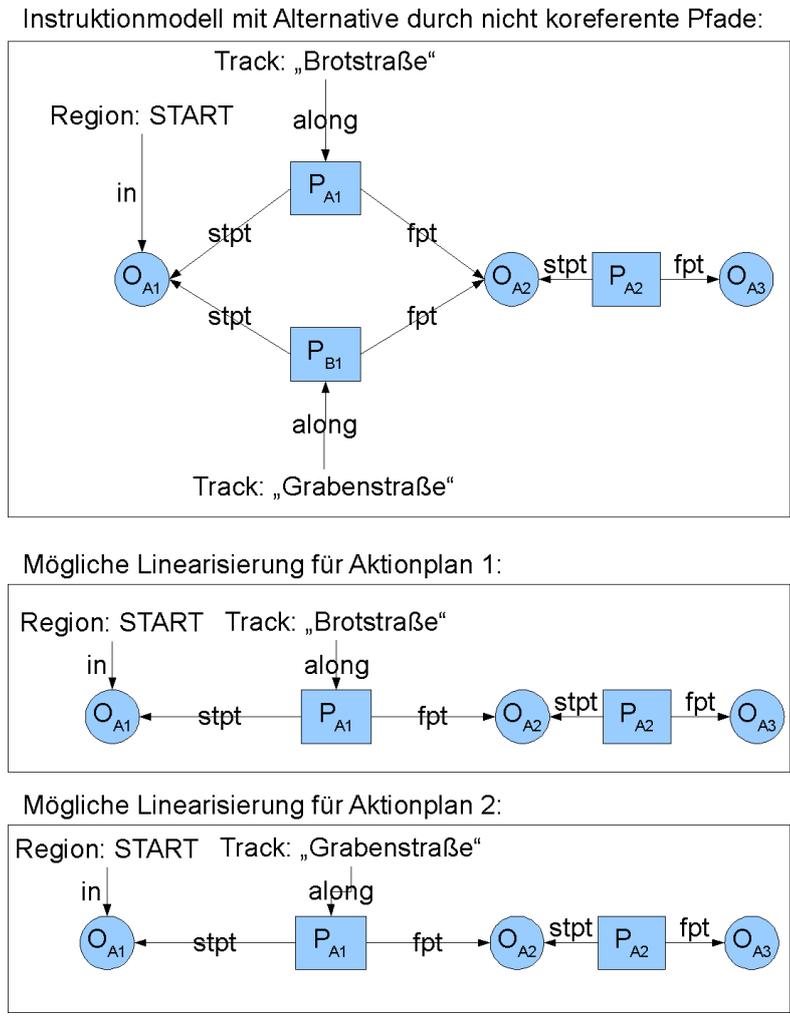


Abbildung 6.11: Instruktionsmodell mit Alternative durch nicht koreferente Pfade

Welche der verschiedenen Linearisierungen für die Generierung eines Aktionsplanes verwendet wird, oder ob mehrere Aktionspläne generiert und erst in der Navigationsphase eine Wahl zwischen den Aktionsplänen getroffen wird, kann im Rahmen dieser Arbeit, auf Grund des geringen Vorkommens dieses Phänomens, nicht ausgiebig untersucht werden. Trotzdem möchte ich zwei Vorschläge machen, wie mit diesem Problem umgegangen werden kann.

Wahl einer Linearisierung während der Instruktionsphase

Eine mögliche Linearisierung kann während der Navigationsphase ausgewählt werden, von welcher angenommen werden kann, dass sie für die Navigation am vorteilhaftesten ist. So kann vermutet werden, dass eine Repräsentation eines Abschnittes einer Route auf feinerer Granularitätsstufe mit mehr beschriebenen Orientierungspunkten und Pfaden eine einfachere Navigation erlaubt als eine Repräsentation des gleichen Abschnittes der Route mit weniger Orientierungspunkten. Ob diese Annahme zutrifft, muss jedoch noch untersucht werden.

Backtracking während der Navigationsphase

Eine andere Möglichkeit, mit Alternativen in Instruktionsmodellen umzugehen ist es, die alternativen Repräsentationen der Route an die Navigationsphase weiterzugeben. Kommt es zu einer Situation, in der der navigierende Agent mit einer Alternative im Instruktionsplan konfrontiert ist, kann er zum einen seine Perzeption nutzen, um festzustellen, ob überhaupt beide beschriebenen Alternativen auszuführen sind und ob die Ausführung tatsächlich zu unterschiedlichen Ergebnissen führen würde. Zudem kann der Agent nach dem Prinzip des Backtrackings vorgehen. Ist er mit einer Alternative im Instruktionsplan konfrontiert, so wählt er auf Grund einer Heuristik (oder auch willkürlich, falls eine solche Heuristik nicht vorliegt) eine der Alternativen aus und versucht anhand dieser zu navigieren. Treten Probleme bei der Navigation auf, da beschriebene Landmarken oder zu traversierende Pfade nicht wahrgenommen werden können, geht der Agent zu der Stelle, an der er die Möglichkeit hatte eine andere Alternative zu wählen, zurück, wählt eine andere Alternative und versucht so zum Ziel zu gelangen.

6.7.4 Korpusanalyse zu Struktur-Koreferenzen

Von den 52 untersuchten diskontinuierlichen Instruktionsmodellen können 43 auf Grundlage mindestens einer Landmarken-Koreferenz integriert werden. Tabelle 6.6 zeigt die Verteilung der Evidenzen gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz im untersuchten Korpus.

Die Evaluation zeigt, dass Alternativen in Instruktionsmodellen auf Grund von nicht koreferenzierten Knoten nur in 16.3 % aller Integrationen von diskontinuierlichen Instruktionsmodellen auftreten.

6.8 Finalisierung der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung

Ist der Aufbau des initialen Instruktionsmodells abgeschlossen, in dem Sinne, dass das letzte aus der Routenbeschreibung extrahierte Segment verarbeitet worden ist, so beginnt die Finalisierungsphase von DIV.

Evidenz gegen Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz	Anzahl
keine Evidenz	34 (79.1 %)
Evidenz E-1 oder E-2, welche nicht durch Rücknahme von Defaultschlüssen zu lokalen Relationen korrigierbar ist	4 (9.3 %)
Evidenz E-1 oder E-2, welche durch Rücknahme von Defaultschlüssen zu lokalen Relationen korrigierbar ist	2 (4.7 %)
Evidenz E-3 oder E-4	3 (7.0 %)

Tabelle 6.6: Evidenzen gegen Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz im untersuchten Korpus

Der erste Schritt der Finalisierungsphase besteht darin, noch einmal zu versuchen, diskontinuierliche Instruktionsmodelle, welche zum Zeitpunkt ihrer Integration ungebunden geblieben sind, in das initiale Instruktionsmodell zu integrieren. Die Idee hinter diesem Vorgehen ist es, dass durch den weiteren Aufbau des initialen Instruktionsmodells eventuell neue Informationen in dieses Modell integriert worden sind, die eine Integration der ungebundenen Instruktionsmodelle zu diesem späteren Zeitpunkt erlauben.

Der zweite Schritt besteht darin, zu überprüfen, ob das aufgebaute initiale Instruktionsmodell eine vollständige Route vom Startpunkt der Routenbeschreibung bis zum Ziel der Routenanfrage repräsentiert. Ist dies nicht der Fall, wird versucht, die Route zu vervollständigen.

6.8.1 Umgang mit ungebundenen Instruktionsmodellen

Als ungebunden wird ein diskontinuierliches Instruktionsmodell bezeichnet, wenn keine einzige Landmarken-Koreferenz zum initialen Instruktionsmodell ermittelt werden konnte. Ein solches diskontinuierliches Instruktionsmodell wurde nicht in das initiale Instruktionsmodell integriert, sondern vorerst separat gespeichert.

In der Finalisierungsphase wird noch einmal versucht, ungebundene Instruktionsmodelle zu integrieren. Die Menge U bildet die Menge der ungebundenen Instruktionsmodelle. Iterativ wird für jedes ungebundene Instruktionsmodell der Menge U geprüft, ob dieses Instruktionsmodell in das initiale Instruktionsmodell integriert werden kann. Ist die Integration erfolgreich, wird das ungebundene Modell aus der Menge U entfernt. Kann das ungebundene Instruktionsmodell nicht integriert werden, so wird versucht, das nächste ungebundene Instruktionsmodell aus der Menge U zu integrieren. Das Verfahren stoppt, wenn in einem Durchlauf keines der ungebundenen Instruktionsmodelle aus der Menge U integriert werden konnte.

Die Idee hinter diesem Vorgehen ist, dass diskontinuierliche Instruktionsmodelle, welche nach einem ungebundenen Instruktionsmodell I_u in das initiale Instruktionsmodell I_i

integriert werden, als Bindeglied zwischen I_u und I_i dienen können. Folgendes Beispiel erläutert dieses Prinzip:

Ein initiales Instruktionsmodell I_i wird aufgebaut. Dieses Instruktionsmodell beinhaltet als einzige einzigartige Landmarke die Landmarke L_A . Ein diskontinuierliches Instruktionsmodell I_{d1} soll in dieses Instruktionsmodell integriert werden, beinhaltet aber als einzige einzigartige Landmarke die Landmarke L_B . Eine Integration dieser beiden Instruktionsmodelle ist nicht möglich, da keine Landmarken-Koreferenz zwischen den Instruktionsmodellen hergestellt werden kann. I_{d1} wird zu einem ungebundenen Instruktionsmodell. Wird ein diskontinuierliches Instruktionsmodell I_{d2} in das initiale Instruktionsmodell integriert, in welchem sowohl die einzigartigen Landmarken L_A als auch L_B vorkommen, so ist es anschließend möglich, auch das ungebundene Instruktionsmodell I_{d1} zu integrieren, da eine Landmarken-Koreferenz über die Landmarke L_B hergestellt werden kann.

Im untersuchten Korpus konnte ein einziges ungebundenes diskontinuierliches Instruktionsmodell auf diese Weise integriert werden.

6.8.2 Ergänzung des Instruktionsmodells zu einer vollständigen Route

Das initiale Instruktionsmodell gilt als vollständige Routenbeschreibung, wenn sowohl der Startpunkt der Routenbeschreibung als auch das Ziel der Routenanfrage repräsentiert ist.

Die Verarbeitung durch DIV ist so angelegt, dass der Startpunkt der Routenbeschreibung stets ein Teil des initialen Instruktionsmodells ist. Der Orientierungspunkt, welcher den Startpunkt der Routenbeschreibung repräsentiert, liegt in der speziellen Region START.

Liegt der letzte im initialen Instruktionsmodell beschriebene Orientierungspunkt in der speziellen Region ZIEL, so repräsentiert dieses Instruktionsmodell eine vollständige Route. In diesem Fall sind keine weiteren Ergänzungen mehr notwendig.

Trifft diese Bedingung nicht zu, so wird zunächst untersucht, ob es ein ungebundenes Instruktionsmodell gibt, dessen letzter Orientierungspunkt in der Region ZIEL liegt. Existiert ein solches ungebundenes Instruktionsmodell, so wird der Startpunkt dieses ungebundenen Instruktionsmodells mit dem Endpunkt des initialen Instruktionsmodells identifiziert. Die Annahme hinter diesem Vorgehen ist, dass initiales Instruktionsmodell A und ungebundenes Instruktionsmodell B in der distalen Relation A m B zueinander stehen, dies aber zum Zeitpunkt der Integration nicht erkannt worden ist, da keine sicheren Koreferenzen hergestellt werden konnten. Gibt es mehr als ein ungebundenes Instruktionsmodell, dessen letzter Orientierungspunkt durch Verwendung der speziellen Region ZIEL beschrieben ist, so wird das ungebundene Instruktionsmodell für diese Ergänzung gewählt, welche die kürzeste Folge von Pfaden repräsentiert. Auf diese Weise werden nicht erkannte Überlappungen der beiden Instruktionsmodelle minimiert. Sollte auch dieses Kriterium nicht ausreichen, um eine Wahl zu treffen, wird zufällig eines der ungebundenen Instruktionsmodelle zur Vervollständigung ausgewählt. Die übrigen

Instruktionsmodelle, welche einen Orientierungspunkt beinhalten, welcher in der Region ZIEL liegt, können nun ebenfalls in das neue initiale Instruktionsmodell integriert werden. Im untersuchten Korpus musste diese Regel nur ein einziges Mal angewendet werden, wobei es nur ein ungebundenes Instruktionsmodell gab, welches einen Orientierungspunkt in der Region ZIEL repräsentiert.

Ist eine Ergänzung zu einer vollständigen Route auch durch die Integration eines ungebundenen Instruktionsmodells nicht möglich, so wird das initiale Instruktionsmodell zu einer Repräsentation einer vollständigen Route ergänzt, indem jedem Orientierungspunkt, welcher nicht Startpunkt eines Pfades ist, die räumliche IN Relation zur besonderen Region ZIEL hinzugefügt wird.

In 8 (38.0 %) der untersuchten Routenbeschreibungen musste das Ziel der Routenanfrage auf diese Weise ergänzt werden, um eine vollständige Route zu erhalten. Dieses Ziel wurde allerdings in allen Fällen auch im Protokoll nicht explizit genannt.

6.9 Beispiel für Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Zum Abschluss des Kapitels soll die Integration von Instruktionsmodellen an einem Beispiel demonstriert werden. Als Beispiel wird eine gekürzte Version der Routenbeschreibung, welche in Kapitel 5 als Beispiel verwendet wurde, genutzt. Diese gekürzte Routenbeschreibung besitzt nur noch ein Segment, für welches eine distal diskontinuierliche Relation ermittelt wird.

Routenbeschreibung R_1 :

„Da müßt Ihr da vorgehen erstmal. Bis vor den Kaufhof. Und dann links runter. Jetzt über den Hauptmarkt weg. Dann in die Simeonstraße. Dann ist links der Karstadt, rechts der Kaufhof und da gehen Sie die Straße runter und da kommen Sie unten aufn Pferdemarkt.“

Tabelle 6.7 zeigt die Zerlegung in Segmente und die ermittelten lokalen Relationen. Abbildung 6.12 zeigt das initiale und das diskontinuierliche Instruktionsmodell, welche aus der Routenbeschreibung aufgebaut werden und die gefundenen Landmarken-Koreferenzen, welche zwischen den beiden Instruktionsmodellen ermittelt werden können. Zur Übersichtlichkeit wurden einige mit der Relation IDENTIFIKATION verbundene Knoten zusammengefasst.

Durch die gefundenen Landmarken-Koreferenzen zwischen den Knoten $stpt_1$ und $stpt_3$ beziehungsweise fpt_1 und fpt_4 kann die distale Relation zwischen den Instruktionsmodellen festgestellt werden: Das initiale Instruktionsmodell I_I und das diskontinuierliche Instruktionsmodell I_D überlappen sich. Daher wird versucht, weitere Koreferenzen zu ermitteln.

Es ist nicht möglich, Ähnlichkeits-Koreferenzen zwischen den Instruktionsmodellen herzustellen, da keine ähnlichen Beschreibungen von Pfaden nach dem in Abschnitt 6.6 vorgestellten Kriterien vorliegen.

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

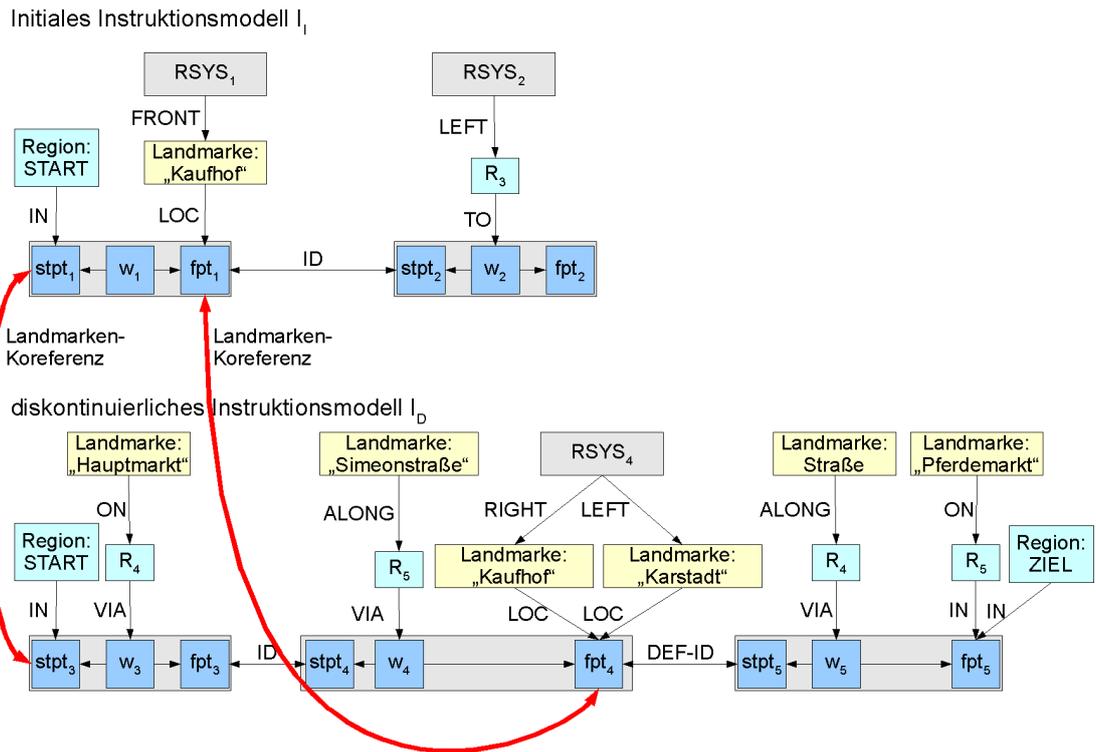


Abbildung 6.12: Initiales und diskontinuierliches Instruktionsmodell, welche aus Routenbeschreibung R_1 generiert worden sind und Landmarken-Koreferenzen zwischen den Instruktionsmodellen

6.9 Beispiel für Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Segment	Beschreibungsanteil	Art	ermittelte lokale Relation
1	Da müßt Ihr da vorgehen erstmal.	Pfadsegment	-
2	Bis vor den Kaufhof.	Pfadsegment	stationär diskontinuierlich
3	Und dann links runter.	Pfadsegment	kontinuierlich
4	Jetzt über den Hauptmarkt weg.	Pfadsegment	distal diskontinuierlich
5	Dann die Simeonstraße runter gehen.	Pfadsegment	kontinuierlich
6	Dann ist links der Karstadt, rechts der Kaufhof	Ortssegment	kontinuierlich
7	und da gehen Sie die Straße runter	Pfadsegment	Defaultschluss: kontinuierlich
8	und da kommen Sie unten aufn Pferdemarkt.	Pfadsegment	stationär diskontinuierlich

Tabelle 6.7: Segmentierung und ermittelte lokale Relationen der Routenbeschreibung R_1

Zur Ermittlung von Struktur-Koreferenzen werden die beiden Folgen von Pfaden F_{A1} und F_{A2} des initialen Instruktionsmodells betrachtet, welche noch nicht koreferente Pfade enthalten.

F_{A1} liegt zwischen zwei koreferenten Orientierungspunkten und umfasst den Pfad w_1 . Für F_{A1} liegt eine Evidenz gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz E-1 vor, da zwischen zwei koreferenten Orientierungspunkten der Instruktionsmodelle eine ungleiche Anzahl von Pfaden liegen. Diese Evidenz kann nicht durch Korrektur von Defaultschlüssen über lokale Relationen beseitigt werden, da in dem betrachteten Teil der Instruktionsmodelle keine Relation der Art `DEFAULT-IDENTIFIKATION` verwendet wird. Daher können für F_{A1} keine Struktur-Koreferenzen ermittelt werden.

F_{A2} liegt zwischen einem koreferenten Orientierungspunkt und dem letzten Orientierungspunkt des initialen Instruktionsmodells. Für F_{A2} liegt keine Evidenz gegen die Defaultannahme zur Struktur-Koreferenz vor. Daher können nach den in Abschnitt 6.7.2 vorgestellten Regeln Struktur-Koreferenzen hergestellt werden: $stpt_2$ ist koreferent zu $stpt_5$, w_2 ist koreferent zu w_5 und fpt_2 ist koreferent zu fpt_5 .

Die gefundenen Koreferenzen werden zur Relation `IDENTIFIKATION` umgewandelt. Da nach der Integration keine weiteren Segmente zur Verarbeitung vorliegen, beginnt die Finalisierungsphase von `DIV`. Es liegen keine ungebundenen Instruktionmodelle vor, welche in der Finalisierungsphase erneut integriert werden könnten. Die Repräsentation der Route ist vollständig in dem Sinne, dass sie von der Region `START` zu der Region `ZIEL` führt, daher ist keine Vervollständigung der Route notwendig. Auf Grund der nicht koreferenten Knoten im Instruktionsmodell gibt es zwei mögliche Aktionspläne, welche

6 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

generiert werden können. Abbildung 6.13 zeigt das neu entstandene Instruktionsmodell. Tabelle 6.8 zeigt die beiden möglichen Aktionspläne, welche aus diesem Instruktionsmodell generiert werden können.

Aktionsplan 1	Aktionsplan 2
go!(w ₁)	go!(w ₃)
go!(w ₂)	go!(w ₄)
	go!(w ₂)

Tabelle 6.8: Mögliche Aktionspläne, welche aus dem integrierten Instruktionsmodell der Routenbeschreibung R_1 generiert werden können

6.9 Beispiel für Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

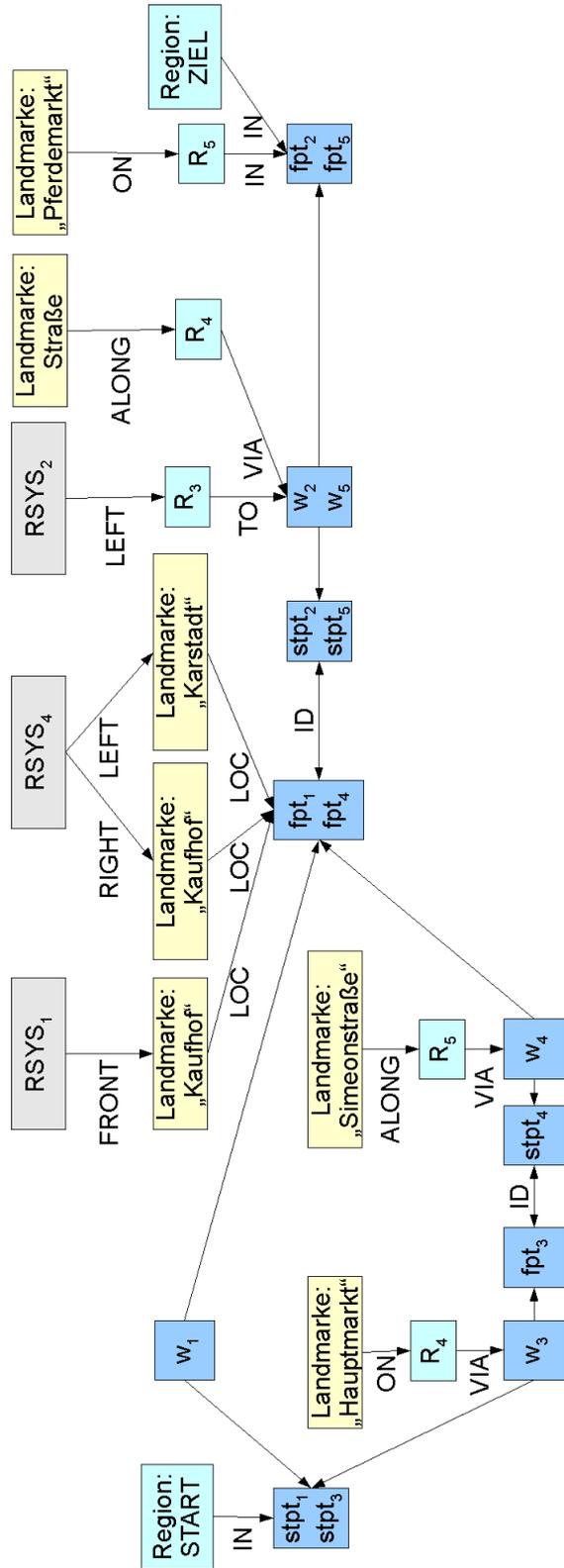


Abbildung 6.13: Integriertes Instruktionsmodell zur Routenbeschreibung R_1

7 Fazit und Ausblick

7.1 Einleitung

In diesem Kapitel wird eine Evaluation des entwickelten Verfahrens anhand eines Beispielkorpus vorgestellt. Dabei werden offene Probleme der Verarbeitung diskontinuierlicher Routenbeschreibungen angesprochen und Vorschläge zur Lösung gegeben. Im zweiten Teil des Kapitels werden Möglichkeiten vorgestellt, wie auf den in dieser Arbeit vorgestellten Befunden und Methoden aufgebaut werden kann und wie sich diese Befunde und Methoden in anderen Kontexten eventuell nutzen lassen.

7.2 Evaluation der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung für die untersuchten Routenbeschreibungen des Tierkorpus noch einmal zusammengetragen. Dabei wird sowohl die Korrektheit einzelner Verarbeitungsschritte wie die Ermittlung lokaler Relationen als auch die Verwendbarkeit der Resultate für die Navigation eines künstlichen Agenten diskutiert.

Die Auswahl und Aufbereitung der untersuchten Routenbeschreibungen wurde bereits in Abschnitt 5.3 dargestellt. Alle im folgenden präsentierten Ergebnisse beziehen sich auf die 21 untersuchten Routenbeschreibungen des Trierkorpus.

7.2.1 Ermittlung lokaler Relationen

Die Ermittlung lokaler Relationen ist ein wichtiger Schritt in der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung. Im Folgenden soll die Korrektheit dieses Verarbeitungsschrittes unter Berücksichtigung der Korrekturen durch die Integration distaler Instruktionsmodelle vorgestellt werden.

Mit insgesamt 36 falsch ermittelten lokalen Relationen auf 215 Segmenten liegt die Fehlerquote für die Ermittlung lokaler Relationen bei etwa 16.7 %. Dies scheint zunächst kein befriedigendes Resultat zu sein. Es ist aber zu beachten, dass diese Daten nur einen Zwischenstand der Verarbeitung darstellen. Fehler in dieser Phase können während der Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle noch korrigiert werden.

Die vorkommenden Fehler können in drei Anteile zerlegt werden: Falsch positiv klassifizierte distal diskontinuierliche Relationen, falsch ermittelte andere lokale Relationen und

Art des Fehlers	Anzahl
falscher Defaultschluss	15
falsche distal diskontinuierliche Relation	20
falsche nicht distal diskontinuierliche Relation	1

Tabelle 7.1: Falsch ermittelte lokale Relationen vor der Korrektur durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

falsche Defaultschlüsse über lokale Relationen. Die Verteilung der Fehler ist in Tabelle 7.1 dargestellt.

Falsch klassifizierte distal diskontinuierliche Relationen

Eine lokale Relation wurde falsch positiv als distal diskontinuierlich ermittelt, falls das Segment in einer kontinuierlichen, einer lokal diskontinuierlichen oder einer stationär diskontinuierlichen Relation zum vorangegangenen Segment steht. Eine falsch positiv ermittelte distal diskontinuierliche Relation führt zu Aufbau und Integration eines diskontinuierlichen Instruktionsmodells. Die Integration ist in diesen Fällen unnötig, muss aber nicht zwingend zu Fehlern im entstehenden finalen Instruktionsmodell führen. Kann das diskontinuierliche Instruktionsmodell korrekt in das initiale Instruktionsmodell integriert werden, so entsteht lediglich ein zusätzlicher Aufwand, welcher sich als erhöhter Bedarf an Arbeitsspeicher und Rechenoperationen in einem künstlichen System äußert. Erst wenn auch die Integration inkorrekt verläuft, führt eine falsch positiv ermittelte distal diskontinuierliche Relation zu Fehlern im finalen Instruktionsmodell.

Von den 20 diskontinuierlichen Instruktionsmodellen, welche durch falsch positiv klassifizierte distal diskontinuierliche Relationen entstanden sind, können 17 auf Grund einer Landmarken-Koreferenz in das initiale Instruktionsmodell integriert werden.

Falsche Defaultschlüsse über lokale Relationen

Fehler bei Defaultschlüssen machen einen großen Teil der falsch ermittelten lokalen Relationen aus. Ein Defaultschluss wird dann getroffen, wenn ein Segment keine Eigenschaften besitzt, welche es erlauben, einen informierten Schluss über seine lokale Relation zum vorangegangenen Segment zu treffen. Im Falle von Pfadsegmenten wird die spezielle Relation `DEFAULT-IDENTIFIKATION` genutzt, um die Unsicherheit der ermittelten Relation festzuhalten und bei der Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle möglicherweise zu korrigieren. Die lokale Relation von 15 Segmenten (7.0 %) wurde falsch ermittelt. Von diesen falsch ermittelten lokalen Relationen werden 4 durch die Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle korrigiert.

Art des Fehlers	Anzahl
falscher Defaultschluss	11
falsche distal diskontinuierliche Relation	3
falsche nicht distal diskontinuierliche Relation	1

Tabelle 7.2: Falsch ermittelte lokale Relationen nach der Korrektur durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Falsche Klassifikation von anderen lokalen Relationen

Mit nur einem Fehler bei der Ermittlung der übrigen lokalen Relationen liegt die Fehlerquote bei 0.5 %. Dies kann als ein Indiz dafür gesehen werden, dass die in dieser Arbeit vorgestellten Eigenschaften für Segmente und ihre Bedeutung für die Ermittlung lokaler Relationen zumindest im untersuchten Korpus einen hohen Grad an Korrektheit aufweisen.

Falsche lokale Relationen nach Korrektur durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle

Durch die Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle sinkt die Zahl der falsch ermittelten lokalen Relationen auf 15 (12.0 %). Tabelle 7.2 zeigt die Verteilung der verbliebenen falsch ermittelten lokalen Relationen nach der Korrektur durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle. Die häufigste Fehlerart nach der Korrektur durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle sind falsche Defaultschlüsse über lokale Relationen.

Häufigkeit der Anwendung verschiedener Regeln zur Bestimmung lokaler Relationen

Ein weiterer Befund der Evaluation ist, welche Bedingungen und Regeln zur Ermittlung lokaler Relationen häufig zur Anwendung kommen. Wird eine Regel oder Bedingung häufig und korrekt genutzt, um die lokale Relation des Segmentes zu bestimmen, kann dies als ein Indiz dafür gesehen werden, dass ein allgemeingültiges Prinzip erkannt wurde, welches auch für andere Korpora zu korrekten Ergebnissen führt.

Die zur Ermittlung lokaler Relationen genutzten Regeln lassen sich danach unterscheiden, ob inhaltliche Eigenschaften der Segmente, Weltwissen über die in der Routenbeschreibung verwendeten Landmarken, sprachliche Eigenschaften der Segmente oder Defaultannahmen genutzt werden. Dies erlaubt es aufzuschlüsseln, zu welchem Anteil die verschiedenen Wissensquellen zur diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung beitragen. Tabelle 7.3 zeigt die statistische Verteilung der auf den Korpus angewendeten Regeln. Tabelle 7.4 fasst die genutzten Wissensquellen zusammen. Es wird deutlich, dass DIV zur Ermittlung lokaler Relationen inhaltliche und sprachliche Eigenschaften

Regel	Anzahl der Anwendung	Art
D-1 „SP: hier“	15	sprachliche Eigenschaft
D-2 „SP: jetzt“	5	sprachliche Eigenschaft
D-3 „SP: also“	9	sprachliche Eigenschaft
D-4 Wiederholung einzigartiger Landmarke	20	inhaltliche Eigenschaft und Weltwissen über Landmakren
D-5 „SP: Moment“	0	sprachliche Eigenschaft
D-6 nach Nennung des Ziels	3	inhaltliche Eigenschaft
O-1 „SP: dann“	3	sprachliche Eigenschaft
O-2 „SP: und“	5	sprachliche Eigenschaft
O-3 „I: Ziel der Route“	4	inhaltliche Eigenschaft
O-4 „SP: wo“	3	sprachliche Eigenschaft
P-1 Inkompatibilität	5	inhaltliche Eigenschaft und Weltwissen über Landmarken
P-2 „I: Ereignis“	26	inhaltliche Eigenschaft
P-3 „SP: dann“	22	sprachliche Eigenschaft
P-4 „I: Distanz“	4	inhaltliche Eigenschaft
P-5 „I: Restriktion“	1	inhaltliche Eigenschaft
P-6 „I: vorbei“	4	inhaltliche Eigenschaft
P-7 „SP: bis“	2	sprachliche Eigenschaft
P-8 „SP: immer“	11	sprachliche Eigenschaft
Defaultschluss	52	Defaultschluss

Tabelle 7.3: Häufigkeit der Anwendung der Regeln zur Bestimmung lokaler Relationen im untersuchten Korpus

von Segmenten etwa zu gleichen Teilen nutzt. Etwa ein Viertel der lokalen Relationen wird durch Defaultschlüsse ermittelt.

7.2.2 Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle und Finalisierungsphase

Durch Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle in das initiale Instruktionsmodell und die Finalisierungsphase von DIV entsteht ein zusammenhängendes Instruktionsmodell, welches an den Geometrischen Agenten zur Navigation weitergegeben werden kann. Entscheidend für den Nutzen von DIV innerhalb des Projektes Geometrischer Agent ist die Frage, ob die entstehenden Instruktionsmodelle eine erfolgreiche Navigation versprechen.

Art der Eigenschaft	Häufigkeit der Nutzung
sprachliche Eigenschaft	75
inhaltliche Eigenschaft	42
inhaltliche Eigenschaft und Weltwissen	26
Defaultschluss	52

Tabelle 7.4: Nutzung von inhaltlichen und sprachlichen Eigenschaften von Segmenten zur Ermittlung lokaler Relationen

Von den 21 ausgewerteten Verarbeitungen von Routenbeschreibungen haben 20 zu einem Instruktionsmodell geführt, welches höchstens Fehler in der Beschreibung eines einzelnen Orientierungspunktes oder Pfades der repräsentierten Route oder aber in Form einer nicht erkannten stationär diskontinuierlichen lokalen Relation enthalten. Diese Fehler sind zu einem großen Teil auf Fehler bei der Ermittlung lokaler Relationen zurückzuführen. Eines der Protokolle hingegen führte zu einer gänzlich unbrauchbaren Beschreibung.¹ Diese 20 Instruktionsmodelle können prinzipiell für eine Navigation genutzt werden. Dies entspricht einer Erfolgsquote von über 95 %. Ob eine Navigation anhand dieser Modelle erfolgreich ist, muss noch untersucht werden.

Von den entstandenen Instruktionsmodellen enthalten 6 nicht koreferente Knoten, was zu alternativen Aktionsplänen führt. In Abschnitt 6.7.3 ist beschrieben worden, wie mit solchen Instruktionsmodellen umgegangen werden kann.

Fehler

Ein großer Teil der Fehler in den generierten Instruktionsmodellen besteht in nicht erkannten stationär diskontinuierlichen lokalen Relationen, was zu einer Wiederholung desselben Pfades im Modell der Route führt. Diese Pfade sind durch eine Default-Identifikation in das Instruktionsmodell eingebunden. Es wäre daher nützlich, die Navigationsphase so zu verändern, dass Pfade, welche mit einer Default-Identifikation zum vorangegangenen Pfad verbunden sind, besonders behandelt werden.

Eine zweite Art von Fehlern betrifft die räumlichen Relationen, durch welche Pfade und Orientierungspunkte beschrieben werden. Fehler bei den räumlichen Relationen können durch falsche Identifikationen von Knoten entstehen. Beispielsweise kann ein Knoten, welcher einen Orientierungspunkt repräsentiert, mit dem falschen Knoten eines Instruktionsmodells identifiziert werden, da eine falsche lokale Relation ermittelt wurde. Die entstehende Beschreibung des Orientierungspunktes kann zu Fehlern in der Navigationsphase führen, da ein Orientierungspunkt, so wie er im Instruktionsmodell beschrieben ist, möglicherweise gar nicht in der Umgebung der Routenbeschreibung existiert und so-

¹Noch verfügt DIV über keinen Mechanismus, um derartig misslungene Integrationen zu erkennen und möglicherweise zu ermitteln, an welcher Stelle der Fehler geschehen ist. Eine Möglichkeit zur Selbstkorrektur, eventuell unter Berücksichtigung von Perzeption während der Navigationsphase, wäre eine denkbare Erweiterung für DIV.

mit auch von einem Agenten nicht perzipiert werden kann. Für den GA wäre ein solcher Orientierungspunkt selbst durch systematische Suche unauffindbar.

Fehler bei den räumlichen Relationen kommen sechs Mal in den entstandenen Instrukti-
onsmodellen vor. Es wäre daher nützlich, Mechanismen zu entwickeln, um mit derartigen
Fehlern während der Navigationsphase umzugehen.

Legt man die erfolgreiche Navigation des GA als Maßstab zugrunde, so kann argumen-
tiert werden, dass eine Routenbeschreibung mit diskontinuierlichen Anteilen der Art
Wiederholung ohne eine diskontinuierliche Instrukti-
onsverarbeitung sehr wahrscheinlich
zu einer erfolglosen Navigation führt. Ein Instrukti-
onsmodell, welches die Route in einer
kontinuierlichen Weise, aber mit einigen wenigen Fehlern in Bezug auf einzelne Pfade
oder Orientierungspunkte repräsentiert, erhöht die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen
Navigation. Die Kontinuität des durch DIV generierten Instrukti-
onsmodells wurde mit
der Möglichkeit fehlerhafter Beschreibungen einzelner Pfade und Orientierungspunkte
erkauft.

Ungebundene Instrukti- onsmodelle

Betrachtet man die Anzahl der Segmente, welche zu diskontinuierlichen Instrukti-
onsmodellen verarbeitet werden, die ungebunden bleiben, im Verhältnis zur Gesamtanzahl der
zu verarbeitenden Segmente, so fällt der prozentuale Anteil mit 5.6 % verhältnismäßig
gering aus. Interessant ist, zu betrachten, aus welchen Segmenten die ungebundenen
Instrukti-
onsmodelle aufgebaut worden sind und ob die Informationen in den ungebundenen
Instrukti-
onsmodellen redundant in Bezug auf das durch DIV generierte Instrukti-
onsmodell sind. Ein Viertel der ungebundenen Instrukti-
onsmodelle enthalten wichtige
Informationen, wie etwa Straßennamen, welche nicht im generierten Instrukti-
onsmodell
enthalten sind. Die übrigen ungebundenen Segmente entsprechen stark abstrahierenden
Wiederholungen, welche häufig am Ende der Routenbeschreibung gegeben werden, wie
zum Beispiel folgender Satz: „Also links, geradeaus, runter.“

Reduktion der durch Instrukti- onsmodelle repräsentierten Pfade und Orientierungspunkte

Die Routen, welche durch die finalen und vervollständigten Instrukti-
onsmodelle in die-
ser Evaluation repräsentiert sind, bestehen im Schnitt aus 2.75 Pfaden mit Start- und
Endpunkten. Eine Routenbeschreibung in dieser Evaluation wurde zu durchschnittlich
10 Segmenten verarbeitet, von denen durchschnittlich 8.4 Pfadsegmente sind. Dies ent-
spricht einer Reduzierung der in den Instrukti-
onsmodellen repräsentierten Pfade durch
die diskontinuierliche Instrukti-
onsverarbeitung um etwa zwei Drittel.

Sowohl bei der Verarbeitung lokaler Relationen als auch bei der Integration diskontinuier-
licher Instrukti-
onsmodelle, können Knoten der CRIL-Netze, welche Pfade des internen
Modells der Route repräsentieren, miteinander identifiziert werden. Identifikation von

Pfaden macht den Großteil der Reduktion von Pfadsegmenten innerhalb der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung aus. Nur ein kleiner Teil der reduzierten Pfade bleibt in ungebundenen Instruktionsmodellen zurück.

Während die diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung die Anzahl der Pfade, welche im Instruktionsmodell repräsentiert werden, verringert, wird gleichzeitig die Anzahl der räumlichen Relationen, welche diese Pfade beschreiben, erhöht.

7.2.3 Bestehende Probleme und mögliche Veränderungen an der Navigationsphase des GA

DIV wurde für den eingeschränkten Problembereich der Wiederholungs-Diskontinuitäten entwickelt. Auch wenn andere Arten von Diskontinuitäten im untersuchten Korpus deutlich seltener vorkommen, so ist die Verarbeitung von Routenbeschreibungen mit anderen diskontinuierlichen Anteilen als Wiederholung problematisch und führt möglicherweise zu Instruktionsmodellen, welche für die Navigation unbrauchbar sind. Eine Lösung dieses Problems wäre eine Erweiterung der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung auf andere Arten von Diskontinuitäten. Die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden könnten, in abgewandelter Form genutzt werden, um auch andere Arten von Diskontinuitäten in Routenbeschreibungen zu erkennen und in ein Instruktionsmodell zu integrieren.

DIV wurde anhand eines einzelnen Korpus entwickelt. Inwieweit die Resultate der Evaluation auf andere Korpora übertragbar sind, muss noch überprüft werden. So ist keinesfalls sicher, dass die im Trierkorpus identifizierten sprachlichen Marker allgemein gültig sind. Gliederungssignale unterliegen als Teil der mündlichen Sprachkultur möglicherweise regionalen oder milieuhängigen Unterschieden.

Eine weitere Eigenschaft der von DIV generierten Instruktionsmodelle ist die oft große Zahl von räumlichen Relationen zur Beschreibung eines Pfades oder Orientierungspunktes. Es kann vorkommen, dass eine räumliche Relation eine andere impliziert. Wird ein Pfad zum Beispiel dadurch beschrieben, dass er auf einer Straße liegt und dass er auf der „Grabenstraße“ liegt, so ist die erste räumliche Relation redundant in dem Sinne, dass ein Pfad, welcher auf der „Grabenstraße“ liegt, stets auch auf einer Straße liegt, da die Grabenstraße eine Straße mit einem individuellen Namen ist. Solche Redundanzen können bereits in der Instruktionsphase erkannt und die redundanten räumlichen Relationen entfernt werden.

Umgang mit Default-Identifikationen: Wie die Auswertung der Fehler in den entstandenen Instruktionsmodellen zeigt, ist die Information, dass ein Pfad nur mittels einer Default-Identifizierung mit dem vorangehenden Pfad verbunden wurde, wichtig, da an diesen Stellen Fehler gehäuft auftreten. Diese Information bleibt nach der Finalisierungsphase jedoch ungenutzt. Es wäre wünschenswert, diese Information auch in der Navigationsphase zu nutzen. So könnte etwa vor einem Pfad, welcher durch eine Default-Identifikation mit dem vorangegangenen Pfad verbunden ist, geprüft werden, ob aus der Perzeption eindeutige Hinweise dafür vorliegen, dass der Endpunkt dieses Pfades schon

erreicht ist. In diesem Fall könnte erkannt werden, dass dieser Pfad mit dem gerade traversierten Pfad hätte identifiziert werden müssen.

Umgang mit räumlichen Relationen: Fehlerhafte räumliche Relationen, welche Pfade oder Orientierungspunkte beschreiben, stellen ein Problem für den Geometrischen Agenten dar, da diese ihm möglicherweise nicht erlauben, einen Pfad oder Orientierungspunkt mittels Perzeption zu identifizieren. Es wäre nützlich, die Navigationsphase so zu erweitern, dass diese Fehler erkannt und kompensiert werden könnten.

Es könnte hilfreich sein, zu untersuchen, welche Arten von räumlichen Relationen die sichersten Hinweise für eine eindeutige Identifikation eines Pfades oder Orientierungspunktes des Instruktionsmodells mit einem perzipierten Objekt liefern. Dies könnte bei Pfaden oder Orientierungspunkten, welche über eine große Zahl von räumlichen Relationen beschrieben sind, zu einer Priorisierung solcher räumlicher Relationen genutzt werden, welche eine erfolgreiche Navigation versprechen. Beispielsweise erlaubt die Beschreibung eines Pfades durch explizite Straßennamen unter der Annahme, dass Straßenschilder in der Umgebung der Route häufig vorkommen und der Agent diese nutzen kann, eine sicherere Identifikation von beschriebenen Pfaden, mit wahrgenommenen Pfaden, als eine Eigenschaft wie „gerade“, welche zum einen auf eine große Zahl von Pfaden zutrifft und zum anderen oft nicht immer bei der Wahl eines Pfades festgestellt werden kann, da möglicherweise nur ein Teil des Pfades wahrnehmbar ist.

Fehlererkennung und Integration ungebundener Instruktionsmodelle auf Grundlage von Perzeption: Perzeption während der Navigationsphase kann genutzt werden, um Fehler in der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung zu erkennen. Fehler in der Navigationsphase, wie die Nichtauffindbarkeit von Pfaden oder Orientierungspunkten, kann entweder als ein Fehler in der Navigationsphase oder aber als ein Fehler in der (diskontinuierlichen) Instruktionsverarbeitung interpretiert werden. Tritt ein solcher Fehler auf, kann dies als Anlass genutzt werden, um Schlüsse der diskontinuierlichen Instruktionsverarbeitung noch einmal zu revidieren.

Perzeption kann auch genutzt werden, um ungebundene Instruktionsmodelle während der Navigationsphase in das Instruktionsmodell zu integrieren. Wird eine einzigartige Landmarke perzipiert, welche in einem ungebundenen Instruktionsmodell zur Spezifikation eines Pfades oder Orientierungspunktes genutzt wird, kann versucht werden, auf dieser Grundlage eine nachträgliche Integration vorzunehmen. Dazu können die in Kapitel 6 vorgestellten Mechanismen zur Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle genutzt werden.

7.2.4 Fazit über den technischen Nutzen von DIV

Wie die Evaluation gezeigt hat, ist DIV in der Lage, Routenbeschreibungen mit diskontinuierlichen Anteilen der Art Wiederholung für den Geometrischen Agenten zu erstellen.

Diese Arbeit kann somit als eine Abrundung der Forschung am Geometrischen Agenten angesehen werden, welche die Instruktionsverarbeitung in der Instruktionsphase für diskontinuierliche Beschreibungsanteile der Art Wiederholung löst. Dadurch wird die Funktionalität des Agenten auf eine neue Art von Routenbeschreibungen erweitert und die Nutzung neuer Korpora erschlossen.

Diskontinuierliche Anteile kommen vor allem in mündlichen Routenbeschreibungen vor. Die Möglichkeit, Routenbeschreibungen mit diskontinuierlichen Anteilen der Art Wiederholung für die Navigation eines künstlichen Agenten zu verwenden, erlaubt es, Anwendungen zu entwickeln, in denen Menschen einen Agenten mündlich instruieren. Es ist nicht notwendig, die Routenbeschreibungen an diesen Agenten anders zu strukturieren, als dies einem Menschen gegenüber geschehen würde. Dies könnte zu höherer Akzeptanz bei den Benutzern führen und die Effizienz der Mensch-Maschine-Kommunikation verbessern.

Möglichkeit einer Implementation und Komplexität des Verfahrens

DIV nutzt eine Reihe von in der Informatik bewährter Verfahren. Darunter fallen Entscheidungsbäume, Suche in Graphen, wie den CRIL-Netzen und elementare Operationen auf einfachen Strukturen. Daher kann DIV mit einem vertretbaren Aufwand implementiert werden. Sollte dies im Rahmen des GA-Projektes geschehen, bietet es sich an, die für den GA verwendete Programmiersprache PROLOG, zu verwenden. So ließe sich ein Teil der bereits vorhandenen Funktionalität für DIV wiederverwenden und eine einfache Interaktion zu anderen Teilen des GA-Programms realisieren.

Die einzelnen in DIV verwendeten Verfahren könnten auf Grund ihrer Komplexität theoretisch große Mengen an Arbeitsspeicher und Rechenoperationen benötigen. Doch sind die zu verarbeitenden Datenmengen in der Regel so klein, dass keine Probleme bei der Nutzung der Implementation von DIV auf heutigen Einzelplatzarbeitsrechnern entstehen.

7.2.5 Kognitionswissenschaftliches Fazit

Werden die räumlichen Informationen einer Routenbeschreibung in weniger stark strukturierter Weise kommuniziert, ist es Aufgabe des Instruierten, die gehörten Informationen zu strukturieren, um so ein zusammenhängendes mentales Modell der Route aufzubauen. Diskontinuierliche Anteile der Art Wiederholung sind eine Art der Unstrukturiertheit. DIV modelliert den Prozess des Aufbaus eines zusammenhängenden mentalen Modells einer Route. Dazu sind neben einer Kenntnis der Struktur von Routen und der möglichen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Teilen dieser Struktur auch Wissen über Landmarken und sprachliches Wissen über die Bedeutung von Gliederungssignalen (in dieser Arbeit als sprachliche Marker bezeichnet) notwendig. Einzigartige Landmarken und die deiktischen und temporalen sprachlichen Marker („hier“ und „jetzt“) bilden den

7 Fazit und Ausblick

Ausgangspunkt zur Herstellung von Koreferenzen zwischen einzelnen Teilen der Routenbeschreibung und erlauben es so, diskontinuierliche Instruktionsmodelle in initiale Instruktionsmodelle zu integrieren. Daher kann angenommen werden, dass einzigartige Landmarken nicht nur für die eigentliche Navigation, sondern auch bereits beim Verstehen von Routenbeschreibungen, welche Wiederholungen enthalten, eine wichtige Rolle spielen.

DIV versucht, Segmente auf Grund lokaler Relationen in ein Instruktionsmodell zu integrieren. Erst wenn dies nicht möglich ist, kommt es zur Integration diskontinuierlicher Instruktionsmodelle. Mit diesem Vorgehen soll ein inkrementeller Verstehensprozess nachgebildet werden, bei dem ein Aufbau mentaler Modelle bereits beim Hören einer Beschreibung, und nicht erst nach vollständigem Erhalt der Beschreibung, erfolgt. Dies ist nach [Budiu & Anderson 04] eine adäquate Modellierung des Verstehens von Texten in natürlichen kognitiven Systemen. Die Evaluation zeigt, dass dieser Ansatz für das Verstehen von Routenbeschreibungen im Prinzip erfolgreich ist.

7.3 Ausblick

Neben den bereits erwähnten Modifikationen an der Navigationsphase des Geometrischen Agenten, um mit fehlerhaften oder uneindeutigen Instruktionsmodellen besser umgehen zu können, möchte ich drei Vorschläge geben, wie auf den in dieser Arbeit vorgestellten Befunden und Methoden sowohl im Rahmen des Geometrischen Agenten als auch unabhängig von diesem, aufgebaut werden kann.

7.3.1 Nutzung diskontinuierlicher Beschreibungsanteile

Diskontinuierliche Beschreibungsanteile werden durch DIV in eine lineare Struktur gefügt. Ziel dieses Vorgehens ist es, eine Grundlage für die Navigation des Geometrischen Agenten zu schaffen. Diskontinuierliche Anteile der Art Wiederholung werden als ein Problem betrachtet, welches durch die diskontinuierliche Instruktionsverarbeitung gelöst wird. Einige der in Kapitel 3 vorgestellten Erklärungsmodelle für diskontinuierliche Anteile, gehen jedoch davon aus, dass diskontinuierliche Anteile einen Nutzen für die Kommunikation räumlicher Informationen haben können.

So könnten Wiederholungen, welche eine hierarchische Strukturierung von Informationen nahe legen, zu einer besseren Enkodierung der Informationen beim Zuhörer durch Chunking führen. Einen technischen Nutzen hätte dies allerdings nicht, da der GA über ein Gedächtnis verfügt, aus dem er jederzeit alle Informationen gleich zuverlässig abrufen kann.

Andererseits könnte die mehrfache Wiederholung einer Passage der Route oder einer speziellen Landmarke als ein Indiz für deren Wichtigkeit gesehen werden. Eine solche Information könnte auch dem Geometrischen Agenten helfen, Prioritäten zwischen einzelnen räumlichen Relationen, welche einen Pfad oder Orientierungspunkt beschreiben, zu setzen.

7.3.2 Generierung von hierarchisch strukturierten Routenbeschreibungen

DIV ist ein Verfahren zur Verarbeitung diskontinuierlicher Routenbeschreibungen. DIV modelliert den Verstehensprozess eines kognitiven Systems, welches eine diskontinuierliche Routenbeschreibung bekommt und versucht, ein mentales Modell der Instruktion aufzubauen. Die in dieser Arbeit vorgestellten Prinzipien könnten zum Teil aber auch in umgekehrter Richtung, für die Generierung einer hierarchisch strukturierten Routenbeschreibung genutzt werden. Die in Kapitel 5 vorgestellten Eigenschaften von Segmenten können genutzt werden, um hierarchisch organisierte Routenbeschreibungen so zu gestalten, dass die Relationen der einzelnen Beschreibungsteile zueinander sicher zu ermitteln sind. Durch DIV ließe sich überprüfen, ob die Segmente einer solchen Beschreibung genug Eigenschaften besitzen, um sie erfolgreich zu einem zusammenhängenden Instruktionsmodell zu integrieren.

Ein solches Generierungsverfahren könnte genutzt werden, um einen künstlichen Agenten zu entwickeln, welcher in der Lage ist, Routenanfragen, basierend auf eigenem räumlichen Wissen, in natürlicher Sprache zu beantworten. Dieser Agent wäre ein Gegenstück zum Geometrischen Agenten. Die Möglichkeiten, welche das GA-Projekt zur Erforschung von Theorien zur Raumkognition bietet, könnten durch die Interaktion dieser beiden Agenten erweitert werden.

7.3.3 Übertragbarkeit auf andere Diskursthemen

Die mangelnde Strukturierung mündlicher Informationen ist sicherlich nicht auf Routenbeschreibungen beschränkt. Es ist denkbar, die hier vorgestellte Lösung auf andere Diskursthemen zu portieren oder womöglich zu einem generellen Ansatz auszuweiten. Ziel wäre es dabei, aus mündlichen sprachlichen Äußerungen ein zusammenhängendes Modell des Beschriebenen zu generieren.

DIV basiert darauf, dass die Beschreibung einer Route in Segmente zerlegt werden kann, welche nur in einer sehr begrenzten Anzahl von Relationen zueinander stehen können. Verschiedene Wissensquellen, wie Gliederungssignale der mündlichen Sprache (sprachliche Marker), Weltwissen über Einzigartigkeit von Landmarken, Bedeutung von deiktischen und temporalen Phrasen in Abhängigkeit der Situation oder Wissen um die Struktur von Routen, werden genutzt, um diese Relationen zu ermitteln. Die Portierbarkeit des Ansatzes auf andere Themen ist daher schwierig zu bewerten. Zunächst müsste die grundlegende Struktur des beschriebenen Vorganges analysiert werden. In Kapitel 2 wurden Routenbeschreibungen aus Sicht der Instruktion von Agenten beschrieben. Es erhöht sicherlich die Erfolgchancen einer Portierung von DIV auf ein anderes Diskursthema, wenn die Beschreibungen einer ähnlichen Abstraktion unterliegen wie Routenbeschreibungen, also zum Beispiel keine Gleichzeitigkeit oder mehrere Handelnde enthalten und eine statische und deterministische Umgebung beschreiben.

7 Fazit und Ausblick

Literaturverzeichnis

- [Allen 97] G. Allen: *From Knowledge To Words To Wayfinding: Issues in the Production and Comprehension of Route Directions* In: S. Hirtle und A. Frank, Hrsg. *Spatial information theory : a theoretical basis for GIS*, Seiten 363 - 372. 1997.
- [Allen 83] J. Allen: *Maintaining knowledge about temporal intervals*. In: *Communications of the ACM*. ACM Press. Seiten 832-843. 1983.
- [Bitkowski 05] N. Bitkowski: *Aktionsplanung und -steuerung unter Unsicherheit bei der Navigation eines Geometrischen Agenten mit Hilfe von Wegbeschreibungen*. Diplomarbeit: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. 2005.
- [Beisswenger 02] M. Beisswenger: *Getippte „Gespräche“ und ihre trägermediale Bedingtheit. Zum Einfluss technischer und prozeduraler Faktoren auf die kommunikative Grundhaltung beim Chatten*. 2002.
- [Bosch 04] T. Bosch: *Bestimmung von Position und Sicht des imaginären Wanderers in Routenbeschreibungen*. Diplomarbeit: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. 2004.
- [Budiu & Anderson 04] Budiu und Anderson: *Interpretation based processing: a unified theory of semantic sentence comprehension*. 2004.
- [Daniel et al. 03] M. Daniel, A. Tom, E. Manghi, M. Denis: *Testing the Value of Route Directions Through Navigational Performance*. In: *SPATIAL COGNITION AND COMPUTATION*, 3(4), Seiten 269-289. 2003.
- [Daniel & Denis 04] M. Daniel, M. Denis: *The Production of Route Directions: Investigating Conditions That Favour Conciseness in Spatial Discourse* In: *APPLIED COGNITIVE PSYCHOLOGY*, 18, Seiten 57-75. 2004.
- [Denis 97] M. Denis: *The description of routes: A cognitive approach to the production of spatial discourse*. 1997.
- [Denis 98] M. Denis: *Spatial Descriptions as Navigational Aids*. 1998.
- [Denis et al. 99] M. Denis, F. Pazzaglia, C. Cornoldi, L. Bertolo: *Spatial Discourse and Navigation: An Analysis of Route Directions in the City of Venice*. In: *Applied Cognitive Psychology*, 13. Seiten 145-174. 1999.
- [Eschenbach 88] C. Eschenbach: *SRL als Rahmen eines textverarbeitenden Systems*. 1988.

Literaturverzeichnis

- [Eschenbach 08] C. Eschenbach: *Semantische Sprachverarbeitung*, Skript zur Vorlesung. 2008.
- [Floyd & Oberquelle 01] Floyd und Oberquelle: *Softwaretechnik und Software-Ergonomie*, Skript zur Vorlesung. 2001.
- [Freud 04] S. Freud: *Zur Psychopathologie des Alltagslebens*. 1904.
- [Fust 08] D. Fust: *Repräsentation von pfadorientierten, prozesshaften Aktionen eines Geometrischen Agenten*. Diplomarbeit: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. 2008.
- [Google Maps] <http://maps.google.de/maps>. Kartenmaterial. Abgerufen: 2008.
- [Habel 85] C. Habel: *Prinzipien der Referentialität: Untersuchungen zur propositionalen Repräsentation von Wissen*. Springer Verlag. 1985.
- [Habel 87] C. Habel: *Cognitive Linguistics: The Processing of spatial concepts*. In: *T.A. Informations - ATALA*, 28, Seiten 21-56. 1987.
- [Habel 88] C. Habel: *Prozedurale Aspekte der Wegplanung und Wegbeschreibung*. In: H. Schnelle, G. Rickheit, Hrsg.: *Sprache in Mensch und Computer*. Seiten 107-133. 1988.
- [Habel et al. 85/08] C. Habel (Hrsg.), K. Carstensen, H. Grote, D. Köbsell, J. Kreyhs, C. Maienborn, P. Naerger, D. Ruper, S. Schumacher: *Wegbeschreibungen in Trier*. Korpus von Routenbeschreibungen der Stadt Trier. <http://www.informatik.uni-hamburg.de/WSV/docs/TrierKorpus.2008.pdf> 1985 / 2008.
- [Helwich 03] J. Helwich: *Graphenbasierte Navigation eines Geometrischen Agenten: Integration von Perzeption und Instruktion*. Diplomarbeit: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. 2003.
- [Klippel et al. 03] A. Klippel, H. Tappe und C. Habel: *Pictorial Representation of Routes: Chunking Route Segments during Comprehension*. In: *Spatial Cognition III*. 2003.
- [Klein 79] W. Klein: *Wegauskünfte*. In: *Zeitschrift für Literaturwissenschaft und Linguistik*, 9. 1979.
- [Levenshtein 65] V. Levenshtein: *Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals*. In: *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 163(4) Seiten 845-848. (Russisch). 1965. Englische Übersetzung in: *Soviet Physics Doklady*, 10(8). Seiten 707-710. 1966.
- [Moilanen 79] M. Moilanen: *Zur pragmatischen Funktion der Demonstrativadverbien hier, da und dort*. In: H. Weydt, Hrsg.: *Die Partikeln der deutschen Sprache*. Seiten 187-200. 1979.
- [Öztürk 08] Z. Öztürk: *Strukturierte Handlungsinformationen für instruierte Agenten am Beispiel der Interpretation von Wegbeschreibungen*. Diplomarbeit: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. 2008.

- [Porzel et al. 02] Porzel, Jansche und Mayer-Klabunde: *Generating Spatial Descriptions from a Cognitive Point of View*. In: Coventry und Oliver, Hrsg.: *Spatial Languages, Cognitive and Computational Perspectives*. 2002.
- [Rosales Sequeiros 95] X. Rosales Sequeiros: *Discourse relations, coherence and temporal relations*. In: J. Harris (ed.) *UCL Working Papers in Linguistics* 7. Seiten 177-195. 1995.
- [Tomko & Winter 05] M. Tomko, S. Winter: *Considerations for efficient communication of route directions*. 2005.
- [Tschander et al. 03] L. Tschander, H. Schmidtke, C. Habel, C. Eschenbach und L. Kulik: *A Geometric Agent Following Route Instructions*. 2003.
- [Quasthoff 79] U. Quasthoff: *Verzögerungsphänomene, Verknüpfungs- und Gliederungssignale in Alltagsargumentationen und Alltagserzählungen*. In: H. Weydt, Hrsg.: *Die Partikeln der deutschen Sprache*. 1979.
- [Ruschmeier 03] C. Ruschmeier: *Spatial Chunking: Organisation von Routenwissen*. 2003.
- [Russell & Norvig 95] S. Russell und P. Norvig: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall. 1995.
- [Spitzer 00] M. Spitzer: *Geist im Netz: Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Spektrum Verlag. 2000.
- [Stadtvermessungsamt Trier 08] Stadtvermessungsamt Trier, City Guide DMS: *Interaktiver Stadtplan der Stadt Trier*, Kartenmaterial. Abgerufen: 2008.
- [Tolman 48] E. Tolman: *Cognitive maps in rats and men*. 1948.
- [Trepel 04] M. Trepel: *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*, 3. Auflage. Urban & Fischer Verlag. 2004.
- [Tverski 93] B. Tverski: *Cognitive Maps, Cognitive Collages and Spatial Mental Models*. 1993.
- [Pinker 94] S. Pinker: *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*. Perennial Classics Verlag. 1994.
- [Poole 98] D. Poole, A. Mackworth und R. Goebel: *Computational Intelligence: a logical approach*. Oxford Verlag. 1998.
- [Scheel & Blanck 08] K. Scheel und H. Blanck: *Spezifikation und Erstellung einer multimodalen CRIL-Instruktion aus einer verbalen und grafischen Routenbeschreibung für die Navigation eines Geometrischen Agenten*. Diplomarbeit: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. 2008.
- [Valk & Girault 03] R. Valk, C. Girault: *Petri Nets for Systems Engeneering, A Guide to Modelling, Verification and Applications*. Springer Verlag. 2003.
- [Zimbardo 88] P. Zimbardo: *Zimbardo Psychologie*, 6. Auflage. Springer Verlag. 1988.

Literaturverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen übernommenen Stellen sind in der Arbeit als solche gekennzeichnet. Ich bin mit einer Einstellung der Diplomarbeit in den Bestand der Bibliothek des Fachbereichs einverstanden.

Hamburg, den 9. Juli 2008

Matthias Kerzel