

Universität Karlsruhe (TH)

Institut für Algorithmen und
Kognitive Systeme
der Fakultät für Informatik

Natürlichsprachliche Beschreibung des Verhaltens von Fahrzeuggruppen

Diplomarbeit
von
Heiko Schreiber

Betreuer: Dr. R. Gerber
Prof. Dr. H.-H. Nagel

Erklärung

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit selbständig erstellt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

Karlsruhe, den 21. Dezember 2001

Heiko Schreiber

Danksagung

Ich bedanke mich bei Ihnen, Herr Professor Nagel, für die hervorragende Betreuung meiner Diplomarbeit. Mich hat besonders beeindruckt, dass Sie sich im Laufe der sechs Monate meiner Diplomarbeit sehr oft die Zeit genommen haben, meine Arbeit durchzulesen und konstruktive Kritik zu üben.

Ein herzliches Dankeschön auch Ihnen, Herr Dr. Gerber. Hervorheben möchte ich meine Hochachtung vor der von Ihnen geleisteten Arbeit auf dem Gebiet der rechnergestützten Generierung natürlichsprachlicher Texte. Aufbauend auf den Resultaten Ihrer Arbeit war es mir möglich, erstaunliche Ergebnisse zu produzieren.

Außerdem danke ich Mitarbeitern des Instituts für Algorithmen und Kognitive Systeme, namentlich Frau Dietrich, Herr Arens, Herr Middendorf und Herr Ottlik, für die lebensfrohe Arbeitsatmosphäre, ermunternde Worte und Ihre Hilfsbereitschaft bei technischen Schwierigkeiten.

Ein Dankeschön gilt auch meiner Frau, die besonders in der ‘heißen Phase’ meiner Diplomarbeit oftmals auf meine Anwesenheit verzichten mußte.

Ein besonders großes Dankeschön gilt meinen Eltern. Über viele Jahre hinweg haben sie mir mit viel Mühe den Weg in die Selbständigkeit geebnet. Möge Ihnen der mit Abgabe der vorliegenden Arbeit näher rückende Abschluß meines Studiums Anlaß zur Freude bieten!

Heiko Schreiber

Kurzfassung

Das Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme (IAKS) beschäftigt sich mit der algorithmischen Auswertung von Bildfolgen, welche an innerstädtischen Straßenverkehrskreuzungen aufgezeichnet werden. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Methode entwickelt, mit der man die Änderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge natürlichsprachlich beschreiben kann. Diese Methode verwendet als Eingabedaten begriffliche Beschreibungen einzelner in einer Bildfolge erkennbarer Fahrzeuge und eine begriffliche Beschreibung der Fahrbahnen einer Straßenverkehrskreuzung. Die verwendeten begrifflichen Beschreibungen stellen das Ergebnis einer algorithmischen Bildauswertung bzw. Bildfolgenauswertung auf geometrischer Ebene dar. Die entwickelte Methode läßt sich in vier Schritte unterteilen. Im ersten Auswertungsschritt werden Fahrzeuge gemäß vorgegebener Schemata zu Fahrzeugmengen zusammengefaßt. Im zweiten Schritt wird eine begriffliche Beschreibung der Änderung der Zusammensetzung einer bestimmten Fahrzeugmenge erschlossen. In einem dritten Schritt werden unter Verwendung der im zweiten Schritt erschlossenen Prädikate *Ereignis*-Prädikate ausgeprägt. Jedes im dritten Schritt ausgeprägte Ereignis-Prädikat bildet im vierten Schritt den Ausgangspunkt für die Formulierung eines natürlichsprachlichen Satzes (vgl. Abschnitt 3.2.1).

Außerdem wurden in der vorliegenden Arbeit natürlichsprachliche Aussagen aufgelistet, welche ein System zur natürlichsprachlichen Beschreibung des Verhaltens von Fahrzeugmengen generieren sollte (vgl. Abschnitt 3.1 und Anhang F).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangspunkt der Arbeit	1
1.2	Ziel der Arbeit	2
1.3	Auswärtige Arbeiten	5
2	Grundlagen	8
2.1	Fahrzeuggruppen	8
2.2	Fahrzeugaggregate als Agenten	11
2.3	Primitiv-begriffliche Beschreibungen	12
2.4	Datenbasis	13
2.5	Situationsgraphenbäume	14
2.6	Unscharfe Metrisch Temporale Logik (FMTHL)	16
2.7	Perspektivierung	16
2.8	Quantorisierung	18
2.9	Diskurs-Repräsentations-Theorie (DRT)	21
2.10	Textgenerierung	21
3	Entwurf und Implementierung	23
3.1	Zu generierende Beschreibungen	23
3.2	Generierung eines Textes	30
3.2.1	Teilschritte	30
3.2.2	Programme	31
3.2.2.1	Programm 1	31
3.2.2.2	Programm 2	33
3.2.2.3	Programm 3	36

3.2.2.4	Programm 4	38
4	Experimentelle Ergebnisse	39
4.1	Durlacher Tor Szene	39
4.1.1	Fahrzeugaggregate in der Szene	39
4.1.1.1	Begriffliche Beschreibung	39
4.1.1.2	Testergebnisse	40
4.1.2	Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge	46
4.1.3	Bildfolge	49
4.1.4	Generierter Text	51
4.2	Ettlinger Tor Szene	52
4.2.1	Bildfolge	52
4.2.2	Begriffliche Beschreibung	52
4.2.3	Generierter Text	54
5	Zusammenfassung und Ausblick	55
5.1	Zusammenfassung	55
5.2	Ausblick	55
A	Vorstudie zu Stausituationen	59
A.1	Situationsgraphenbaum	59
A.2	Texterzeugung	63
B	Programmbausteine	66
B.1	Fahrzeuganzahl	66
B.1.1	Situationsgraphenbaum zur Situationsbestimmung	66
B.1.2	Änderung der Fahrzeuganzahl	71
B.1.3	Situationsgraphenbaum zur Perspektivierung	71
B.2	Aggregation zu Fahrspuren	75
B.3	Quicksort	76
C	Zerteilen	78
C.1	Grammatikregeln	78
C.2	Konstruktionsregeln	81
C.3	Reihenfolge der Konstruktionsregeln	93

D Erzeugte Diskursrepräsentationsstrukturen	94
D.1 Durlacher Tor Szene	94
D.2 Ettlinger Tor Szene	100
E Verwendete Programme	102
E.1 Übersicht zu Programmen	102
E.2 Textgenerierung	105
F Weitere Sätze	108
G Zeitplan	112
G.1 Geplanter Verlauf	112
G.2 Tatsächlicher Verlauf	113
Literaturverzeichnis	114

Abbildungsverzeichnis

1.1	Ettlinger-Tor-Szene.	3
1.2	Durlacher-Tor-Szene.	4
1.3	Von Trajektorienlinien überlagerte Fahrbahnobjekte.	5
2.1	Begriffliche Ebene: Veranschaulichung zu Fahrzeugschlangen.	10
2.2	Begriffliche Ebene: Das verwendete Fahrbahnmodell.	13
2.3	Veranschaulichung der Begriffe Fahrspur und Fahrbahnobjekt.	14
2.4	Allgemeiner Aufbau eines Situationsgraphenbaums.	15
2.5	Perspektivische Beschreibungsvarianten.	19
3.1	Begriffliche Ebene: Das verwendete Fahrbahnmodell.	29
4.1	Veranschaulichung der Begriffe Fahrspur und Fahrbahnobjekt.	47
4.2	Visualisierung des generierten natürlichsprachlichen Textes (Teil 1). . .	49
4.3	Visualisierung des generierten natürlichsprachlichen Textes (Teil 2). . .	50
4.4	Visualisierung des generierten natürlichsprachlichen Textes (Teil 3). . .	51
4.5	Ettlinger-Tor-Szene.	53
A.1	Fahrbahnobjekte aus dem Fahrbahnmodell, die bei der Vorstudie zu Stausituationen betrachtet wurden.	60
A.2	Graphische Darstellung des Situationsgraphenbaums aus Anhang A. . .	64
B.1	Fahrbahnobjekt aus dem Fahrbahnmodell, zu dem die Anzahl der darauf befindlichen Fahrzeuge bestimmt wurde.	67
B.2	Graphische Darstellung des Situationsgraphenbaums aus Anhang B.1.1.	70
B.3	Graphische Darstellung des Situationsgraphenbaums aus Anhang B.1.3.	74

Tabellenverzeichnis

3.1	Charakteristika der zu formulierenden natürlichsprachlichen Aussagen (Teil 1)	27
3.2	Charakteristika der zu formulierenden natürlichsprachlichen Aussagen (Teil 2)	28
4.1	Dokumentation von Testergebnissen (1).	41
4.2	Dokumentation von Testergebnissen (2).	42
4.3	Dokumentation von Testergebnissen (3).	43
4.4	Dokumentation von Testergebnissen (4).	44
4.5	Dokumentation von Testergebnissen (5).	45
E.1	Auswertungs- und Transformationsschritte zur rechnergestützten natürlichsprachlichen Beschreibung.	103
F.1	Übersicht der implementierten logischen Ausdrücke (Teil 1)	109
F.2	Übersicht der implementierten logischen Ausdrücke (Teil 2)	110
F.3	Übersicht der implementierten logischen Ausdrücke (Teil 3)	111

Kapitel 1

Einleitung

Die Arbeiten [Kollnig 95], [Schäfer 96], [Haag & Nagel 98a], [Haag & Nagel 98b], [Haag 98], [Leuck 00] und [Gerber 00] beschreiben verschiedene Teilkomponenten eines am Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme (IAKS) entwickelten Bildfolgenauswertungssystems, das in der Lage ist, das Verhalten *einzelner* Fahrzeuge in innerstädtischen Straßenverkehrsszenen natürlichsprachlich zu beschreiben. Aufbauend auf diesen Arbeiten soll in der vorliegenden Arbeit das Verhalten von Fahrzeug*mengen* natürlichsprachlich beschrieben werden.

1.1 Ausgangspunkt der Arbeit

In [Haag & Nagel 98a], [Haag & Nagel 98b] und [Nagel 01] wird der grundlegende Aufbau des am IAKS entwickelten Bildfolgenauswertungssystems beschrieben. Es besteht im wesentlichen aus drei Schichten:

- einer Schicht zur Erzeugung geometrischer Beschreibungen ([Kollnig 95], [Haag 98], [Haag & Nagel 98a], [Haag & Nagel 99], [Leuck 00]);
- einer Schicht zur rechnerinternen Repräsentation und zur logischen Schlußfolgerung auf begrifflicher Ebene ([Schäfer 96], [Haag 98], [Haag & Nagel 98b])
- und einer Schicht, in der Beschreibungen in Form eines natürlichsprachlichen Textes erzeugt werden ([Gerber 00]).

Ausgangspunkt der Untersuchungen am IAKS sind digitisierte Bildfolgen von innerstädtischen Straßenverkehrsszenen, welche mit einer stationären Standard-Videokamera aufgezeichnet wurden. Es stand die automatische Beschreibung zeitveränderlicher Szenen (*Abläufe*) unter Einbeziehung zusätzlichen Wissens im Mittelpunkt. [Kollnig 95] unterteilt Abläufe je nach Komplexität in *Geschehen* (elementarer Ablauf), *einfacher Ablauf*, *Episoden* und *Geschichten*.

In [Haag & Nagel 98a] und [Haag & Nagel 98b] wird hervorgehoben, dass die Auswertung des eingehenden Videosignals inkrementell erfolgt. Das hat den Vorteil, dass Aussagen über in der Bildfolge auftretende Situationen schon getroffen werden können, obwohl sie noch nicht abgeschlossen sind. Diese Eigenschaft ist in Echtzeitsystemen erforderlich. In Echtzeitsystemen wird das Erkennen von Situationen und Handlungen zur Ableitung von Entscheidungen zur Reaktion auf das Geschehen benötigt.

Die inkrementelle Erkennung wird folgendermaßen realisiert. Zu festgelegten Zeitpunkten, z. B. zu jedem Halbbildzeitpunkt, wird ein aus einem Situationsgraphenbaum (siehe Abschnitt 2.5) berechnetes FMTHL-Programm (siehe Abschnitt 2.5 und 2.6) ausgewertet, wobei Video-Daten der im Laufe der vergangenen Zeiteinheit aufgenommenen Video-Aufzeichnungen einbezogen werden. Das Ergebnis dieser Auswertung ermöglicht es, zu jedem Zeitpunkt natürlichsprachliche Beschreibungen oder Entscheidungen und Reaktionen abzuleiten.

[Haag 98] beschäftigt sich u. a. mit der Verfolgung von Objekten, die aufgrund von Verdeckungen zeitweise nicht sichtbar sind. Da eine fehlerlose Objektverfolgung auch für die Generierung natürlichsprachlicher Aussagen zum Verhalten von Fahrzeugmengen von Bedeutung ist, sind die in [Haag 98] entwickelten Methoden ein wichtiger Baustein eines Systems zur natürlichsprachlichen Beschreibung des Verhaltens von Fahrzeugmengen. Einzelne Fahrzeuge einer Fahrzeugmenge können nämlich zeitweise z. B. durch in der Szene befindliche Gegenstände wie Verkehrsschilder verdeckt sein. Die Anbindung der geometrischen Auswertung an ein *unscharf metrisch temporales Horn-Logiksystem* (FMTHL-System) hat es ermöglicht, teilweise verdeckte Objekte zu verfolgen. Um das Ziel einer robusten Objektverfolgung zu erreichen, wurden in [Haag 98] alle Ebenen der Bildfolgenauswertung durchdacht, von der modellbasierten Objektverfolgung bis hin zur Wissensrepräsentation. Dabei wurden unterschiedliche methodische Ansätze der künstlichen Intelligenz miteinander kombiniert und eine Reihe von Wissensquellen integriert.

[Leuck 00] untersucht verschiedene Fragestellungen zur Leistungssteigerung des am IAKS entwickelten Bildfolgenauswertungssystems. Im Vordergrund der Arbeit von [Leuck 00] stehen die Robustheit, Verfügbarkeit und Geschwindigkeit des Gesamtsystems. Als grundlegende Systemverbesserung führt [Leuck 00] ein Bewegungsmodell ein, welches die Schätzung des Lenkwinkels eines Fahrzeuges erlaubt. Dadurch lassen sich bei gleichbleibender Qualität der formulierten natürlichsprachlichen Aussagen Rechenzeitbedarf und Ressourceneinsatz reduzieren.

1.2 Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit sollen in Erweiterung zur Arbeit von [Gerber 00] natürlichsprachliche Beschreibungen des Verhaltens von Fahrzeugmengen generiert werden. [Gerber 00] beschränkt sich im wesentlichen auf die Beschreibung des Verhaltens einzelner Fahrzeuge. So wurde beispielsweise die Beschreibung

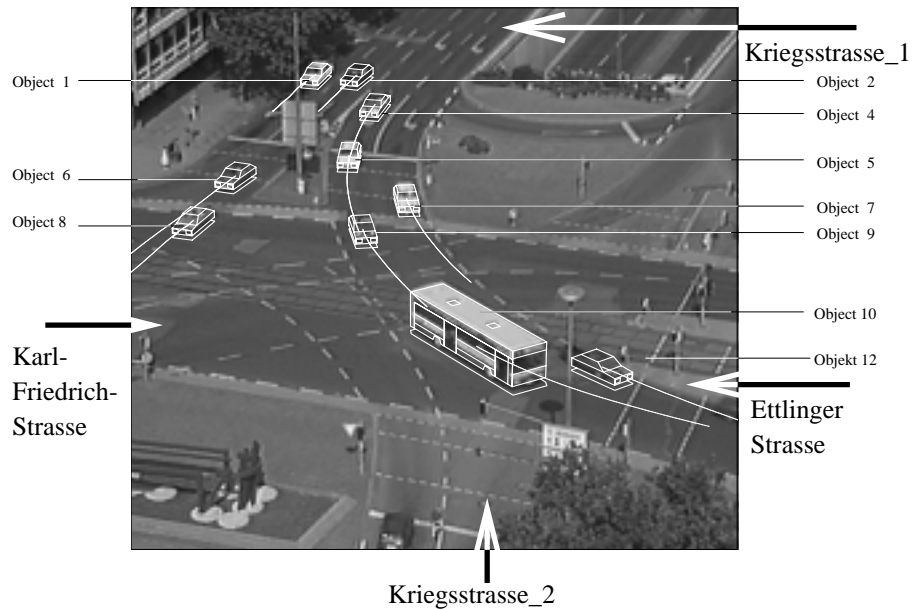


Abbildung 1.1: Straßenverkehrsszene am Ettliger Tor, zur Verdeutlichung mit eingezeichneten Trajektorien, wobei die automatisch erkannten Objekte durch umschreibende Linienmodelle eingegrenzt sind. Desweiteren ist zu jedem Fahrzeug die systemintern vergebene Objekt Nummer angegeben ([Kollnig 95]).

„I came from Kriegsstrasse. Then I turned left into Ettlinger Strasse.“ ([Gerber 00])

generiert. Diese Sätze wurden aus der Sicht des in Abbildung 4.5 abgebildeten Objekts 5 formuliert.

Darüberhinaus beschäftigt sich [Gerber 00] mit der Generierung von *quantorisierten Beschreibungen* wie z. B.:

„Eight vehicles came from road1. Four of them turned left into road2. Four vehicles drove straight ahead“ ([Gerber 00]).

Der Unterschied zu Einzelbeschreibungen besteht darin, dass das Verhalten einzelner Fahrzeuge unter Verwendung von Quantoren zusammengefaßt wird.

In der vorliegenden Arbeit soll nicht mehr das Verhalten einzelner Fahrzeuge für sich oder in einer Gruppe beschrieben werden, sondern die Fahrzeuggruppe selbst soll als eigenständiges Objekt in den Vordergrund der Beschreibung gerückt werden. Dies beinhaltet Aussagen der Form:

Vor einer Kreuzung bildet sich eine Fahrzeugschlange. Diese Fahrzeugschlange wartet einige Sekunden. Dann setzt sie sich in Bewegung und überquert die Kreuzung. Während sich die Fahrzeugschlange über die Kreuzung

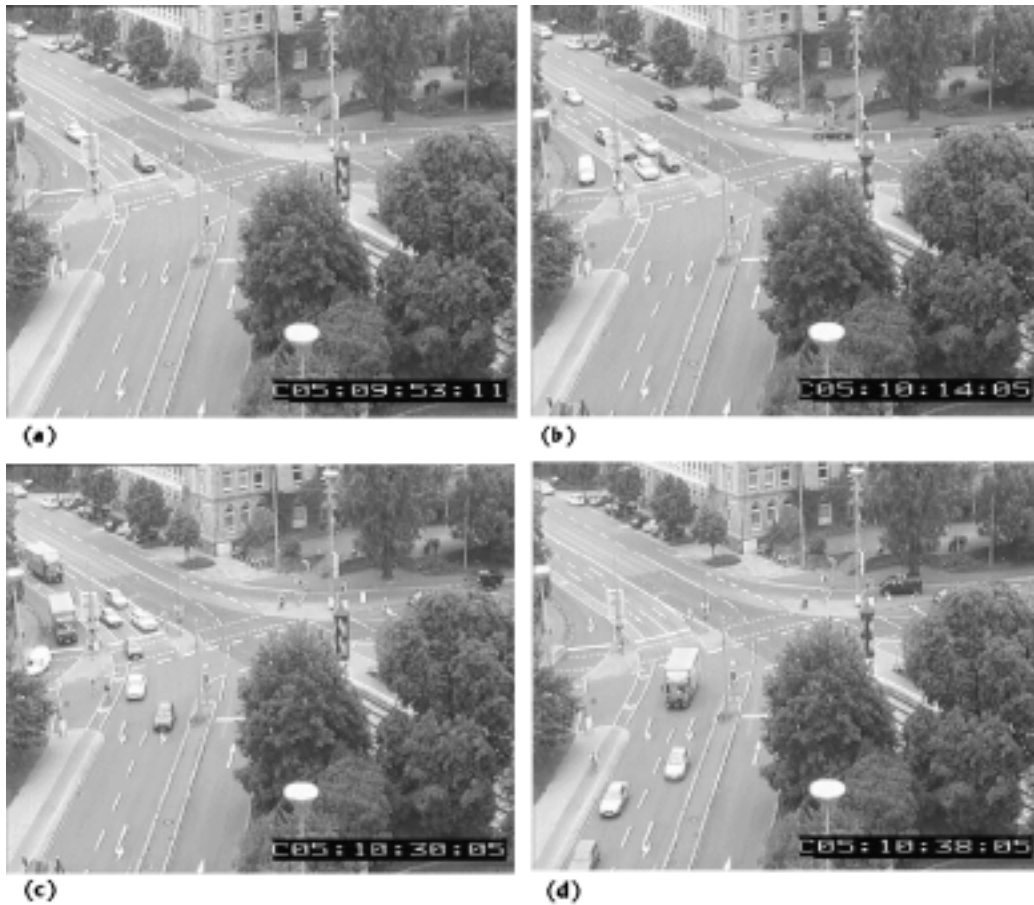


Abbildung 1.2: Straßenverkehrsszene am Durlacher Tor.

bewegt, schließt sich ihr ein weiteres Fahrzeug an. Die Fahrzeugschlange verläßt die Kreuzung über eine Straße. Nach einigen Sekunden haben alle zur Fahrzeugschlange gehörenden Fahrzeuge das Gesichtsfeld der Kamera verlassen.

Solche Aussagen sollen aus Bildfolgen generiert werden, die an der Kreuzung „Durlacher Tor“ in Karlsruhe aufgezeichnet wurden. In Abbildung 1.2 sind beispielhaft vier Bilder einer solchen Bildfolge entnommen. Diese Bildfolge hat die Länge weniger Minuten. Wie man in Abbildung 1.2 erkennt, fahren mehrere Fahrzeuge über die Kreuzung.

Im Unterschied zu Abbildung 1.2 sind die dargestellten Fahrbahnobjekte in Abbildung 1.3 von den Trajektorien der im Laufe der Zeit durch die Szene fahrenden Fahrzeuge überlagert. Diese Trajektorien sind in Abbildung 1.3 mit grünen Linien eingezeichnet. In Abbildung 1.3 ist auch eine rote Linie eingezeichnet. Diese Linie stellt eine Trajektorie eines Fahrzeuges dar, welches auf seiner Fahrt über die Kreuzung zweimal

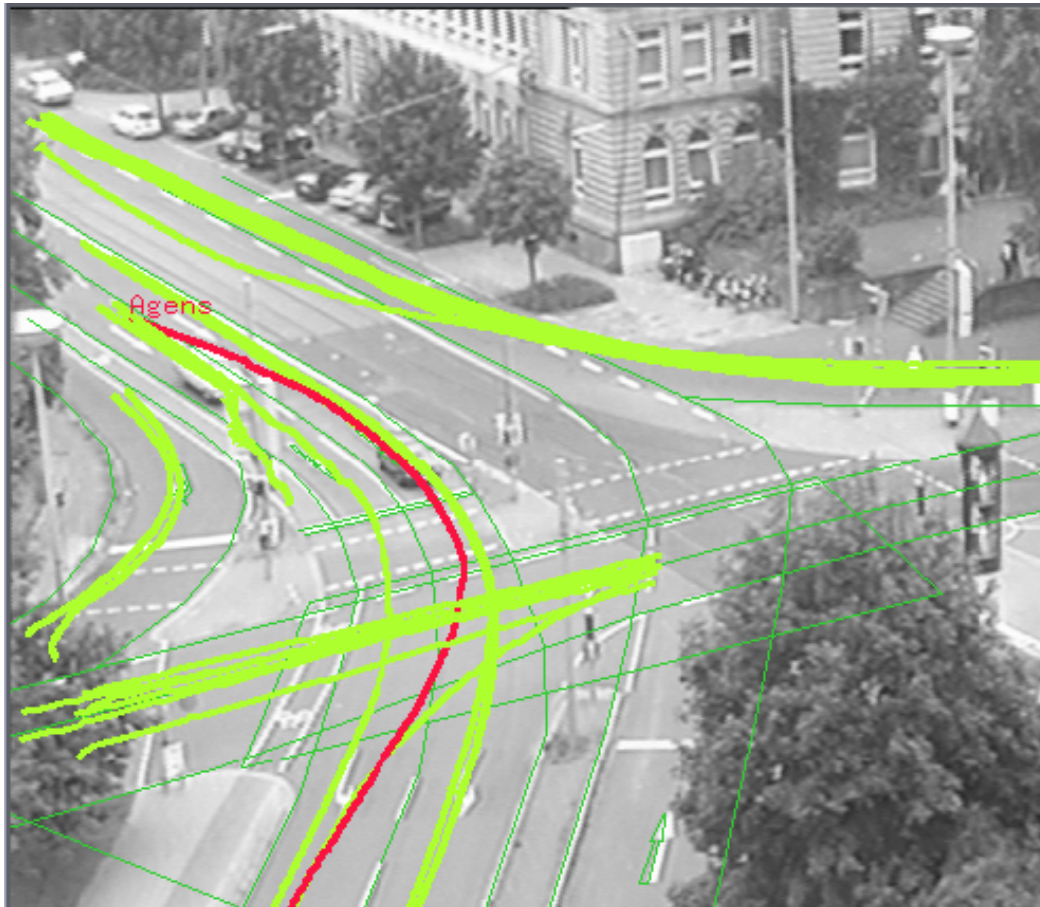


Abbildung 1.3: Von grünen Trajektorienlinien überlagerte Fahrbahnobjekte.

die Fahrspur wechselt. Ein solches Verhalten gehört nicht zu den gewöhnlichen Verhaltensmustern von Fahrzeugen auf dieser Kreuzung. Meistens queren Fahrzeuge die Kreuzung, ohne die Fahrspur zu wechseln.

1.3 Auswärtige Arbeiten

Im Folgenden werden einige Arbeiten anderer Forschungseinrichtungen vorgestellt. Diese Arbeiten werden in Analogie zu [Nagel 01] den Abstraktionsstufen geometrische Auswertung, begriffliche Analyse und Texterzeugung zugeordnet.

In [Howarth & Buxton 98] wird demonstriert, wie räumliches Schließen zur Beschreibung der Aktivität von Agenten in einer abgebildeten Szene verwendet werden kann. [Howarth & Buxton 98] betrachten zur Erzeugung begrifflicher Beschreibungen das „Beobachten der gesamten Szene“ (Monitoring) und das „Beobachten eines bestimm-

ten Szenenausschnitts“ (Watching).

[Fernyhough et al. 98] generieren aus Video-Aufzeichnungen automatisch metrisch-temporale Modelle zu den im Bildbereich auftretenden *Ereignissen*. Auf den Begriff Ereignis wird in [Fernyhough et al. 98] nicht näher eingegangen. Vermutlich wird hier der Begriff Ereignis alternativ zu dem in [Kollnig 95] definierten Begriff Geschehen verwendet. Auch der Begriff Manöver läßt sich in Erweiterung zu den Definitionen in [Kollnig 95] als komplexer Ablauf definieren.

Beim sogenannten Trainingslauf werden die Objekte, welche sich in der Szene bewegen, in eine Datenbank aufgenommen. Zusätzlich werden die Wege, die von den Objekten verfolgt werden, in die Datenbank geschrieben. Nach Abschluß dieses Trainingslaufs werden die in der Datenbank enthaltenen Angaben mit statistischen Methoden ausgewertet. Mit dieser Vorgehensweise werden Modelle für Objekte und Ereignisse generiert. Als Beispiel wird die Erkennung eines Überholmanövers verwendet. Welche Angaben zu den Objekten außer den Trajektorien in die Datenbank geschrieben werden, wird im zitierten Artikel nicht erwähnt. Vermutlich geht durch die Auswahl der in die Datenbank geschriebenen Angaben Wissen über die Szene in das Modell ein. Deshalb wäre es wahrscheinlich eher zutreffend, wenn man von einer *halbautomatischen* Generierung der Modelle spricht. Die Effektivität der in [Fernyhough et al. 98] vorgestellten Methoden wird am Beispiel der Erkennung eines Überholmanövers demonstriert.

In [Yahia et al. 98] werden Wolken als Objekte veränderlichen Aussehens modelliert. Dazu werden in einem Initialisierungsschritt Punkte in die Wolken gesetzt. Diese Punkte werden zu Punktgruppen zusammengefaßt. Eine solche zusammengefaßte Punktgruppe und ein gewisser die Punktgruppe überdeckender Bereich beschreiben in [Yahia et al. 98] ein Objekt veränderlichen Aussehens. Diese Zusammenfassung von Punkten zu einem Objekt veränderlichen Aussehens ist eine Problemstellung, die auch in der vorliegenden Arbeit behandelt wird. Über die Trajektorien zu den einzelnen Fahrzeugen in der Szene sind nämlich zu jedem Zeitpunkt der Aufenthaltsort jedes in der Szene befindlichen Fahrzeuges durch einen Punkt angegeben (vgl. Abbildungen 1.2 und 1.3). Diese Punkte in der Szene werden zu einer Fahrzeuggruppe (zu einem Objekt veränderlichen Aussehens) zusammengefaßt.

[McRoy et al. 01] unterteilen die Texterzeugung in die drei Teilschritte *Textplanung* (Textplanning), *Satzplanung* (Sentence Planning) und die *Ausformulierung* (Text Realization). Als traditionelle Ansätze zur Ausformulierung werden die Methoden „Text aus der Dose“ (Canned Text), „Schablonenrealisation“ (Template-Based Realization), „Satzgliedbasierte Realisation“ (Phrase-Based Realization) und „Merkmalbasierte Realisation“ (Feature-Based Realization) erläutert. Außerdem wird das System YAG (Yet Another Generator) vorgestellt. YAG ist ein System zur Erzeugung natürlichsprachlicher Texte, wobei nicht die Differenziertheit der generierten Texte, sondern die Anzahl der in einem bestimmten Zeitintervall formulierten natürlichsprachlichen Aussagen im Vordergrund steht. Der zu erzeugende Text ist bei YAG ausformuliert in Form von Schablonen in einer Datenbank gespeichert. Diese Schablonen enthalten Variablen für einzelne Worte oder Satzteile, die entsprechend der zu formulierenden Aussagen er-

setzt werden können. Das Auffinden der Schablonen, welche die Struktur der zu formulierenden Aussagen beinhalten, wird von einer Zuordnungstabelle (Mapping Table oder Knowledge Representation Realizer) vorgenommen. Bei der in [McRoy et al. 01] entwickelten Methode wird der satzgliedbasierte Ansatz mit dem schablonenbasierten Ansatz kombiniert. Ein wichtiger Baustein satzgliedbasierter Systeme ist eine Menge von Grammatikregeln, die man zur Transformation einer begrifflichen Beschreibung in einen natürlichsprachlichen Text benötigt. Die kurze Antwortzeit bei der Texterzeugung mit YAG wird hervorgehoben. Grund dafür ist die geringe Größe der in YAG verwendeten Menge von Grammatikregeln. Der große Aufwand bei der Traversierung der Regelmenge führt bei rein satzgliedbasierten Verfahren zu Leistungsverlusten bezüglich der realisierbaren Antwortzeiten.

Die in [Gerber 00] entworfene Methode unterscheidet sich von der in [McRoy et al. 01] entworfenen Methode zur Texterzeugung. Bei der Methode von [Gerber 00] werden Texte durch Konstruktionsregeln aus logischen Formeln erzeugt. Diese Methode gehört damit zu den satzgliedbasierten Verfahren.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Fahrzeuggruppen

Beauftragt man einen menschlichen Beobachter, das Verhalten von Fahrzeuggruppen an einer Straßenverkehrskreuzung zu beschreiben, so wird er wahrscheinlich den Begriff Fahrzeugschlange verwenden. Deshalb wird ein in Abschnitt 3.1 angegebenes Schema dieses Begriffs zur rechnergestützten Formulierung natürlichsprachlicher Aussagen verwendet (vgl. Abschnitt 4.1.4).

Der Begriff „Fahrzeugschlange“ stellt eine Spezialisierung des Begriffs Fahrzeugmenge dar. Der Begriff Fahrzeugschlange erbt deshalb das Schema des Begriffs Fahrzeugmenge. Das Schema eines Begriffs ist durch dessen Definition bestimmt. Eine Fahrzeugmenge ist ein Aggregat von Fahrzeugen. Zu dem in der vorliegenden Arbeit verwendeten Schema für den Begriff Fahrzeugschlange gehören neben dem Schema für den Begriff Fahrzeugmenge weitere Bedingungen, welche die Tatsache verdeutlichen, dass eine Fahrzeugschlange eine spezielle Fahrzeugmenge ist (vgl. Abschnitt 3.1).

Der Begriff ‘einzelnes Fahrzeug’ stellt eine Spezialisierung des Begriffs Fahrzeugmenge dar. Ein zum Begriff ‘einzelnes Fahrzeug’ vorgegebenes Schema sollte sich nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch von einem Schema für den Begriff Fahrzeugmenge unterscheiden. Neben den Bedingungen, die das Schema des Begriffs Fahrzeugmenge enthält, sollte ein Schema für den Begriff ‘einzelnes Fahrzeug’ eine weitere Bedingung enthalten. Diese Bedingung bewirkt, dass nur solche Fahrzeugmengen als ‘einzelnes Fahrzeug’ bezeichnet werden, die aus genau einem Fahrzeug bestehen.

Analog zum vorhergehenden Absatz läßt sich zum Begriff Fahrzeugpaar folgendes aussagen: Der Begriff Fahrzeugpaar stellt eine Spezialisierung des Begriffs Fahrzeugmenge dar. Im Unterschied zum Schema des Begriffs ‘einzelnes Fahrzeug’ enthält das Schema des Begriffs Fahrzeugpaar anstelle der Bedingung „Fahrzeuganzahl gleich eins“ die Bedingung „Fahrzeuganzahl gleich zwei“.

Auch der Begriff ‘Fahrzeuggruppe’ verkörpert eine Spezialisierung des Begriffs Fahrzeugmenge. Im Unterschied zu den Schemata der Begriffe ‘einzelnes Fahrzeug’ und ‘Fahrzeugpaar’ enthält dessen Schema die Bedingung „Fahrzeuganzahl größer zwei“.

Es sei noch auf die Beziehung zwischen den Begriffen Fahrzeuggruppe und Fahrzeugschlange hingewiesen. Der Begriff Fahrzeugschlange ist spezieller als der Begriff Fahrzeuggruppe. Ein Schema des Begriffs Fahrzeugschlange sollte folglich Bedingungen enthalten, die diesen Begriff deutlich von anderen Spezialisierungen des Begriffs Fahrzeuggruppe abheben. In der vorliegenden Arbeit war die Formulierung solcher Bedingungen nicht von Bedeutung, weil außer dem Begriff Fahrzeugschlange keine weiteren Spezialisierungen des Begriffs Fahrzeuggruppe betrachtet wurden.

Das Aggregieren (Verketteten, Zusammenfassen, Ballen, Gruppieren, Konkatenieren, Verbinden, Zusammenfügen, Integrieren) von Fahrzeugen zu Fahrzeugmengen ist eine zentrale Aufgabe der vorliegenden Arbeit. Die Ballungsanalyse stellt eine gute Abstraktion dieser Aufgabe dar. Im Folgenden soll diese Behauptung begründet werden.

Fahrzeuge und deren Verhalten werden in Form von begrifflichen Beschreibungen (qualitativ, begrifflich) und durch geometrische Angaben (numerisch, quantitativ) rechnerintern repräsentiert. Die Ballungsanalyse baut auf der Formulierung eines Schemas zur Repräsentation abstrakter Begriffe auf. Insbesondere läßt sich der abstrakte Begriff Fahrzeugschlange aufgrund einer Ballungsanalyse ausprägen, welche einzelne in einer Szene befindliche Fahrzeuge zu selbiger zusammenfaßt. Eine Fahrzeugschlange läßt sich mit Hilfe *geometrischer* Merkmale (z. B. die Koordinaten der Fahrzeugpositionen der in der Szene befindlichen Fahrzeuge) und mit Hilfe *qualitativer* Merkmale (Formen, mit denen sich eine Ansammlung von Fahrzeugen umschließen läßt [z. B. Kreis, Schlange, Viereck, Pulk, Herde], „räumlicher“ Merkmale [z. B. befinden sich auf einer Fahrspur] und „zeitlicher“ Merkmale [z. B. kommen rechtzeitig ans Ziel]) beschreiben (vgl. [Nagel 91] und [Nagel 93]). In der vorliegenden Arbeit wurde nur das qualitative Merkmal „zu einer Ballung gehörige Fahrzeuge befinden sich auf ein und derselben Fahrspur“ zur Ballungsanalyse herangezogen. Nach allem, was man über den gewöhnlichen Ablauf des Straßenverkehrs weiß, bilden solche Fahrzeuge eine Schlange. Das entworfene Schema zur Ausprägung einer Fahrzeugschlange würde fälschlicherweise also auch Fahrzeuge, die sich nebeneinander auf ein und derselben Fahrspur befinden, zu einer Fahrzeugschlange aggregieren. Dies kommt jedoch selten vor und muß, falls es für die Anwendung der generierten Beschreibung von Bedeutung ist, durch zusätzliche Bedingungen ausgeschlossen werden.

Nach [Schäfer 96] lassen sich Aggregate (Ballungen) durch einen logischen Ausdruck rechnerintern repräsentieren. Dazu heißt es dort:

„Werden die Elemente a eines Typs T_A als eine elementweise *Zusammenfassung* von miteinander in Beziehung stehenden Teilen $s_i \in T_i$ zu einem Ganzen definiert, so bezeichnet man ein Individuum $a \in T_A$ als ein *Aggregat* der untergeordneten Individuen s_i und die Erkennung der Teilebeziehung selbst als *Aggregation*. Zwischen Aggregat a und Teil s_i besteht also eine „Teil-von“-Beziehung.

Jedem Aggregat ist ein geeigneter Individuenbezeichner zuzuordnen. Dies kann durch einen Term $f(s_1, \dots, s_n)$ erfolgen, falls endlich viele Individuen s_i aggregiert werden, welche jeweils eine ausgezeichnete und unvertausch-

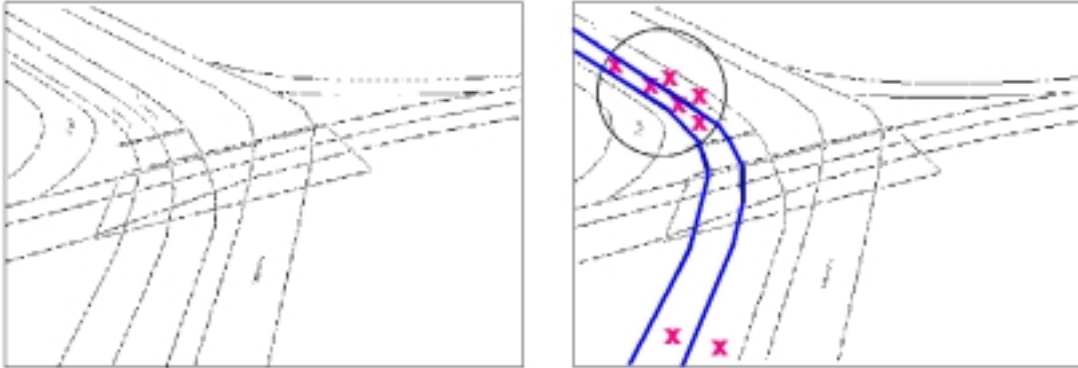


Abbildung 2.1: Im rechten und im linken Bild ist das den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit zugrundeliegende Fahrbahnmodell mit gestrichelten Linien eingezeichnet. Im rechten Bild wurden die Positionen von 8 Fahrzeugen mit roten Kreuzen in der Bildebene markiert. Außerdem werden in diesem Bild 6 Fahrzeuge von einem eingezeichneten Kreis umschlossen. Sie gehören zu einer Ballung. Desweiteren wird hier eine Fahrspur von zwei durchgezogenen roten Linien eingeschlossen. Diese Linien umschließen mit der Fahrspur auch die darauf befindlichen 5 Fahrzeuge.

bare *Rolle* bezüglich des Aggregats einnehmen, d. h. $f(s_1, s_2)$ und $f(s_2, s_1)$ bezeichnen demzufolge unterschiedliche Aggregate derselben Teile.“

[Schäfer 96] führt ein Prädikat B ein, dessen Gültigkeit von den Wahrheitswerten der logischen Formeln x_1, \dots, x_{n-1} und x_n abhängt. Eine Aggregation läßt sich nach [Schäfer 96] folgendermaßen durch eine logische Formel darstellen:

$$” \quad \forall x_1 \dots \forall x_n (T(f(\{x_1, \dots, x_n\})) \leftarrow \bigwedge_{1 \leq i \leq n} T_i(x_i) \wedge B(x_1, \dots, x_n))$$

In diesem Fall kann außerdem nachfolgend ein zu einem gegebenen Aggregat x_a gehöriges Teilindividuum in gegebener Rolle i unmittelbar aus dem Aggregatbezeichner selbst durch Ausprägung von „ $x_a = f(\dots, x_i, \dots)$ “ ermittelt werden.“

Die Menge der zu einer Fahrzeugschlange gehörenden Fahrzeuge (S) auf einer Straßenverkehrskreuzung läßt sich als Schnitt zweier Mengen F und L darstellen. Die Menge F enthält jene Fahrzeuge, die sich auf einer ausgewählten Fahrspur befinden (Ballung aufgrund eines qualitativen Merkmals). Die Menge L besteht aus den Fahrzeugen, die zu einer ausgewählten räumlichen Gruppierung (Ballung aufgrund quantitativer Merkmale) gehören (vgl. Abbildung 2.1). Dies läßt sich auch mit einer mathematischen Formel oder mit einem logischen Ausdruck darstellen:

Mathematische Formel:

$$S = F \cap L$$

Der im Weiteren angegebene logische Ausdruck enthält die im Folgenden beschriebenen Prädikatbezeichner:

- **L:** bezeichnet eine Liste, deren Elemente Fahrzeuge einer Ballung darstellen. Zu dieser Ballung werden die Abstände zwischen Fahrzeugen in der Bildebene verwendet.
- **F:** bezeichnet eine Liste, deren Elemente auf einer Fahrspur befindliche Fahrzeuge umfassen. Zu dieser Ballung wird das Logikfaktum auf(Fahrzeug,Fahrspur) bezüglich einer in der Bildebene befindlichen Fahrspur verwendet.
- **S:** bezeichnet eine Liste, deren Elemente Fahrzeuge einer Fahrzeugschlange darstellen.
- **fzschlange:** nimmt den Wert WAHR an, falls S den Schnitt der durch die logischen Formeln L und F bezeichneten Mengen darstellt.
- **isect:** berechnet den Schnitt zweier Mengen.

Logischer Ausdruck:

fzschlange(L, F, S) :- isect(L, F, S).

2.2 Fahrzeugaggregate als Agenten

Fahrzeuge, die sich auf ein und derselben Fahrspur befinden, hintereinander angeordnet sind und die aufgrund ihrer räumlichen Anordnung „zusammenkleben“, verschmelzen zu einem Objekt, welches man Fahrzeugschlange nennt. Die Fahrzeugschlange kann als eigenständiges Agens betrachtet werden. Das Verhalten einer Fahrzeugschlange bezüglich ihrer Fortbewegung über die Kreuzung kann man mit ähnlicher Methodik natürlichsprachlich beschreiben, wie es in [Gerber 00] für einzelne Fahrzeuge als Agenten dargestellt wird. So läßt sich die Fortbewegung einer Fahrzeugschlange über die Kreuzung in die Situationen ‘an die Kreuzung heranzufahren’, ‘die Kreuzung queren’ und ‘die Kreuzung verlassen’ unterteilen. Dabei sollte die der Fahrzeugschlange zugeordnete Situation beim Heranzufahren und Queren der Kreuzung hauptsächlich vom Fahrzeug abhängen, welches sich am Kopf der Schlange befindet. Beim Verlassen der

Kreuzung sind die Situationen interessanter, die sich dem letzten Fahrzeug der Fahrzeugschlange zuordnen lassen. Dies ist darin begründet, dass beim Heranfahren an die Kreuzung und beim Queren der Kreuzung unter Umständen nur die ersten Fahrzeuge der betrachteten Fahrzeugschlange im Gesichtsfeld der Kamera zu erkennen sind. Verläßt die Fahrzeugschlange die Kreuzung, befinden sich deren in Fahrtrichtung der Fahrzeugschlange gesehene erste Fahrzeuge möglicherweise nicht mehr im Gesichtsfeld der Kamera. Zur Rechtfertigung dafür, dass an manchen Stellen der vorliegenden Arbeit der bezüglich des Begriffs Fahrzeugschlange allgemeinere Begriff Fahrzeugmenge verwendet wird, sei darauf hingewiesen, dass zu einem betrachteten Zeitpunkt folgende Fälle auftreten können:

- Kein zur betrachteten Fahrzeugmenge gehöriges Fahrzeug befindet sich im von der Kamera erfaßten Ausschnitt der Bildebene.
- Ein zur betrachteten Fahrzeugmenge gehöriges Fahrzeug befindet sich im von der Kamera erfaßten Ausschnitt der Bildebene.
- Zwei zur betrachteten Fahrzeugmenge gehörige Fahrzeuge befinden sich im von der Kamera erfaßten Ausschnitt der Bildebene.
- Drei zur betrachteten Fahrzeugmenge (Fahrzeugschlange) gehörige Fahrzeuge befinden sich im Gesichtsfeld der Kamera.
- . . .

Nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch ist die Verwendung des Begriffs Fahrzeugschlange erst gerechtfertigt, wenn die zu betrachtende Fahrzeugmenge mindestens drei Fahrzeuge umfaßt.

2.3 Primitiv-begriffliche Beschreibungen

Primitiv-begriffliche Beschreibungen sind ein wichtiger Bestandteil der in [Gerber 00] beschriebenen Methode zur Erzeugung von natürlichsprachlichen Beschreibungen von Straßenverkehrsszenen. Die primitiv-begrifflichen Beschreibungen werden in [Heinze et al. 91] eingeführt. Primitive Begriffe werden als Fakten kodiert. Ein unscharf metrisch temporales Logikfaktum besteht aus der Angabe eines Zusicherungsgrades, der Angabe eines Zeitintervalls und einem Prädikatbezeichner, welcher in dem angegebenen Zeitintervall auf ein bestimmtes Objekt in der Szene zutrifft. Hier sei beispielsweise ein unscharf metrisch temporales Logikfaktum für die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges genannt:

0.6 | 1887 : 1887 ! v_Betrag(obj_1, klein).



Abbildung 2.2: Das verwendete Fahrbahnmodell ist hier mit weiß unterlegten schwarzen Linien eingezeichnet.

Das angegebene Zeitintervall (1887 : 1887) wird dabei durch die Angabe zweier Bildnummern festgelegt. Die erste Bildnummer gibt an, ab welchem Zeitpunkt das Prädikat (im Beispiel: $v_Betrag(obj_1, klein)$) gültig war. Die zweite Bildnummer gibt das Ende des betrachteten Zeitintervalls an. Werte des angegebenen primitiven Begriffs zur Beschreibung der Geschwindigkeit eines Fahrzeuges sind beispielsweise „sehr klein“ und „klein“.

Diese Form der Darstellung von Bildfolgenauswertungsergebnissen ermöglicht deren Speicherung in Datenbanken sowie deren Nutzung in sprachverarbeitenden Systemen.

2.4 Datenbasis

Die zur Beschreibung des Verhaltens von Fahrzeugmengen zur Verfügung stehende Datenbasis enthält Ergebnisse einer algorithmischen Bildfolgenauswertung auf geome-

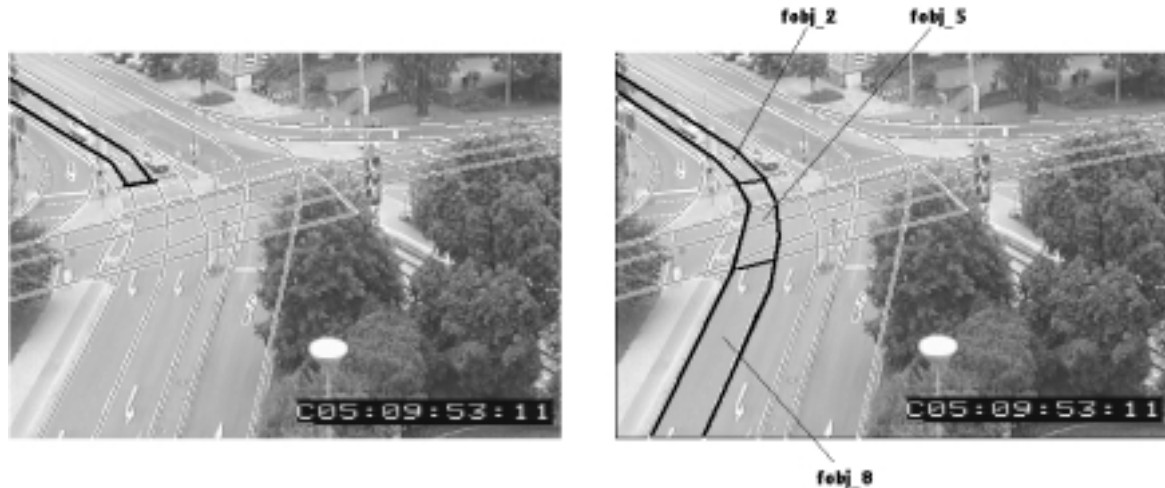


Abbildung 2.3: Im linken Bild wurde ein Fahrbahnobjekt mit fetten schwarzen Linien markiert. Im rechten Bild erkennt man eine Fahrspur, welche aus 3 Fahrbahnobjekten besteht.

trischer Ebene (vgl. Abschnitt 1.1). Zu diesen Daten gehören Angaben zu einzelnen in der Szene befindlichen Fahrzeugen sowie eine begriffliche Beschreibung der in der Szene befindlichen Fahrbahnobjekte.

Logikfakten zu einzelnen Fahrzeugen sind folgendermaßen aufgebaut:

$Z \vdash \text{trajectory}(\text{obj}_i, X, Y, T, V, W)$.

Dabei steht Z für einen Zeitpunkt, X und Y charakterisieren die Position des Fahrzeugs obj_i in der Bildebene, T steht für die Ausrichtung des Fahrzeuges in der Bildebene, V steht für die Geschwindigkeit und W bezeichnet den Lenkwinkel des Fahrzeugs obj_i . Zur begrifflichen Beschreibung des Aufenthaltsorts von Objekten auf der Straßenverkehrskreuzung wurde das Fahrbahnmodell aus [Mück 94; Fautz 96] verwendet. Wie in Abbildung 2.2 dargestellt, wird die Fahrbahn der Durlacher Tor Szene (vgl. Abbildung 1.2) in Fahrbahnobjekte unterteilt. Durch logisches Schließen läßt sich diese Datenbasis um Fahrspuren erweitern. Dazu müssen in Fahrtrichtung der Fahrzeugschlange aufeinanderfolgende Fahrbahnobjekte zu einer Fahrspur aggregiert werden (vgl. Anhang B.2).

2.5 Situationsgraphenbäume

[Nagel 88] führt den Begriff *Situation* als begriffliche Einheit zur Wissensrepräsentation ein, durch welchen nicht nur Bewegungszustände sondern auch zielgerichtete Aspekte

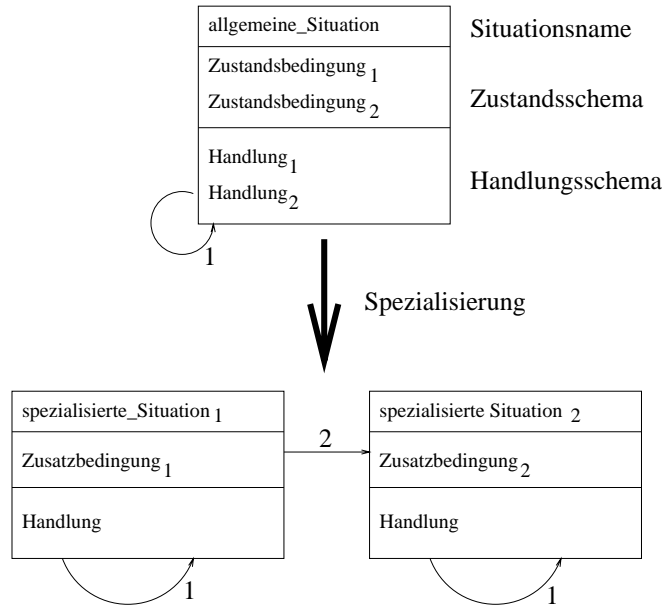


Abbildung 2.4: Allgemeiner Aufbau eines Situationsgraphenbaums. Die Knoten enthalten Situationsbeschreibungen, welche aus einem Situationsnamen und einem Zustandsschema bestehen. Die dünnen gerichteten Kanten geben Nachfolgebeziehungen zwischen Situationen derselben Hierarchiestufe an, wobei die neben den Kanten stehenden Zahlen deren Prioritäten bezeichnen („1“ entspricht hoher Priorität). Dicke gerichtete Kanten markieren Spezialisierungen zwischen Situationen. Nähere Erläuterungen im Text (nach [Gerber 00]).

(*Absichten*) beschrieben werden können. Situationsgraphenbäume stellen eine rechnerinterne Repräsentation von Situationen dar. In Abbildung 2.4 ist der allgemeine Aufbau eines Situationsgraphenbaums verdeutlicht.

Diese Darstellung wurde [Gerber 00] entnommen. Außerdem werden in [Gerber 00] die einzelnen Elemente des Situationsgraphenbaums beschrieben. Dort heißt es:

- „Eine *Situationsbeschreibung* besteht aus mehreren Komponenten:
 - Die Situation wird anhand ihres *Situationsnamens* benannt.
 - Das *Zustandsschema* beschreibt in generischer Form einen Zustand, den es im Rahmen eines Interpretationsprozesses auszuprägen gilt.
 - Das *Handlungsschema* enthält mit der Situation assoziierte Handlungen des Agenten oder Handlungserwartungen. Ist die Situation eine Blattsituation, werden die in der zugehörigen Situationsbeschreibung definierten Handlungen ausgeführt. Blattsituationen

sind die spezialisiertesten Situationen im Situationsgraphenbaum. (nichtinkrementelle Handlungsausführung).

- Eine Situationsbeschreibung enthält zudem eine nach Priorität geordnete *Liste möglicher Nachfolgesituationen* der Situation.“
- Ein *Situationsgraph* enthält als generische Knoten Situationsbeschreibungen. Die Liste der möglichen Nachfolgesituationen bildet die gerichteten Kanten dieses Graphen und benennt mögliche Prädikationsbeziehungen von einem Zeitpunkt t zu einer Nachfolgesituation zum Zeitpunkt $t + 1$.
- Situationen können spezialisiert werden. Gerichtete Spezialisierungskanten verbinden eine Situation höherer Hierarchiestufe mit einem untergeordneten Situationsgraphen, der die spezielleren Situationen enthält. Auf diese Weise entsteht ein hierarchischer *Situationsgraphenbaum*. Speziellere Situationen erben die generischen Zustands- und Handlungsschemata ihrer übergeordneten Situationen.

Die Unterordnung der Knoten im Situationsgraphenbaum hat zur Folge, dass untergeordnete Knoten nur ausgeprägt werden können, wenn der dazugehörige Mutterknoten ausgeprägt ist. Der Situationsgraphenbaum dient als Schema zur Beschreibung von Fahrzeugverhalten.

2.6 Unscharfe Metrisch Temporale Logik (FMTHL)

Von [Schäfer 96] wurde unter anderem die Beschreibungssprache SIT++ zur Kodierung von Situationsgraphenbäumen eingeführt. Ausdrücke in SIT++ werden automatisch in FMTHL-Programme übersetzt. Die Menge primitiver begrifflicher Beschreibungen, welche in FMTHL-Darstellung vorliegt (siehe Abschnitt 2.3), dient als Datenbasis zur Ausprägung des Schemas mittels logischer Inferenz. Ein Inferenzmechanismus ist in F-LIMETTE implementiert. Startet man den Inferenzprozeß, erhält man als Ergebnis eine begriffliche Beschreibung. FMTHL ist eine Erweiterung der Prädikatenlogik. In FMTHL wurde die Prädikatenlogik um unscharfe Aspekte erweitert. Eine logische Formel kann in FMTHL nicht nur die Werte WAHR („1“) und FALSCH („0“) annehmen, sondern auch alle reellwertigen Belegungen zwischen 0 und 1. In FMTHL wurden die Inferenzoperationen „UND“, „ODER“ und „NICHT“, welche in der Prädikatenlogik definiert sind, um unscharfe Aspekte erweitert.

2.7 Perspektivierung

Ein Teilschritt der in [Gerber 00] beschriebenen Methode zur natürlichsprachlichen Beschreibung von Straßenverkehrsszenen ist die Transformation einer begrifflichen Be-

schreibung in eine perspektivische begriffliche Beschreibung. Die Transformation einer begrifflichen Beschreibung in eine perspektivische begriffliche Beschreibung wird in folgende drei Teilschritte eingeteilt: Die Festlegung des Erzählerstandpunktes, die Situationsbestimmung und das Erzeugen der perspektivischen begrifflichen Beschreibung.

Der Erzählerstandpunkt läßt sich mit dem Tupel $P=(H,E)$ zusammenfassen [Gerber 00]. Dabei ist H die Menge der Hauptakteure und E ein Erzählstil $E \in \{\text{Bericht, Szenische Beschreibung aus Beobachtersicht (SBB), Szenische Beschreibung aus Protagonistensicht (SBP)}\}$. Bei der SBP ist nur der Protagonist als Hauptakteur von Bedeutung. Der Bericht unterscheidet sich von SBP und SBB dadurch, dass er erst nach Abschluß des zu beschreibenden Ablaufs angefertigt wird. Weiter heißt es in [Gerber 00]:

„. . . Umstände, die das Verhalten der Beteiligten beeinflußt haben könnten, sind größtenteils bekannt. Berichte zeichnen sich folglich durch eine große Sachlichkeit aus und sind weitestgehend frei von Mutmaßungen und Wertungen. Neutralität ist eine zweite charakteristische Eigenschaft von Berichten. Ein Bericht stellt somit eine (stilvolle) Sammlung von beobachteten Tatsachen dar, die von einem allwissenden Erzähler vorgelegt wird. Im Idealfall sollten sich zwei Berichte, die zu demselben Ablauf erstellt wurden, lediglich im Wortlaut, nicht jedoch in ihrem Inhalt wesentlich unterscheiden.“

Szenische Beschreibungen aus Beobachtersicht (SBB) schildern Abläufe inkrementell analog ihres zeitlichen Verlaufs und analog des aus dem beobachteten Verlauf folgenden Wissensstands des Erzählers. Der erzählende Beobachter kann auf Wissen zurückgreifen, das er während des Erzählens erschließt. Folglich kann er über Absichten der am Ablauf Beteiligten und über den weiteren Verlauf des Ablaufs Mutmaßungen anstellen. Dies bedeutet, dass szenische Erzählungen aus Beobachtersicht üblicherweise ein hohes Maß an subjektiver Wahrnehmung und Beurteilung durch den Beobachter enthalten.“

Zur SBP heißt es:

„Bei einer szenischen Beschreibung aus Protagonistensicht schildert ein unmittelbar Beteiligter seine persönliche Wahrnehmung des Ablaufs. Er stellt die Motive seiner Handlung, seinen persönlichen Zustand, seine Absichten und seine Ziele dar. Desweiteren schildert er die Umstände, die zu Änderungen seines Zustands und seiner Handlungen führten. Der Protagonist weiß folglich mehr über die Hintergründe, die einen Ablauf beeinflussten, als ein unbeteiligter Beobachter. Allerdings kennt der Protagonist im Gegensatz zum „allwissenden Erzähler“ beim Bericht nur seine Sicht der Dinge, und nicht diejenige der anderen Beteiligten.“

Zur Situationsbestimmung heißt es in [Gerber 00]:

„Unabhängig vom ermittelten Erzählstil E wird für jeden Hauptakteur H und für jeden Halbbildzeitpunkt, zu dem er in der betrachteten Szene aktiv ist, inkrementell die aktuelle Situation des Hauptakteurs bestimmt. Die Situationsbestimmung erfolgt anhand eines Situationsgraphenbaums . . .“

Zur Situationsbestimmung werden in [Gerber 00] drei Varianten beschrieben, nach denen Situationen ausgeprägt werden können:

- Zur Ausprägung von Situationen werden Prädikate verwendet, deren Gültigkeit zu dem Zeitpunkt bestimmt wird, zu dem die Situation ausgeprägt wird.
- Die Situation wird zum Zeitpunkt t ausgeprägt. Die Gültigkeit mancher zur Ausprägung verwendeter Prädikate wird zu einem anderen Zeitpunkt berechnet, der zeitlich entweder vor oder hinter dem Zeitpunkt t liegt.
- Eine weitere Beschreibungsvariante besteht darin, dass man nicht eine Situation beschreibt, sondern den Übergang zwischen zwei Situationen (in Abbildung 2.5 wird das mit $P_{üab}$ gekennzeichnet).

Zur Erzeugung der perspektivischen begrifflichen Beschreibung aus der begrifflichen Beschreibung wird ein Situationsgraphenbaum verwendet. Dieser Situationsgraphenbaum wird in [Gerber 00] Perspektivierungsbaum genannt. Die perspektivische begriffliche Beschreibung ist das Ergebnis der Traversierung des Perspektivierungsbaums. In [Gerber 00] wird ein Algorithmus vorgestellt, mit dem man einen Situationsgraphenbaum zur Situationsbestimmung in einen Situationsgraphenbaum zur Perspektivierung transformieren kann. Dieser Algorithmus ist im Programm MALCOLM implementiert.

2.8 Quantorisierung

In [Gerber 00] wird an einer beispielhaften natürlichsprachlichen Formulierung die Zweckmäßigkeit der Einführung von Quantorisierungen verdeutlicht. Als Beispiel wird die folgende Formulierung angeführt:

- (*) Objekt 1 bog links ab. Dann bog Objekt 2 links ab. Dann bog auch noch Objekt 3 links ab. Dann bog Objekt 4 Als letztes bog Objekt 100 links ab.

Prägnanter läßt sich diese Aussage auch folgendermaßen formulieren:

- (**) ‘Einhundert Fahrzeuge bogen links ab‘ oder ‘Viele Fahrzeuge bogen links ab‘.

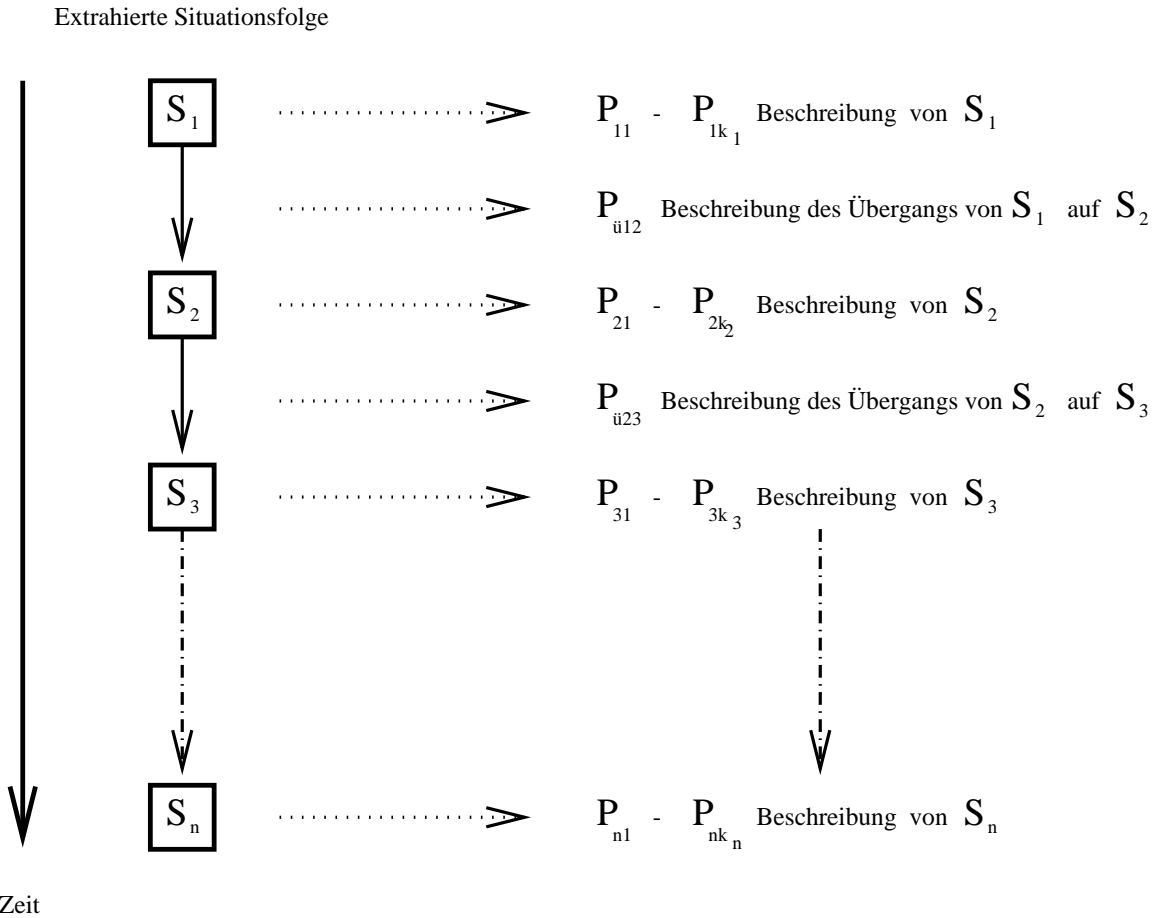


Abbildung 2.5: Varianten zur Ableitung perspektivischer Beschreibungen einer extrahierten Situationsfolge. Links in der Abbildung ist die extrahierte Situationsfolge in ihrem zeitlichen Verlauf angegeben, rechts die ableitbaren perspektivischen Beschreibungen (nach [Gerber 00]).

Die an den eben zitierten Beispielsätzen demonstrierte Transformation wird in [Gerber 00] als „Zusammenfassung von Einzelgeschehen zu quantorisierten Geschehen“ bezeichnet.

Zu natürlichsprachlichen Beschreibungen quantorisierter Geschehen werden die *Universelle Lesart* und die *Existenzielle Lesart* unterschieden. Der Unterschied zwischen diesen zwei Lesarten wird in [Gerber 00] an der Beispielaussage (**) folgendermaßen erklärt:

„**Universelle Lesart:**

Die Aussage wird so gedeutet, dass zu jedem Zeitpunkt des Gültigkeitszeitraums einige Fahrzeuge links abbiegen, wobei dies immer wieder andere Fahrzeuge sein

können. Daraus kann in der Summe resultieren, dass insgesamt alle Fahrzeuge links abbiegen, aber immer nur einige zur gleichen Zeit.

Existenzielle Lesart:

Die Aussage wird so gedeutet, dass insgesamt einige Fahrzeuge links abbiegen, wobei es durchaus Teilintervalle des Gültigkeitszeitraums geben kann, in denen beispielsweise kein einziges Fahrzeug links abbiegt. Dennoch bleibt die Aussage wahr.“

Es wird festgestellt, dass eine natürlichsprachliche Formulierung von einem menschlichen Leser gewöhnlich nach der existenziellen Lesart interpretiert wird.

Ein weiteres Kriterium zur unterschiedlichen Interpretation einer quantorisierten Geschehensbeschreibung ist die Definition des zugrundeliegenden Quantors. Es werden die grundmengenabhängige und die grundmengenunabhängige Definition von Quantoren unterschieden.

Dazu findet man in [Gerber 00]:

„Grundmengenunabhängige Definition:

Die Zuordnung der Quantoren erfolgt allein abhängig von der absoluten Größe der betrachteten Menge: 200 Fahrzeuge sind einige, zwei Fahrzeuge sind nicht einige. (Nebenbei sei erwähnt, dass selbst der grundmengenunabhängige Gebrauch natürlichsprachlicher unscharfer Quantoren uneinheitlich ist. So kann er beispielsweise von besonderen Eigenschaften der Individuen, über die quantorisiert wird, abhängen. Zum Beispiel sind 200 Menschen in einem Raum viele, 200 Bakterien im selben Raum aber eher wenige. Dies liegt letztendlich daran, dass auf dieser Welt im allgemeinen und in Räumen im besonderen üblicherweise viel mehr Bakterien vorhanden sind als Menschen. Solche kontextuellen Abhängigkeiten bei der Quantordefinition werden im folgenden jedoch nicht betrachtet, da grundsätzlich nur Fahrzeugverhalten beschrieben und folglich nur über Fahrzeugmengen quantorisiert wird).

Grundmengenabhängige Definition

Bei der grundmengenabhängigen Definition liegt der Quantorzuordnung eine bestimmte Grundmenge zugrunde: zwei von drei Fahrzeugen sind einige, 200 von 10.000 Fahrzeugen sind nicht einige.“

Bei der Beschreibung von Fahrzeugmengen treten, falls Fahrzeugmengen über einen längeren Zeitraum (z.B. mehrere Tage) beobachtet werden, recht große Anzahlen von Fahrzeugmengen auf (z. B. mehrere hundert). Werden Fahrzeugmengen nur in kleinen Zeitintervallen beobachtet (z. B. wenige Minuten), treten nur geringe Anzahlen von Fahrzeugmengen auf. In der vorliegenden Arbeit wurden nur Bildfolgen der Länge weniger Minuten betrachtet. Außerdem wurde das Verhalten genau einer Fahrzeugschlange natürlichsprachlich beschrieben. Die zu beschreibende Fahrzeugschlange kann

der Benutzer des Programms durch Angabe der Fahrspur, auf der sich die zu beschreibende Fahrzeugschlange befindet, auswählen (vgl. Abschnitt 3.2.2.1 und Ausführungen zu Zahlwortquantoren in [Gerber 00] S. 68).

In [Gerber 00] wird zur Berechnung quantorisierten Beschreibungen im Anschluß an eine Analyse von Beispielszenarien festgestellt:

„Entscheidend bei der Berechnung quantorisierten Beschreibungen ist folglich nicht, was genau an jedem einzelnen Zeitpunkt des betrachteten Zeitintervalls passiert, sondern vielmehr, was sich im Betrachtungszeitintervall in der Summe ereignet. Weder der Ansatz von [Früauf 94] noch derjenige von [Theilmann 97] leisten diese Art der Berechnung.“

2.9 Diskurs-Repräsentations-Theorie (DRT)

In [Kamp & Reyle 93] werden Diskurs-Repräsentations-Strukturen (DRS) zur rechnerinternen Repräsentation der Semantik von natürlichsprachlichen Texten eingeführt. Außerdem werden in [Kamp & Reyle 93] Konstruktionsregeln zur Transformation englischsprachiger Texte in DRS-en angegeben. Es wird außerdem beschrieben, wie DRS-en in prädikatenlogische Formeln umgewandelt werden können. Eine DRS besteht aus einer Menge von Diskursreferenten und einer Menge von Bedingungen. Zu einem Text können mehrere DRS-en mit unterschiedlichem Inhalt konstruiert werden. Das liegt an der Mehrdeutigkeit natürlichsprachlicher Formulierungen. In [Kamp & Reyle 93] werden auch Quantifizierung (Quantification) und Konjunktionen (Connectives) betrachtet. Zur Verwendung des Plurals werden Konstruktionsregeln angegeben. Es werden viele Hinweise zur Verwendung von verschiedenen Zeitformen und Aspekten gegeben. Diese Ausdrucksmöglichkeiten in der DRS sind insbesondere für die Beschreibung des Verhaltens von Fahrzeugmengen von Bedeutung. Es können nämlich nicht nur Konstruktionsregeln zur Transformation englischsprachiger Texte in DRS-en angegeben werden. Invers dazu können aus DRS-en englischsprachige Texte erzeugt werden. Die in der vorliegenden Arbeit zur natürlichsprachlichen Beschreibung der Änderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge generierte DRS (vgl. Anhang D.1 und D.2), enthält zu jedem in der begrifflichen Beschreibung vorkommenden Logikfaktor (vgl. Abschnitt 4.1.2 und Abschnitt 4.2.2) eine *Ereignis-DRS*.

2.10 Textgenerierung

Auf begrifflicher Ebene werden Prädikate verwendet, zu denen auf natürlichsprachlicher Ebene Sätze gehören. Als Zwischenschritt zur Generierung natürlichsprachlicher Sätze werden DRS-en gebildet, welche zu den auf begrifflicher Ebene definierten Prädikaten und zu natürlichsprachlichen Sätzen gehören. Man spricht dabei von *Ereignis-Prädikaten* und von *Ereignis-DRS-en* (vgl. [Kamp & Reyle 93]). Im Kontext der rechner-

gestützten natürlichsprachlichen Beschreibung von Ergebnissen einer algorithmischen Bildauswertung bzw. Bildfolgenauswertung stellt ein Ereignis einen elementaren Ablauf, einen einfachen Ablauf, eine Episode oder eine Geschichte dar (vgl. Abschnitt 1.1).

Nun werden die Auswertungs- und Transformationsmethoden, welche der natürlichsprachlichen Schicht zugeordnet werden (vgl. Abschnitt 1.1), etwas detaillierter eingeführt. Die Textgenerierung umfaßt das Zerteilen der begrifflichen Beschreibung (vgl. Anhang C), die DRS-Erzeugung (vgl. [Gerber 00] und [Arens & Ottlik 00]) und die Textformulierung aus der DRS (vgl. ebenfalls [Gerber 00] und [Arens & Ottlik 00]). Beim Zerteilen wird die begriffliche Beschreibung, welche metrisch temporale Logikfakten umfaßt, in einen Syntaxbaum transformiert. Die durch Anwendung einer weiteren Transformationsmethode entstehende DRS enthält zu jedem metrisch temporalen Logikfaktum eine Ereignis-DRS (vgl. Anhang D.1 und D.2). Bei der Textformulierung aus der DRS bildet jede Ereignis-DRS den Ausgangspunkt für einen natürlichsprachlichen Satz.

Kapitel 3

Entwurf und Implementierung

In diesem Kapitel soll ein System entworfen werden, welches das Verhalten von Fahrzeuggruppen natürlichsprachlich beschreibt.

3.1 Zu generierende Beschreibungen

Wie bereits erwähnt, wurden in der Arbeit von [Gerber 00] Methoden entwickelt, die es ermöglichen, das Verhalten von Fahrzeugen natürlichsprachlich zu beschreiben. Das Programm *ANGUS*, welches die in [Gerber 00] erarbeiteten Methoden implementiert, kann natürlichsprachliche Beschreibungen des Verhaltens einzelner Fahrzeuge generieren. Außerdem können die implementierten Methoden zur Generierung natürlichsprachlicher Beschreibungen des Verhaltens von Fahrzeugmengen verwendet werden. Sind die zu generierenden Aussagen über das Verhalten von Fahrzeugmengen differenzierter als jene Aussagen, die in [Gerber 00] generiert wurden, muß man Schemata für weitere rechnerinterne Repräsentationen zu den Charakteristika des Verhaltens der beobachteten Fahrzeuggruppen entwerfen, aus denen sich dann die gewünschten Beschreibungen des Verhaltens von Fahrzeugmengen generieren lassen. Im Folgenden werden natürlichsprachliche Beschreibungen aufgelistet, die ein System zur natürlichsprachlichen Beschreibung des Verhaltens von Fahrzeugmengen generieren sollte. Zuvor werden jedoch die in der vorliegenden Arbeit in den generierten natürlichsprachlichen Aussagen verwendeten Ausprägungen der Begriffe „Fahrzeugschlange“, „Fahrzeugpaar“ und „einzelnes Fahrzeug“ näher erläutert.

Bei der Auflistung der im weiteren abgedruckten Merkmale einer Fahrzeugschlange wurde der in Abschnitt 2.1 eingeführten Definition des Begriffs Fahrzeugschlange Rechnung getragen.

- Im Fahrzeugaggregat darf der Abstand zwischen zwei Fahrzeugen einen geforderten Maximalabstand nicht überschreiten.
- Die aggregierten Fahrzeuge befinden sich auf derselben Fahrspur.

- Die aggregierten Fahrzeuge sind hintereinander aufgereiht.
- Eine Fahrzeugschlange umfaßt mindestens drei Fahrzeuge.

Um auch zwei Fahrzeuge zu einer Menge zusammenfassen zu können, wird außerdem ein Schema für den Begriff „Fahrzeugpaar“ eingeführt. Zur Definition des Begriffs Fahrzeugpaar werden fast die gleichen Bedingungen verwendet wie zur Definition des Begriffs Fahrzeugschlange. Der einzige Unterschied besteht in der Anzahl der betrachteten Fahrzeuge. Zur Definition des Begriffs Fahrzeugpaar werden die folgenden Merkmale verwendet:

- Im Fahrzeugaggregat darf der Abstand zwischen zwei Fahrzeugen einen geforderten Maximalabstand nicht überschreiten
- Die aggregierten Fahrzeuge befinden sich auf derselben Fahrspur.
- Die aggregierten Fahrzeuge sind hintereinander aufgereiht
- Ein Fahrzeugpaar umfaßt genau zwei Fahrzeuge.

Um auch einzelne Fahrzeuge zu erfassen, wird außerdem der Begriff „einzelnes Fahrzeug“ eingeführt. Zur Definition des Begriffs „einzelnes Fahrzeug“ werden fast die gleichen Bedingungen verwendet wie zur Definition des Begriffs Fahrzeugschlange. Die einzigen Unterschiede bestehen darin, dass genau ein Fahrzeug mit „einzelnes Fahrzeug“ bezeichnet werden kann und dass zu Fahrzeugen vor und hinter dem betrachteten Fahrzeug ein geforderter Abstand *überschritten* werden muß. Zur Definition des Begriffs „einzelnes Fahrzeug“ werden die folgenden Merkmale verwendet:

- Ein Fahrzeug befindet sich auf einer Fahrspur.
- Vor dem betrachteten Fahrzeug befindet sich entweder kein weiteres Fahrzeug oder ein Fahrzeug, welches sich vor dem betrachteten Fahrzeug befindet, ist ausreichend weit entfernt.
- Hinter dem betrachteten Fahrzeug befindet sich entweder kein weiteres Fahrzeug oder ein Fahrzeug, welches sich hinter dem betrachteten Fahrzeug befindet, ist ausreichend weit entfernt.
- Genau ein Fahrzeug läßt sich als „einzelnes Fahrzeug“ bezeichnen.

Wenn man Aussagen eines Menschen analysiert, der die Aufgabe hat, das Verhalten von Fahrzeuggruppen natürlichsprachlich zu beschreiben, so kann man fünf Beschreibungsmöglichkeiten beobachten.

Agensgeschehen:

In [Gerber 01] heißt es dazu: „Agensgeschehen sind Geschehen, die nur vom Handlungsträger selbst abhängen.“ In der vorliegenden Arbeit sind Fahrzeugmengen die Handlungsträger.

Subjektbeschreibung:

Im Fall der vorliegenden Arbeit handelt es sich dabei um die Beschreibung der Struktur eines Fahrzeugaggregats.

Ortsgeschehen:

In [Schäfer 96] heißt es hierzu: „Geschehen, die sich auf ein Fahrzeug und einen punktförmigen Ort beziehen, heißen Ortsgeschehen.“ In der vorliegenden Arbeit werden Fahrzeugmengen als Handlungsträger betrachtet. Folglich kann man die Definition aus [Schäfer 96] etwas allgemeiner fassen. Geschehen, die sich auf einen Handlungsträger und einen punktförmigen Ort beziehen, heißen Ortsgeschehen.

Objektgeschehen:

Mit der gleichen Begründung wie zum Ortsgeschehen läßt sich die Definition von Objektgeschehen aus [Schäfer 96] folgendermaßen verallgemeinern: Geschehen, die sich auf genau zwei Handlungsträger beziehen, heißen Objektgeschehen und werden als zweistellige Prädikate formalisiert.

Fahrbahngeschehen:

Fahrbahngeschehen beschreiben das Verhalten eines Fahrzeugs bezüglich eines bestimmten Fahrbahnabschnitts ([Kollnig & Nagel 93], [Schäfer 96]).

Es folgt nun die Auflistung der Aussagen, die ein System zur natürlichsprachlichen Beschreibung des Verhaltens von Fahrzeugmengen generieren sollte.

- Eine Fahrzeugschlange, zu der eine Aussage formuliert werden soll, kann von den anderen auf der Kreuzung befindlichen Fahrzeugschlangen eindeutig unterschieden werden. Dies wird in den hier formulierten Beschreibungen mit der Bezeichnung Fahrzeugschlange_{*i*} ausgedrückt (Der Fahrzeugschlange_{*i*} wird ein Bezeichner zugeordnet).
- Fahrzeugschlange_{*i*} fuhr, aus der Karl-Wilhelm-Straße kommend, an die Kreuzung am Durlacher Tor heran. Nach wenigen Minuten Stillstand vor der Haltelinie überquerte Fahrzeugschlange_{*i*} die Kreuzung und verließ diese über die Kapellenstraße (Fahrbahngeschehen, Agensgeschehen).
- Die Aussage, wo die Fahrzeugschlange_{*i*} beginnt, und wo sie endet, wird generiert (Subjektbeschreibung).
- Die Aussage, wieviele Fahrzeuge auf einer bestimmten Fahrspur auf der Kreuzung in Fahrzeugschlange_{*i*} warten (sich bewegen), wird für jeden Zeitpunkt generiert (Subjektbeschreibung).

- Die Aussage, welche Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} stillstehen und welche Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} in Bewegung sind, wird generiert (Agensgeschehen).
- Die Aussage, dass sich die Fahrzeugschlange_{*i*} teilt, wird generiert (Agensgeschehen).
- Die Aussage, dass sich Fahrzeugschlange_{*i*} mit einer anderen Fahrzeugschlange vereinigt, wird generiert (Agensgeschehen).
- Die Aussage, dass sich die Zusammensetzung der Fahrzeugschlange_{*i*} ändert, weil sich Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} anschließen, wird generiert (Agensgeschehen).
- Die Aussage, dass sich die Zusammensetzung der Fahrzeugschlange_{*i*} ändert, weil Fahrzeuge aufgrund ihrer großen Geschwindigkeit der Fahrzeugschlange_{*i*} davonfahren, wird generiert (Agensgeschehen).
- Die Aussage, dass sich die Zusammensetzung der Fahrzeugschlange_{*i*} ändert, weil Fahrzeuge die Fahrspur wechseln und deshalb nicht mehr zur Fahrzeugschlange_{*i*} gehörig betrachtet werden, wird generiert (Agensgeschehen).
- Die Aussage, dass sich die Zusammensetzung der Fahrzeugschlange_{*i*} ändert, weil Fahrzeuge die Szene verlassen und deshalb nicht mehr zur Fahrzeugschlange_{*i*} gehörig betrachtet werden, wird generiert (Agensgeschehen).

Natürlichsprachliche Aussagen, die sich der Beschreibungsmöglichkeit 'Subjektbeschreibung' zuordnen lassen, werden vom Titel der vorliegenden Arbeit nicht impliziert. Sie sind jedoch trotzdem für die vorliegende Arbeit von Bedeutung. Es muß nämlich nachprüfbar sein, ob einzelne Fahrzeuge durch die implementierten Logikprogramme so zu Fahrzeugmengen zusammengefaßt werden, wie man es erwarten würde. Eine natürlichsprachliche Beschreibung der Struktur der Fahrzeugmenge ermöglicht dies in effizienter Weise.

Nun soll eine Teilmenge der soeben erläuterten Aussagen näher betrachtet werden. Diese Aussagen orientieren sich an dem, was ein Beobachter zuerst erzählen würde, wenn er die Aufgabe hat, das Verhalten von Fahrzeuggruppen an einer Kreuzung zu beschreiben. Zu der näher zu betrachtenden Teilmenge gehören die folgenden Aussagen:

- Eine Fahrzeugschlange, zu der eine Aussage formuliert werden soll, kann von den anderen auf der Kreuzung befindlichen Fahrzeugschlangen eindeutig unterschieden werden. Dies wird in den hier formulierten Beschreibungen mit der Bezeichnung Fahrzeugschlange_{*i*} ausgedrückt. Beispielsweise die natürlichsprachlichen Sätze „Der Kopf einer Fahrzeugschlange befindet sich auf der rechten geraden Kreuzungszufahrt auf der Karl-Wilhelm-Straße. Diese Fahrzeugschlange wird mit Fahrzeugschlange_{*i*} bezeichnet.“ liefert eine solche eindeutige Unterscheidung.

Aussage	Charakteristikum	Rechnerinterne Repräsentationen, mit Hilfe derer der zu erstellende FMTHL-Ausdruck ausgeprägt werden kann.	Bestandteile der in der dritten Spalte dieser Tabelle genannten rechnerinternen Repräsentation, die man zur Ausprägung des in der zweiten Spalte genannten Charakteristikums verwenden kann (Einige der logischen Ausdrücke zu den hier angegebenen Prädikaten findet man im Abschnitt 3.2.2)
Fahrzeugschlange	<i>Aufreihung</i> von Objekten	Fahrbahnmodell (siehe Abbildung 3.1)	auf(Agens, Fahrspur)
	<i>benachbarte</i> (direkt hintereinanderstehende) Fahrzeuge	begriffliche Beschreibung der Beziehungen der Fahrzeuge in der Szene zueinander	orientation(Agens, Objekt, Wert), $Wert \in \{vor, hinter\}$
	<i>Maximalabstand</i> zwischen zwei benachbarten Objekten wird innerhalb der Fahrzeugschlange nicht überschritten	begriffliche Beschreibung der Beziehungen der Fahrzeuge in der Szene zueinander	abstand(Agens, Agens2)
	Eine Fahrzeugschlange S, zu der eine Aussage formuliert werden soll, kann von den anderen auf der Kreuzung befindlichen Fahrzeugschlangen eindeutig unterschieden werden. Dies wird in den hier formulierten Beschreibungen mit der Bezeichnung Fahrzeugschlange _i oder Fahrzeugschlangen-Agens ausgedrückt.	<ul style="list-style-type: none"> • Menge L der Fahrzeuge, die zu einer Ballung gehören • Liste F der Fahrzeuge, die sich auf einer Fahrspur befinden 	$S = L \cap F$
	Eine Menge von Fahrzeugen, die aufgrund ihrer räumlichen Anordnung „zusammenleben“, verschmilzt zu einem Objekt, welches man Fahrzeugschlange nennt. Die Fahrzeugschlange kann als eigenständiges Agens betrachtet werden. Man bezeichnet dieses Objekt als Fahrzeugschlangen-Agens.	begriffliche Beschreibung der Fahrzeugschlange. Wird eine Fahrzeugschlange als eigenständiges Agens betrachtet, kann an dieses ähnlich zur Vorgehensweise für einzelne Fahrzeuge als Agenten, ein Bezeichner vergeben werden (z. B. Fschlange ₁)	Die begriffliche Beschreibung einer Fahrzeugschlange könnte Logikfakten nach dem folgenden Muster enthalten: besteht_aus (Fschlange ₁ , Objekt1, Grad), besteht_aus (Fschlange ₁ , Objekt2, Grad), besteht_aus (Fschlange ₁ , Objekt3, Grad), usw.

Tabelle 3.1: Diese Tabelle enthält die Charakteristika der näher zu betrachtenden natürlichsprachlichen Aussagen. All diese Charakteristika werden durch einen FMTHL-Ausdruck rechnerintern repräsentiert.

Aussage	Charakteristikum	Rechnerinterne Repräsentationen, mit Hilfe derer der zu erstellende FMTHL-Ausdruck ausgeprägt werden kann.	Bestandteile der in der dritten Spalte dieser Tabelle genannten rechnerinternen Repräsentation, die man zur Ausprägung des in der zweiten Spalte genannten Charakteristikums verwenden kann (Einige der logischen Ausdrücke zu den hier angegebenen Prädikaten findet man im Abschnitt 3.2.2)
Die Aussage, wieviele Fahrzeuge auf einer bestimmten Fahrspur auf der Kreuzung in Fahrzeugschlange _i warten (sich bewegen)	Fahrzeuganzahl	Liste der Fahrzeuge, aus denen Fahrzeugschlange _i besteht.	zaehle_objekte_in (Fschlange_1, Eine_Anzahl), Eine_Anzahl ∈ {null, eins, zwei, ...}
Die Aussage, wo sich der Anfang und wo sich das Ende der Fahrzeugschlange _i befindet.	Fahrbahnobjekt, auf dem sich das erste Fahrzeug der Fahrzeugschlange _i befindet.	Liste der Fahrzeuge, aus denen Fahrzeugschlange _i besteht.	head(Fschlange_1, Erstes_Fahrzeug, Grad), Kopf der Fahrzeugliste
		primitiv-begriffliche Beschreibung des Fahrzeugs Erstes_Fahrzeug	auf(Erstes_Fahrzeug, Fahrbahnobjekt)
	Fahrbahnobjekt, auf dem sich das letzte Fahrzeug der Fahrzeugschlange _i befindet.	Liste der Fahrzeuge, aus denen Fahrzeugschlange _i besteht.	letztes_F(Fschlange_1, Letztes_Fahrzeug, Grad)
		primitiv-begriffliche Beschreibung des Fahrzeugs Letztes_Fahrzeug	auf(Letztes_F, Fahrbahnobjekt)

Tabelle 3.2: Diese Tabelle enthält die Charakteristika der näher zu betrachtenden natürlichsprachlichen Aussagen. All diese Charakteristika werden durch einen FMTHL-Ausdruck rechnerintern repräsentiert.



Abbildung 3.1: Das verwendete Fahrbahnmodell ist hier mit weiß unterlegten schwarzen Linien eingezeichnet.

- Die Aussage, wo die Fahrzeugschlange_i beginnt, und wo sie endet (Subjektbeschreibung) [das entspräche einer natürlichsprachlichen Aussage der Art: Das erste Fahrzeug der Fahrzeugschlange_i befindet sich auf der rechten geraden Kreuzungszufahrt auf der Karl-Wilhelm-Straße.].
- Die Aussage, auf welcher Fahrspur sich Fahrzeugschlange_i befindet (Fahrbahn-geschehen) [entsprechend einer Aussage der Art: Fahrzeugschlange_i befindet sich auf der Fahrspur, welche als erstes Teilstück das Fahrbahnobjekt rechte Gerade-ausspur auf der Karl-Wilhelm-Straße umfaßt.].
- Die Aussage, aus wievielen Fahrzeugen die Fahrzeugschlange_i besteht (Subjekt-beschreibung) [entsprechend einer natürlichsprachlichen Aussage der Art: Fahrzeugschlange_i besteht aus 4 Fahrzeugen.].
- Die Aussage, welche Fahrzeuge Fahrzeugschlange_i umfaßt (Subjektbeschreibung)

[entsprechend zweier natürlichsprachlicher Sätze der Art: Im Folgenden werden in sortierter Reihenfolge die Fahrzeugbezeichner der Fahrzeuge genannt, aus denen Fahrzeugschlange_{*i*} besteht. Fahrzeugschlange_{*i*} umfaßt die Fahrzeuge obj_10, obj_4, obj_1 und obj_5.].

- Die Aussage, welche Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} stillstehen und welche Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} in Bewegung sind, wird generiert (Agensgeschehen) [beispielsweise sind folgende natürlichsprachliche Aussagen denkbar: „Alle Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} stehen still.“ und „Nicht alle Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} stehen still.“].
- Die Aussage, dass sich Fahrzeuge der Fahrzeugschlange_{*i*} anschließen, wird für jeden Zeitpunkt generiert (Objektgeschehen) [entsprechend einer natürlichsprachlichen Aussage der Art: obj_12 hat sich der Fahrzeugschlange_{*i*} angeschlossen.].
- Die Aussage, dass Fahrzeuge die Fahrspur verlassen und deshalb nicht mehr zur Fahrzeugschlange_{*i*} gehörig betrachtet werden, wird generiert (Agensgeschehen) [entsprechend einer natürlichsprachlichen Aussage der Art: obj_7 hat die Fahrspur Fsp verlassen und wird deshalb nicht mehr als zur Fahrzeugschlange_{*i*} gehörig betrachtet.].

3.2 Generierung eines Textes

3.2.1 Teilschritte

Die rechnergestützte Erzeugung eines natürlichsprachlichen Textes zur Beschreibung der Änderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge wurde in die folgenden vier Schritte unterteilt.

1. Erzeugen einer begrifflichen Beschreibung der im zeitlichen Verlauf veränderlichen Zusammensetzung der zu beschreibenden Fahrzeugmenge. Die resultierende begriffliche Beschreibung zählt zu jedem Auswertungszeitpunkt die Elemente der Menge auf. (In der vorliegenden Arbeit wurden Fahrzeuge zu einer Menge zusammengefaßt, wenn sie sich auf einer betrachteten Fahrspur befinden.)
2. Berechnen einer begrifflichen Beschreibung der Änderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge (Anmerkung: Um das Verhalten einer Fahrzeugmenge natürlichsprachlich zu beschreiben wird vorgeschlagen, im aktuellen Schritt eine begriffliche Beschreibung des Verhaltens dieser Fahrzeugmenge zu generieren. Eine Liste mit möglichen natürlichsprachlichen Verhaltensbeschreibungen wurde in Abschnitt 3.1 zusammengestellt).

3. Unter Verwendung der durch Schritt 2 bestimmten Prädikate werden die Zeitpunkte ermittelt, zu denen sich definierte Schemata von *Ereignis*-Prädikaten ausdrücken lassen.
4. Die Auswertungszeitpunkte werden in chronologischer Reihenfolge durchlaufen. Zu jedem durchlaufenen Zeitpunkt wird zu jedem in Schritt 3 ermittelten Prädikat ein natürlichsprachlicher Satz generiert. Bewahren in Schritt 3 berechnete Prädikate über mehrere aufeinanderfolgende Auswertungszeitpunkte hinweg ihre Gültigkeit, so wird im aktuellen Schritt zu diesem Prädikat nur ein natürlichsprachlicher Satz formuliert, welcher das Andauern des beschriebenen Ereignisses ausdrücken sollte. Als Zwischenschritt wird der semantische Inhalt der in Schritt 3 erzeugten Prädikate in eine DRS transformiert.

In Abschnitt 3.2.2 und in Anhang E.1 findet man detailliertere Angaben zu den hier aufgelisteten Teilschritten.

3.2.2 Programme

3.2.2.1 Programm 1

Zur Realisierung des in Abschnitt 3.2.1 unter 1 beschriebenen Auswertungsschritts wurde das folgende Logikprogramm implementiert.

```
//eine Fahrspur ist durch das erste zur Fahrspur gehörende
//Fahrbahnobjekt eindeutig bestimmt.

always (fahrzeuge_zusammenfassen(Agens) :- agg_f(Agens,Flist,Fanzahl)).

always (agg :- agg_f(fobj_2, Flist, Fanzahl),
         agg_f(fobj_1, Flist2, Fanzahl2),
         agg_f(fobj_9, Flist9, Fanzahl9)).

always (agg_f(Fobj, Flist, Fanzahl) :-
        fagg(Fobj, Flist, Fanzahl),
        ausgeben(Fobj, Flist, Fanzahl)).

//fschlange ist die Fahrzeugschlange auf der Fahrspur,
//deren erster Fahrbahnabschnitt vom Fahrbahnobjekt
//Fahrbahnobjekt Fbahnobjekt gebildet wird.
always (ausgeben(Fbahnobjekt, Fzlist, Anzahl) :-
        note(fzmenge_ist_nicht_im_gesichtsfeld_der_kamera(Fbahnobjekt)),
        schreibe(Fbahnobjekt, Fzlist)).
```

```

always schreibe(Fspur, []).
always (schreibe(Fspur, [H|T]) :- schreibe(Fspur,T),
                                   note(fzmenge_umfasst(Fspur,H))).
always (fagg(EineFspur, EineFListe, EineFAnzahl) :-
        get_f_list(X, bedingung(X, EineFspur), EineFListe, EineFAnzahl)).

always (get_f_list(Vars,Domain, List, Anz) :-
        call({ findall List Vars Domain }), card(List, Anz)).

always (bedingung(Agens, Fbo_eins) :- trajectory(Agens,X,Y,T,V,W),
        auf_fb(Agens, Fbo_eins)).

//die betrachtete Fahrspur (Fs) besteht aus drei
//Fahrbahnobjekten, naemlich aus Fbo,Fbo2 und Fbo3
always (auf_fb(Ag,Lane) :- auf_fbo(Ag,Lane); auf_fbo2(Ag,Lane);
        auf_fbo3(Ag,Lane)).

always (auf_fbo(Ag,Fbo) :- auf(Ag,Fbo)). //, note(f_auf_fbo_Fbo(Fbo,Ag))).

always (auf_fbo2(Ag,Lane) :- auf(Ag,fobj_5)).

//alternativ zu der in der vorangegangenen Zeile angegebenen
//Definition des Logischen Ausdrucks auf_fbo2, laesst sich auf_fbo2
//folgendermassen definieren:
//always (auf_fbo2(Ag,FboII) :-
//        hinter(Fbo2,FboII),
//        auf(Ag,Fbo2), note(f_auf_fbo_fboII(Fbo2,Ag))).

always (auf_fbo3(Ag,Lane) :- auf(Ag,fobj_8)).

//alternativ zu der in der vorangegangenen Zeile angegebenen
//Definition des Logischen Ausdrucks auf_fbo2, laesst sich auf_fbo2
//folgendermassen definieren:
//always (auf_fbo3(Ag,FbIII) :-
//        hinter(Fbo2,FbIII),
//        hinter(Fbo3,Fbo2),
//        auf(Ag,Fbo3), note(f_auf_fbo_fboIII(Fbo3,Ag))).

```

Das hier abgedruckte Logikprogramm findet man auf dem folgenden Pfad:

```
/home/hschreib/src/limette/fahrzeuge_zusammenfassen.lim
```


3.2.2.2 Programm 2

Zur Realisierung des in Abschnitt 3.2.1 unter 2 beschriebenen Auswertungsschritts wurde das folgende Logikprogramm implementiert.

```
//fuer den Fall, dass Agens keine Fahrzeugmenge
//sondern ein Fahrzeug bezeichnet, muessen die Kommentarzeichen "//"
//vor der folgenden Programmzeile entfernt werden.
//always (gruppe_besch(Agens) :- trajectory(Agens,X,Y,T,V,W)).
//Bisher l"a"st sich nur das Aussehen von Fahrzeugmengen
//nat"urlichsprachlich beschreiben.

//setzt man fuer Agens den Bezeichner einer Fahrzeugmenge (Fahrzeuggruppe) ein,
//brauch man beim Aufruf der im Folgenden abgedruckten Methode
//nicht sicherstellen, dass der eingesetzte Bezeichner der Bezeichner
//einer Fahrzeugmenge ist. Deshalb ist fzmeng(Agens) im Folgenden
//auskommentiert.
always (gruppe_beschreiben(Agens) :- //fzmeng(Agens),
    deduce_term(Agens,Fzlist,Term,Anzahl),
    //quicksort(Fzlist,Sfzlist),
    //Sortierung bei den betrachteten Bildfolgen nicht erforderlich,
    //da Fahrzeuge in der Reihenfolge in den Fahrzeugschlangen
    //angeordnet sind, in der sie ins Bild f"uhren.
    //!!! Achtung bei Ueberholmanoevern und Spurwechseln !!!
    note(is_named(Agens,Term)),
    ausgeben(Agens,Fzlist,Anzahl),
    //(Anzahl = 1) -> refer_as
    //(Anzahl > 1) -> |: umfasst :|
    -1 ? deduce_term(Agens,Fzlist_before,Term_before,Anzahl_before),
    has_been_named(Agens,Term,Term_before),
    // :- Term = Term_before, note(has_been_named_too(Agens,Term_before)
    // :- Term <> Term_before,
    //      note(has_been_named(Agens,Term_before))
//  vehicle_set_changed(Agens,Fzlist,Fzlist_before),
    write_joined_it(Agens,Fzlist,Fzlist_before),
    write_left_it(Agens,Fzlist_before,Fzlist),
    write_head_of_queue(Agens,Fzlist,Anzahl),
    write_last_vehicle(Agens,Fzlist,Anzahl)

//  write(Fzlist),
//  write(Fzlist_before)
).
```

```

always (write_last_vehicle(Agens,Fzlist,Anzahl)
:- Anzahl = 0; Anzahl = 1; Anzahl = 2).

always write_last_vehicle(Agens,[],Anzahl).
always (write_last_vehicle(Agens,[H|T],Anzahl)
:- note(last_vehicle(Agens,H))).

always (write_head_of_queue(Agens,Fzlist,Anzahl) :- Anzahl = 1;Anzahl = 2).

always head([H|T],H).
always write_head_of_queue(Agens,[],Anzahl).
always (write_head_of_queue(Agens,List,Anzahl) :- card(List,Num),Num =
1,head(List,H),
note(head_of_queue(Agens,H))
).

always (write_head_of_queue(Agens,[H|T],Anzahl)
:- write_head_of_queue(Agens,T,Anzahl)).

always (write_joined_it(Agens,Fzlist,Fzlist_before)
:- additional_v(Fzlist,Fzlist_before,V),
not V = no_vehicle,
note(joined_queue(Agens,V))
).

always (write_joined_it(Agens,Fzlist,Fzlist_before) :-
additional_v(Fzlist,Fzlist_before,V),
V = no_vehicle
).

always (write_left_it(Agens,Fzlist_before,Fzlist) :-
additional_v(Fzlist_before,Fzlist,V),
not V = no_vehicle,
note(left_queue(Agens,V))
).

always (write_left_it(Agens,Fzlist_before,Fzlist) :-
additional_v(Fzlist_before,Fzlist,V),
V = no_vehicle
).

```

```

always (additional_v(L,S,V) :- L = [],fill(no_vehicle,V)).
always (additional_v([H|T],S,H) :- not member(H,S)).
always (additional_v([H|T],S,V) :- additional_v(T,S,V)).

// element "E" is a member of set "S"
always member(E,[E|_]).
always (member(E,[_|S]) :- member(E,S)).

always fill(V,V).

always (vehicle_set_changed(Agens,Fzlist,Fzlist_before) :-
    sets_equal(Fzlist,Fzlist_before)
    ).

always (vehicle_set_changed(Agens,Fzlist,Fzlist_before) :-
    not sets_equal(Fzlist,Fzlist_before)
    ).

always sets_equal([],[]).
always (sets_equal([H|T],[U|V]) :- H = U, sets_equal(T,V)).

always (has_been_named(Agens,Term, Term_before) :-
    Term = Term_before, note(has_been_named_too(Agens,Term_before))).
always (has_been_named(Agens,Term, Term_before) :-
    Term <> Term_before, note(has_been_named(Agens,Term_before))).

//refer_as :- (Anzahl = 1)
//|: umfasst :| :- (Anzahl > 1)

always (ausgeben(Agens,Fzlist,Anzahl) :-
    schreibe(Agens,Fzlist)).

always schreibe(Fspur,[]).
always (schreibe(Fspur, [H|T]) :- schreibe(Fspur,T),
    note(umfasst(Fspur,H))).

always (get_fzliste(Name,List,Anz) :-
    call({ findall List X fzmengenumfasst(Name,X) }),
    card(List,Anz)
    ).

always (deduce_term(Agens,Fzlist,Term,Anzahl) :-
    get_fzliste(Agens,Fzlist,Anzahl), conclude_term(Anzahl,Term)).

```

```

always (conclude_term(Anzahl,Term) :-
  Anzahl = 0,
  //free_lane = freie Fahrspur, dass heisst es
  //befinden sich keine fahrzeuge auf der Fahrspur
  fuellen(not_in_szene,Term)).

always (conclude_term(Anzahl,Term) :- Anzahl = 1, fuellen(single_vehicle,Term)).

always (conclude_term(Anzahl,Term) :- Anzahl = 2, fuellen(vehicle_pair,Term)).

always (conclude_term(Anzahl,Term) :- Anzahl > 2, fuellen(vehicle_queue,Term)).

always fuellen(T,T).

always card([], 0).
always (card([H|T], N1) :-
  card(T, N), N1 is N + 1
).

```

Das hier abgedruckte Logikprogramm findet man auf dem folgenden Pfad:

```

/home/hschreib/src/limette/aenderungen_der_zusammensetzung_
  der_fahrzeugmenge_beschreiben.lim

```

3.2.2.3 Programm 3

Zur Realisierung des in Abschnitt 3.2.1 unter 3 beschriebenen Auswertungsschritts wurde das folgende Logikprogramm implementiert.

```

always (be_free(Fobj)
  :- is_named(Fobj,free_lane), note(be_free(Fobj))).

always (enter(Agent,Fobj)
  :- joined_queue(Fobj,Agent), note(enter(Agent,the_lane))).

always (drive_on(Agent,Fobj)
  :- has_been_named(Fobj,free_lane), is_named(Fobj,single_vehicle),
  joined_queue(Fobj,Agent), note(drive_on(Agent,Fobj))).

always (form(Fobj,vehicle_pair)
  :- has_been_named(Fobj,single_vehicle), is_named(Fobj,vehicle_pair),
  note(form(the_vehicles,vehicle_pair))).

```

```

always (form(Fobj,vehicle_queue)
:- has_been_named(Fobj,vehicle_pair), is_named(Fobj,vehicle_queue),
note(form(the_vehicles,queue))).

always (first_vehicle_of(Agent,Fobj)
:- head_of_queue(Fobj,Agent),
note(be(Agent,the_head_of_the_queue))).

always (last_vehicle_of(Agent,Fobj)
:- last_vehicle(Fobj,Agent),
note(be(Agent,the_last_vehicle_of_the_queue))).

always (leave(Agent,Fobj)
:- left_queue(Fobj,Agent), is_named(Fobj,vehicle_queue),
note(leave(Agent,the_queue))).

always (form(Fobj,vehicle_pair)
:- has_been_named(Fobj,vehicle_queue), is_named(Fobj,vehicle_pair),
note(form(the_remaining_vehicles,vehicle_pair))).

always (remain_as(Agent,single_vehicle)
:- has_been_named(Fobj,vehicle_pair), is_named(Fobj,single_vehicle),
umfasst(Fobj,Agent), note(remain_as(Agent,single_vehicle))).

always (leave(Agent,Fobj)
:- left_queue(Fobj,Agent), is_named(Fobj,vehicle_pair),
note(leave(Agent,the_lane))).

always (leave(Agent,Fobj)
:- left_queue(Fobj,Agent), is_named(Fobj,single_vehicle),
note(leave(Agent,the_lane))).

```

Diese logischen Ausdrücke sind in einer Datei abgespeichert, die man auf dem folgenden Pfad findet:

```
/home/hschreib/src/limette/ereignisliste_erstellen.lim
```

Folgende Anweisungen schreiben die oben abgedruckte begriffliche Beschreibung einer Fahrzeugschlange in die Datei 'result.lim':

```

?- set(stop,+i).
?- set(defcheck,off).

```

```

?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ? be_free(Fobj)).
?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ? enter(Agent,Fobj)).
?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ? drive_on(Agent,Fobj)).
?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ? form(Fobj,Gruppe)).
?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ?
first_vehicle_of(Agent,Fobj)).
?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ?
last_vehicle_of(Agent,Fobj)).
?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ? leave(Agent,Fobj)).
?- append('result.lim') , (findall[L] [X|Y] -: 1 : 2320 ?
remain_as(Agent,Fobj)).

```

Diese Anweisungen sind in einer Datei gespeichert, die man auf dem folgenden Pfad findet:

```
/home/hschreib/src/limette/ereignisliste_erstellen_anweisungen.lim
```

3.2.2.4 Programm 4

Zur Realisierung der in Abschnitt 3.2.1 unter 4 beschriebenen Auswertungsschritte wurde ein Zerteilergenerator (vgl. [Arens & Ottlik 00]) und ein Textgenerator verwendet. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit interessierenden Module dieses Textgenerators umfassen einen Zerteiler zur Transformation begrifflicher Beschreibungen in eine DRS und einen Textformulierer zur Transformation einer DRS in einen natürlichsprachlichen Text (vgl. [Gerber 00]). Der Textformulierer wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit geringfügig erweitert. Zu den minimalen Erweiterungen gehören das Sortieren der als Eingabedaten verwendeten Logikfakten in chronologischer Reihenfolge (vgl. Anhang E.2) und das Erzeugen von Präpositionalphrasen aus der DRS, wie beispielsweise ‘the last vehicle of the queue’ (vgl. Abschnitt 4.1.4).

Kapitel 4

Experimentelle Ergebnisse

4.1 Durlacher Tor Szene

4.1.1 Fahrzeugaggregate in der Szene

4.1.1.1 Begriffliche Beschreibung

Die im Folgenden begrifflich beschriebene Fahrzeugmenge wurde mit Hilfe der primitiven Schemata aus Abschnitt 3.1 ausgeprägt. Die Zeitpunkte, welche die folgend abgedruckten Logikfakten einleiten, wurden so gewählt, dass mit den folgend abgedruckten Logikfakten zu jedem der drei eingeführten Schemata ein Beispiel einer Ausprägung demonstriert wird.

```
80 : 80 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,null).
81 : 81 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,zwei).
81 : 81 ! fzpaar_umfasst(fobj_2,obj_3).
81 : 81 ! fzpaar_umfasst(fobj_2,obj_2).
200 : 200 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,zwei).
200 : 200 ! fzpaar_umfasst(fobj_2,obj_5).
200 : 200 ! fzpaar_umfasst(fobj_2,obj_2).
2200 : 2200 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,vier).
2200 : 2200 ! fschl_umfasst(fobj_2,obj_30).
2200 : 2200 ! fschl_umfasst(fobj_2,obj_29).
2200 : 2200 ! fschl_umfasst(fobj_2,obj_26).
2200 : 2200 ! fschl_umfasst(fobj_2,obj_18).
2220 : 2220 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,drei).
2220 : 2220 ! fschl_umfasst(fobj_2,obj_29).
2220 : 2220 ! fschl_umfasst(fobj_2,obj_26).
2220 : 2220 ! fschl_umfasst(fobj_2,obj_18).
2250 : 2250 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,zwei).
```

```

2250 : 2250 ! fzpaar_umfasst(fobj_2,obj_29).
2250 : 2250 ! fzpaar_umfasst(fobj_2,obj_26).
2300 : 2300 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,eins).
2300 : 2300 ! einzelnes_fahrzeug(fobj_2,obj_31).
2400 : 2400 ! anzahl_auf_fahrspur(fobj_2,null).

```

Natürlichsprachlich ausgedrückt enthalten diese Logikfakten folgende Informationen:

Zum Zeitpunkt 80 befindet sich kein Fahrzeug auf der Fahrspur, die mit dem Fahrbahnobjekt `fobj_2` beginnt. Zum Zeitpunkt 81 befindet sich ein Fahrzeugpaar auf dieser Fahrspur. Es setzt sich aus den Fahrzeugen `obj_3` und `obj_2` zusammen. Zum Zeitpunkt 200 umfaßt das auf der Fahrspur `fobj_2` befindliche Fahrzeugpaar die Fahrzeuge `obj_5` und `obj_2`. Zum Zeitpunkt 2200 befinden sich vier Fahrzeuge auf der Fahrspur `fobj_2`. Diese bilden eine Fahrzeugschlange. Es handelt sich bei den vier Fahrzeugen um `obj_30`, `obj_29`, `obj_26` und `obj_18`. Zum Zeitpunkt 2220 befinden sich drei Fahrzeuge auf der Fahrspur `fobj_2`. Diese drei Fahrzeuge, nämlich `obj_29`, `obj_26` und `obj_18`, lassen sich zu einer Fahrzeugschlange aggregieren. Zum Zeitpunkt 2250 ist ein Fahrzeugpaar bestehend aus den Fahrzeugen `obj_29` und `obj_26` erkennbar. Zum Zeitpunkt 2300 befindet sich ein einzelnes Fahrzeug auf der betrachteten Fahrspur. Es handelt sich dabei um das Fahrzeug `obj_31`.

Die soeben abgedruckten begrifflichen Beschreibungen wurden mit dem in Abschnitt 3.2.2.1 abgedruckten Logikprogramm erzeugt.

4.1.1.2 Testergebnisse

Ziel der in den folgenden Tabellen dokumentierten Tests war es, die Richtigkeit der generierten begrifflichen Beschreibungen zu Fahrzeugschlangen, Fahrzeugpaaren und einzelnen Fahrzeugen zu prüfen. Vor der Auflistung der Testergebnisse in tabellarischer Form werden die beobachteten Fehler und deren Ursachen erläutert.

- G1: Die zusätzlich zu den bezeichneten Fahrzeugen in der Szene erkennbaren Fahrzeuge befanden sich bereits zum Zeitpunkt 0 in der Szene. Es werden nur Fahrzeuge verfolgt, die zum Zeitpunkt 0 oder zu einem späteren Zeitpunkt in die Szene fahren.
- G2: Möglicherweise ist/sind die Trajektorie/n des/der zu diesem Zeitpunkt auf dem angegebenen Fahrbahnobjekt befindlichen Fahrzeug-s/e fehlerhaft. Manche Fahrzeuge, die auf der angegebenen Fahrspur fahren, werden aufgrund der Verdeckung durch das in der Szene befindliche Verkehrsschild nicht fehlerfrei verfolgt (Salopp formuliert könnte man sagen, manche Trajektorien bleiben am Schild hängen.).

Bildfolge	Zeitpunkt	Fahrspur	Fahrbahnobjekt	Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der automatischen Schlußfolgerung mit Hilfe der Regeln des Logikprogramms aus Abschnitt 3.2.2.1)	Anzahl der Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der Schlußfolgerung des Autors der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Visualisierungen des Programms Xtrack)	Grund für die Abweichung	
stau01	500	fobj_2	fobj_2	obj_2, obj_6, obj_8, obj_9	4		
			fobj_5				
			fobj_8				
		fobj_1	fobj_1	obj_10	4	G1	
			fobj_4				
			fobj_7				
		fobj_9	fobj_9				
			fobj_10	obj_11	1		
			fobj_11				
		1000	fobj_2	fobj_2	obj_2, obj_6, obj_8, obj_9, obj_15	5	
				fobj_5			
	fobj_8						
	fobj_1		fobj_1	obj_10, obj_16, obj_18	6	G1	
			fobj_4				
			fobj_7				
	fobj_9		fobj_9				
			fobj_10				
	1500	fobj_2	fobj_2	obj_9, obj_15, obj_25	3 Fahrzeuge		
			fobj_5	obj_6	2 Fahrzeuge	G2	
			fobj_8	obj_2	1 fahrzeug		
		fobj_1	fobj_1	obj_10, obj_16, obj_18, obj_24	4 Fahrzeuge		
			fobj_4	obj_22, obj_23	2 Fahrzeuge		
			fobj_7		ein Fahrzeug	G3	
		fobj_9	fobj_9				
			fobj_10	obj_21	ein Fahrzeug		
		fobj_11		1 Fahrzeug	unbekannt		
		2000	fobj_2	fobj_2			
				fobj_5	obj_27, obj_29	2 Fahrzeuge	
	fobj_8			obj_15, obj_25	2 Fahrzeuge		
	fobj_1		fobj_1				
fobj_4			obj_18, obj_26	2 Fahrzeuge			
fobj_7			obj_10, obj_16	2			
fobj_9	fobj_9						
	fobj_10						
fobj_11							

Tabelle 4.1: Dokumentation von Testergebnissen (1).

Bildfolge	Zeitpunkt	Fahrspur	Fahrbahnobjekt	Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der automatischen Schlußfolgerung mit Hilfe der Regeln des Logikprogramms aus Abschnitt 3.2.2.1)	Anzahl der Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der Schlußfolgerung des Autors der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Visualisierungen des Programms Xtrack)	Grund für die Abweichung	
stau02	500	fobj_2	fobj_2	obj_2	1		
			fobj_5				
			fobj_8				
		fobj_1	fobj_1	obj_1, obj_3	3	G4	
			fobj_4				
			fobj_7				
		fobj_9	fobj_9				
			fobj_10				
			fobj_11		2	G5, Grund unbekannt	
		1000	fobj_2	fobj_2	obj_2, obj_6	2	
				fobj_5			
	fobj_8						
	fobj_1		fobj_1	obj_1, obj_3, obj_10, obj_12	6	G4	
			fobj_4				
			fobj_7				
	fobj_9		fobj_9	obj_14	1		
			fobj_10				
			fobj_11		1	G6	
	1500		fobj_2	fobj_2	obj_6	1 Fahrzeug	
				fobj_5	obj_2	ein Fahrzeug	
		fobj_8					
		fobj_1	fobj_1	obj_3, obj_10, obj_12	4 Fahrzeuge	G7	
			fobj_4	obj_19	ein Fahrzeug		
			fobj_7				
		fobj_9	fobj_9				
			fobj_10	obj_17, obj_18	zwei Fahrzeuge		
			fobj_11				
		2000	fobj_2	fobj_2			
				fobj_5			
	fobj_8						
	fobj_1		fobj_1	obj_25	ein Fahrzeug		
			fobj_4	obj_23, obj_24	2 Fahrzeuge		
			fobj_7	obj_10, obj_12	3 Fahrzeuge	G3	
fobj_9	fobj_9						
	fobj_10						
	fobj_11						

Tabelle 4.2: Dokumentation von Testergebnissen (2).

Bildfolge	Zeitpunkt	Fahrspur	Fahrbahnobjekt	Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der automatischen Schlußfolgerung mit Hilfe der Regeln des Logikprogramms aus Abschnitt 3.2.2.1)	Anzahl der Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der Schlußfolgerung des Autors der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Visualisierungen des Programms Xtrack)	Grund für die Abweichung
stau03	500	fobj_2	fobj_2	obj_5, obj_9	4	G1
			fobj_5			
			fobj_8			
		fobj_1	fobj_1	obj_1, obj_2, obj_8	1	G8
			fobj_4			
			fobj_7			
		fobj_9	fobj_9			
			fobj_10			
			fobj_11			
	1000	fobj_2	fobj_2	obj_9, obj_13, obj_15	5	G1
			fobj_5			
			fobj_8			
		fobj_1	fobj_1	obj_1, obj_2, obj_8	1	G8
			fobj_4			
			fobj_7			
		fobj_9	fobj_9			
			fobj_10			
			fobj_11			
	1500	fobj_2	fobj_2	obj_9, obj_13, obj_15	5	G1
			fobj_5	obj_19	1	
			fobj_8			
		fobj_1	fobj_1	obj_1, obj_2, obj_8	1	G8
			fobj_4			
			fobj_7			
fobj_9		fobj_9				
		fobj_10	obj_17	1		
		fobj_11				
2000	fobj_2	fobj_2	obj_5, obj_9, obj_13, obj_15	5	G1	
		fobj_5				
		fobj_8				
	fobj_1	fobj_1	obj_1, obj_2, obj_8	1	G8	
		fobj_4				
		fobj_7				
	fobj_9	fobj_9				
		fobj_10				
		fobj_11				

Tabelle 4.3: Dokumentation von Testergebnissen (3).

Bildfolge	Zeitpunkt	Fahrspur	Fahrbahnobjekt	Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der automatischen Schlußfolgerung mit Hilfe der Regeln des Logikprogramms aus Abschnitt 3.2.2.1)	Anzahl der Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der Schlußfolgerung des Autors der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Visualisierungen des Programms <i>Xtrack</i>)	Grund für die Abweichung		
stau03	2500	fobj_2	fobj_2	obj_9, obj_13, obj_15	5	G1		
			fobj_5					
			fobj_8					
		fobj_1	fobj_1	obj_1, obj_2, obj_8	1	G8		
			fobj_4					
			fobj_7					
		fobj_9	fobj_9					
			fobj_10					
			fobj_11					
		stau04	500	fobj_2	fobj_2	obj_1	1	
					fobj_5			
fobj_8								
fobj_1	fobj_1				1	G1		
	fobj_4							
	fobj_7							
fobj_9	fobj_9							
	fobj_10			obj_2	1			
	fobj_11							
1000	fobj_2			fobj_2	obj_1, obj_11	3	G2	
				fobj_5				
			fobj_8					
	fobj_1		fobj_1	obj_7	2	G1		
			fobj_4					
			fobj_7					
fobj_9	fobj_9							
	fobj_10	obj_13	1					
	fobj_11							

Tabelle 4.4: Dokumentation von Testergebnissen (4).

Bildfolge	Zeitpunkt	Fahrspur	Fahrbahnobjekt	Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der automatischen Schlußfolgerung mit Hilfe der Regeln des Logikprogramms aus Abschnitt 3.2.2.1)	Anzahl der Fahrzeuge, die sich auf dem in Spalte vier dieser Tabelle angegebenen Fahrbahnobjekt befinden. (Ergebnis der Schlußfolgerung des Autors der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Visualisierungen des Programms <i>Xtrack</i>)	Grund für die Abweichung
stau04	1500	fobj_2	fobj_2	obj_1, obj_11	3	G2
			fobj_5			
			fobj_8			
		fobj_1	fobj_1	obj_7, obj_16	3	G1
			fobj_4			
			fobj_7			
		fobj_9	fobj_9			
			fobj_10	obj_20	1	
			fobj_11			
	2000	fobj_2	fobj_2	obj_24	2	G2
			fobj_5	obj_1	2	G2
			fobj_8			
		fobj_1	fobj_1	obj_7, obj_16	2	
			fobj_4	obj_23	1	
			fobj_7			
		fobj_9	fobj_9			
			fobj_10			
			fobj_11			
	2500	fobj_2	fobj_2			
			fobj_5			
			fobj_8	obj_24	1	
fobj_1		fobj_1				
		fobj_4				
		fobj_7	obj_16	1		
fobj_9		fobj_9				
		fobj_10				
		fobj_11				

Tabelle 4.5: Dokumentation von Testergebnissen (5).

- G3: Dieses Fahrzeug ist am Bildrand erkennbar, ist jedoch möglicherweise bereits zu weit aus der Szene gefahren, um als auf dem Fahrbahnobjekt befindlich erkannt zu werden.
- G4: Möglicherweise ist die Trajektorie des zum betrachteten Zeitpunkt auf dem angegebenen Fahrbahnobjekt befindlichen Fahrzeugs fehlerhaft. Das interessierende Fahrzeug wird teilweise durch ein auf der Nachbarspur stehendes Lieferauto verdeckt.
- G5: Das betrachtete Fahrzeug fährt auf den Straßenbahngleisen und nicht auf dem angegebenen Fahrbahnobjekt.
- G6: Das betrachtete Fahrzeug fährt quer zum Fahrbahnobjekt, auf dem es sich befindet.
- G7: Am Bildrand ist ein Fahrzeug zu erkennen, welches gerade in die Szene fährt. Wahrscheinlich wird es deshalb nicht als auf der Fahrspur befindlich erkannt.
- G8: Es befindet sich ein Sattelschlepper mit sehr langem Anhänger auf dem betrachteten Fahrbahnobjekt.

4.1.2 Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge

Im Folgenden wurde die Änderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge begrifflich beschrieben. Diese Fahrzeugmenge bewegt sich auf einer Fahrspur über die Kreuzung. Diese Fahrspur wird provisorisch mit `fobj_2` bezeichnet. `fobj_2` ist gleichzeitig der Bezeichner des Fahrbahnobjektes, welches das erste Teilstück der Fahrspur `fobj_2` bildet (vgl. Abbildung 4.1).

```

1 : 80 ! be_free(fobj_2).
=====

81 : 81 ! enter(obj_2,the_lane).
81 : 81 ! drive_on(obj_2,fobj_2).
81 : 219 ! be(obj_2,the_last_vehicle_of_the_queue).
81 : 1654 ! be(obj_2,the_head_of_the_queue).
220 : 220 ! enter(obj_6,the_lane).
220 : 220 ! form(the_vehicles,vehicle_pair).
220 : 349 ! be(obj_6,the_last_vehicle_of_the_queue).
350 : 350 ! enter(obj_8,the_lane).
350 : 350 ! form(the_vehicles,queue).
350 : 479 ! be(obj_8,the_last_vehicle_of_the_queue).
480 : 480 ! enter(obj_9,the_lane).

```

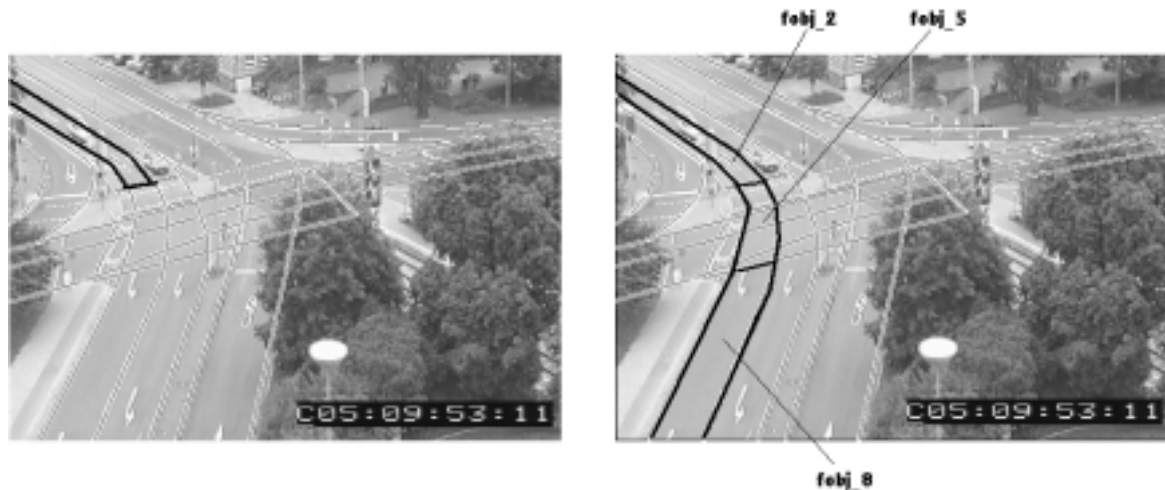


Abbildung 4.1: Im linken Bild wurde ein Fahrbahnobjekt mit fetten schwarzen Linien markiert. Im rechten Bild erkennt man eine Fahrspur, welche aus 3 Fahrbahnobjekten besteht.

```

480 : 560 ! be(obj_9,the_last_vehicle_of_the_queue).
561 : 561 ! enter(obj_12,the_lane).
561 : 575 ! be(obj_12,the_last_vehicle_of_the_queue).
576 : 576 ! leave(obj_12,the_queue).
576 : 709 ! be(obj_9,the_last_vehicle_of_the_queue).
710 : 710 ! enter(obj_15,the_lane).
710 : 926 ! be(obj_15,the_last_vehicle_of_the_queue).
927 : 927 ! enter(obj_17,the_lane).
927 : 940 ! be(obj_17,the_last_vehicle_of_the_queue).
941 : 941 ! leave(obj_17,the_queue).
941 : 1449 ! be(obj_15,the_last_vehicle_of_the_queue).
1361 : 1361 ! leave(obj_8,the_queue).
1450 : 1450 ! enter(obj_25,the_lane).
1450 : 1569 ! be(obj_25,the_last_vehicle_of_the_queue).
1570 : 1570 ! enter(obj_27,the_lane).
1570 : 1749 ! be(obj_27,the_last_vehicle_of_the_queue).
1655 : 1655 ! leave(obj_2,the_queue).
1655 : 1725 ! be(obj_6,the_head_of_the_queue).
1726 : 1726 ! leave(obj_6,the_queue).
1726 : 1912 ! be(obj_9,the_head_of_the_queue).
1750 : 1750 ! enter(obj_29,the_lane).
1750 : 2266 ! be(obj_29,the_last_vehicle_of_the_queue).
1913 : 1913 ! leave(obj_9,the_queue).
1913 : 2012 ! be(obj_15,the_head_of_the_queue).

```

```

2013 : 2013 ! leave(obj_15,the_queue).
2013 : 2099 ! be(obj_25,the_head_of_the_queue).
2100 : 2100 ! leave(obj_25,the_lane).
2100 : 2100 ! form(the_remaining_vehicles,vehicle_pair).
2100 : 2196 ! be(obj_27,the_head_of_the_queue).
2197 : 2197 ! leave(obj_27,the_lane).
2197 : 2266 ! be(obj_29,the_head_of_the_queue).
2267 : 2320 ! be_free(fobj_2).

```

Diese begriffliche Beschreibung läßt sich in den folgend abgedruckten natürlichsprachlichen Bericht transformieren. Die Unterstreichungen markieren die Stellen, an denen ein bisher ungelöstes Problem nachvollziehbar wird (vgl. Abschnitt 5.2 Stichwort Bezeichnervergabe).

Am Anfang befand sich kein Fahrzeug der Fahrzeugmenge fobj_2 auf der Fahrspur fobj_2. Danach fuhr obj_2 in die Szene. Damit stellte obj_2 das einzige Fahrzeug auf der Fahrspur fobj_2 dar. Später schloss sich obj_6 diesem einzelnen Fahrzeug an. Die beiden Fahrzeuge bildeten damit ein Fahrzeugpaar. Danach schloss sich obj_8 diesem Fahrzeugpaar an. So entstand eine Fahrzeugschlange. obj_2 bildete den Kopf der Schlange, obj_8 stellte das letzte Fahrzeug der Schlange dar. Danach schloß sich obj_9 der Schlange an. Dieses Fahrzeug bildete somit das letzte Fahrzeug der Schlange. Dann schloß sich obj_12 der Schlange an. Bald darauf wechselte obj_12 die Fahrspur und wurde deshalb nicht mehr als zur Fahrzeugschlange fobj_2 dazugehörig betrachtet. Danach schloß sich obj_15 und obj_17 fobj_2 an. Als nächstes verließ obj_8 die Schlange. Danach schlossen sich obj_25 und obj_27 der Schlange an. Dann verließ obj_2 fobj_2. Damit war obj_6 der Kopf der Schlange. Dann verließ obj_6 die Schlange und obj_9 bildete den Kopf von fobj_2. Danach schloß sich obj_29 fobj_2 an. obj_29 bildete damit das letzte Fahrzeug der Schlange. Dann verließen die Fahrzeuge obj_15, obj_25 und obj_27 die Fahrzeugschlange. Es verblieb obj_29 als einziges Fahrzeug auf der Fahrspur fobj_2. Zum Schluß war kein Fahrzeug der Fahrzeugschlange fobj_2 in der Szene zu erkennen.

Zur Generierung der am Anfang des Abschnitts abgedruckten begrifflichen Beschreibung wurden die in Abschnitt 3.2.1 abgedruckten Schritte 1 bis 3 abgearbeitet. Zusätzlich wurden die so resultierenden Prädikate in chronologischer Reihenfolge geordnet und über mehrere aufeinanderfolgende Zeitpunkte gültige Prädikate wurden zuzüglich der Angabe des Gültigkeitsintervalls nur einmal aufgelistet.

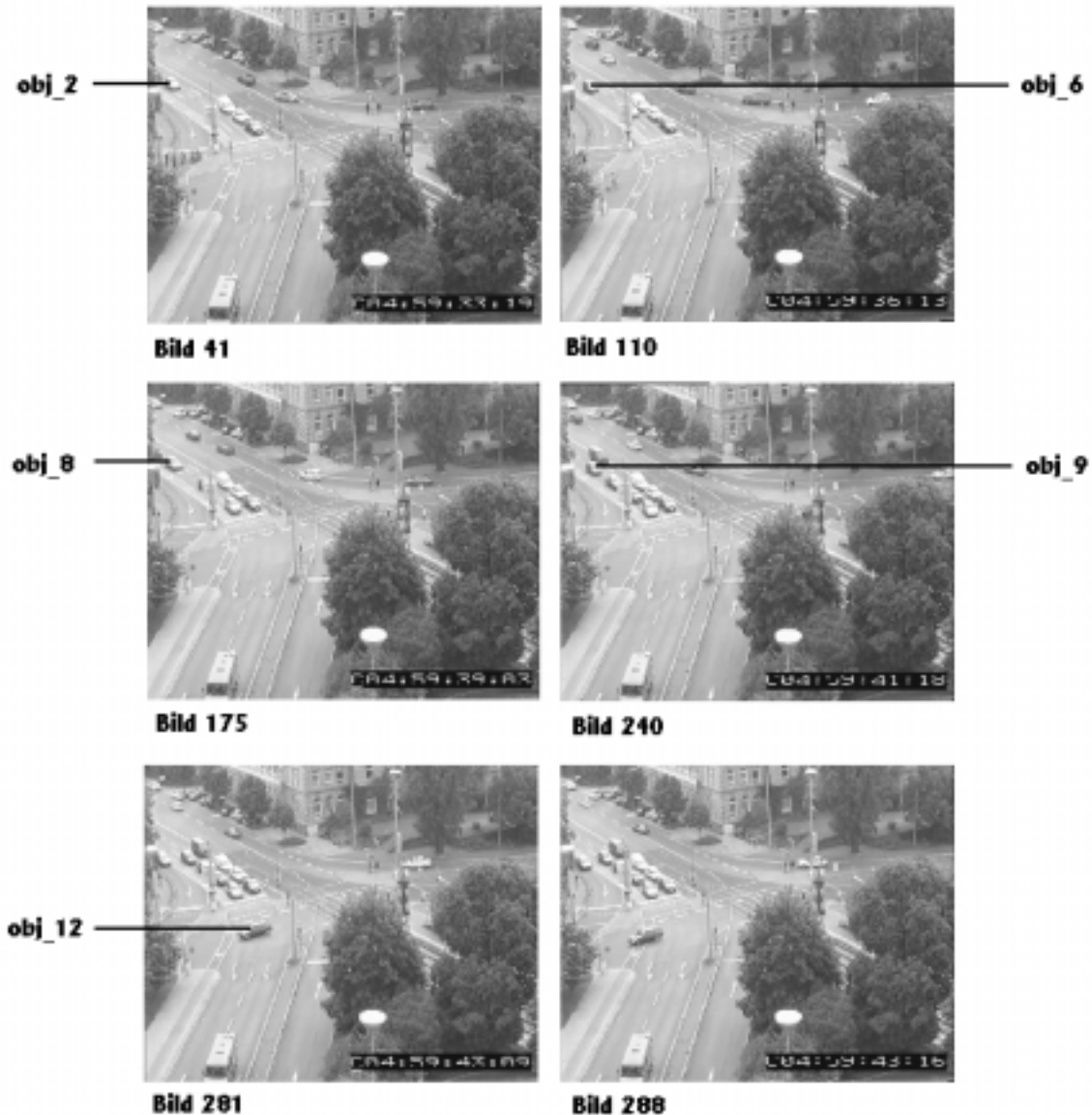


Abbildung 4.2: Visualisierung des generierten natürlichsprachlichen Textes (Teil 1).

4.1.3 Bildfolge

In den Abbildungen 4.2 bis 4.4 wurden Bilder aus der Bildfolge 'stau01', welche am Durlacher Tor aufgezeichnet wurde, zusammengestellt. Dabei wurden die Bilder ausgewählt, zu denen im generierten natürlichsprachlichen Text (vgl. Abschnitt 4.1.4) ein Satz formuliert wurde.

Die Visualisierung des generierten natürlichsprachlichen Textes läßt auf einen Fehler im implementierten Schema für Fahrzeugschlangen schließen. Dieses Schema sollte eigent-

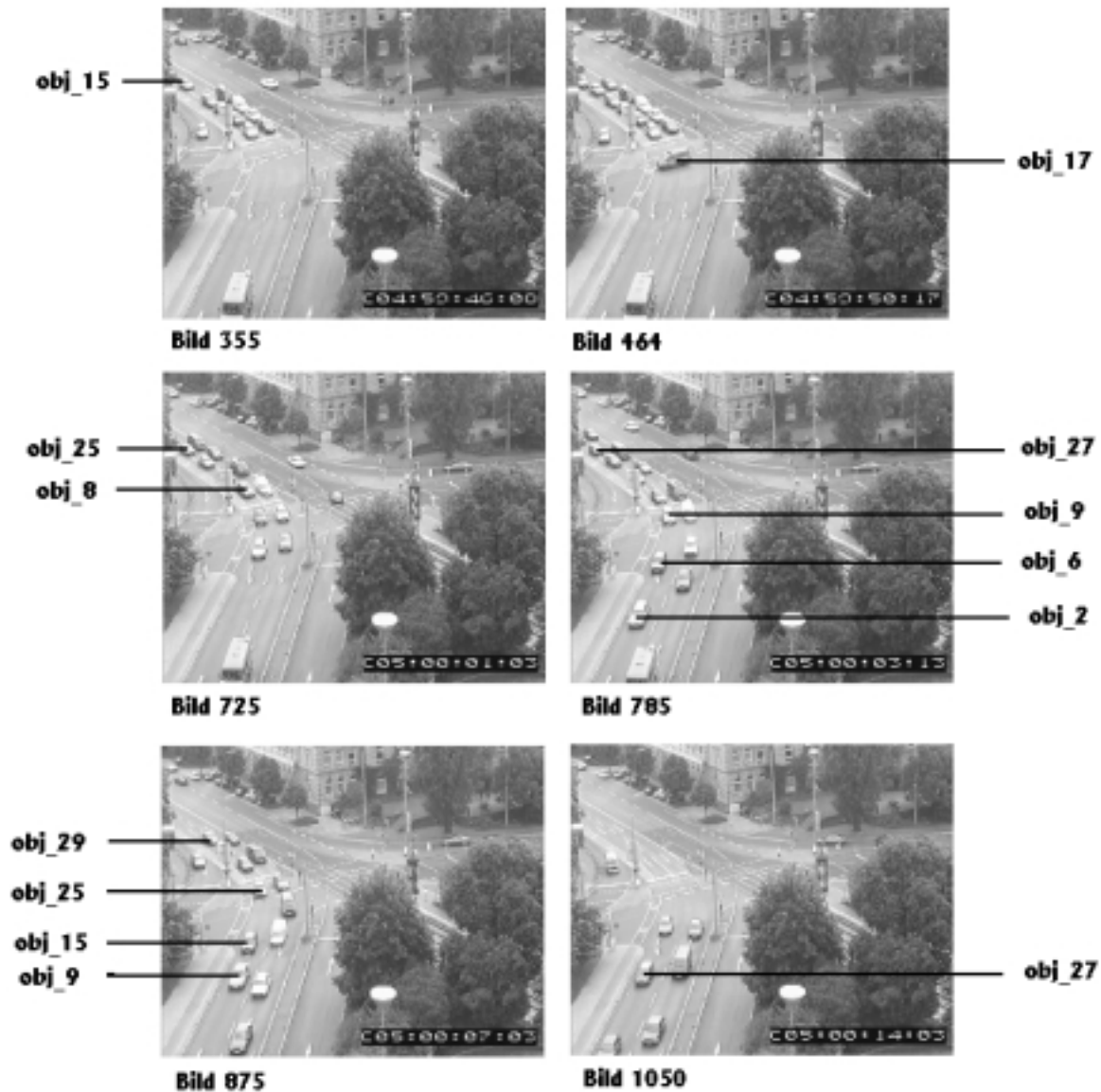


Abbildung 4.3: Visualisierung des generierten natürlichsprachlichen Textes (Teil 2).

lich verhindern, dass Fahrzeuge zur Fahrzeugschlange gehörig erkannt werden, welche quer zur Fahrspur fobj_2 fahren (vgl. Abbildung 4.2 Bild 281 und Abbildung 4.3 Bild 464). Dieser Fehler kann behoben werden, indem man eine Bedingung in das Schema für den Begriff Fahrzeugschlange aufnimmt. Diese Bedingung sollte nur dann die Ausprägung des Begriffs Fahrzeugschlange zulassen, wenn sich alle zur Fahrzeugschlange gehörigen Fahrzeuge bezüglich der Fahrtrichtung der Fahrzeuge auf der betrachteten Fahrspur in gerader Ausrichtung befinden.



Abbildung 4.4: Visualisierung des generierten natürlichsprachlichen Textes (Teil 3).

4.1.4 Generierter Text

Aus der in Abschnitt 4.1.2 abgedruckten begrifflichen Beschreibung wurde mit Hilfe des *Textgenerators* die folgende englischsprachige Beschreibung abgeleitet (vgl. Schritt 4. in Abschnitt 3.2.1). Die dazugehörige DRS findet man in Anhang D.1. Zeitpunkte, welche vor den einzelnen Sätzen angegeben sind, dienen der Prüfung der Richtigkeit der formulierten Aussage anhand der in Abschnitt 4.1.3 abgedruckten Bilder. Um einen gewöhnlichen natürlichsprachlichen Text zu erhalten, läßt man die Angabe der Zeitpunkte weg und hängt die einzelnen übrigbleibenden Sätze durch Leerzeichen getrennt aneinander. Der so entstehende Text weist jedoch stilistische Mängel auf. Auffällig ist beispielsweise eine fehlende Beschreibung des Kontextes und die große Anzahl an Wiederholungen.

```
81: Obj_2 entered the lane.
220: Later obj_6 entered the lane.
220: In the meantime the vehicles formed a pair.
350: Later obj_8 entered the lane.
350: In the meantime the vehicles formed a queue.
350: In the meantime obj_8 was the last vehicle of the queue.
350: In the meantime obj_2 was the head of the queue.
480: In the meantime obj_9 entered the lane.
480: It was the last vehicle of the queue.
561: In the meantime obj_12 entered the lane.
561: It was the last vehicle of the queue.
576: It left the queue.
576: In the meantime obj_9 was the last vehicle of the queue.
710: In the meantime obj_15 entered the lane.
710: It was the last vehicle of the queue.
927: In the meantime obj_17 entered the lane.
```

927: It was the last vehicle of the queue.
1450: It left the queue.
1450: In the meantime obj_15 was the last vehicle of the queue.
1450: In the meantime obj_8 left the queue.
1450: In the meantime obj_25 entered the lane.
1450: It was the last vehicle of the queue.
1570: In the meantime obj_27 entered the lane.
1570: It was the last vehicle of the queue.
1750: In the meantime obj_2 left the queue.
1750: In the meantime obj_6 was the head of the queue.
1750: It left the queue.
1750: In the meantime obj_9 was the head of the queue.
1750: In the meantime obj_29 entered the lane.
1750: It was the last vehicle of the queue.
2100: In the meantime obj_9 left the queue.
2100: In the meantime obj_15 was the head of the queue.
2100: It left the queue.
2100: In the meantime obj_25 was the head of the queue.
2100: In the meantime the remaining vehicles formed a pair.
2100: In the meantime obj_25 left the lane.
2197: Later obj_27 left the lane.
2197: In the meantime obj_29 remained as single vehicle.

Die DRS, welche als Zwischenergebnis bei der Generierung der hier abgedruckten natürlichsprachlichen Beschreibung entstanden ist, findet man in Anhang D.1.

4.2 Ettlinger Tor Szene

4.2.1 Bildfolge

Die Ettlinger Tor Bildfolge wurde nicht so ausführlich dokumentiert, wie das für die Durlacher Tor Bildfolge getan wurde. Bei der Ettlinger Tor Bildfolge handelt es sich um eine Bildfolge, welche ca. 2 Sekunden lang ist und ca. 100 Auswertungszeitpunkte umfaßt.

4.2.2 Begriffliche Beschreibung

Im Folgenden wurde die Änderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge begrifflich beschrieben. Diese Fahrzeugmenge bewegt sich auf einer Fahrspur über die Kreuzung. Diese Fahrspur wird provisorisch mit fobj_3 bezeichnet. fobj_3 ist gleichzeitig der Bezeichner des Fahrbahnobjektes, welches das erste Teilstück der Fahrspur

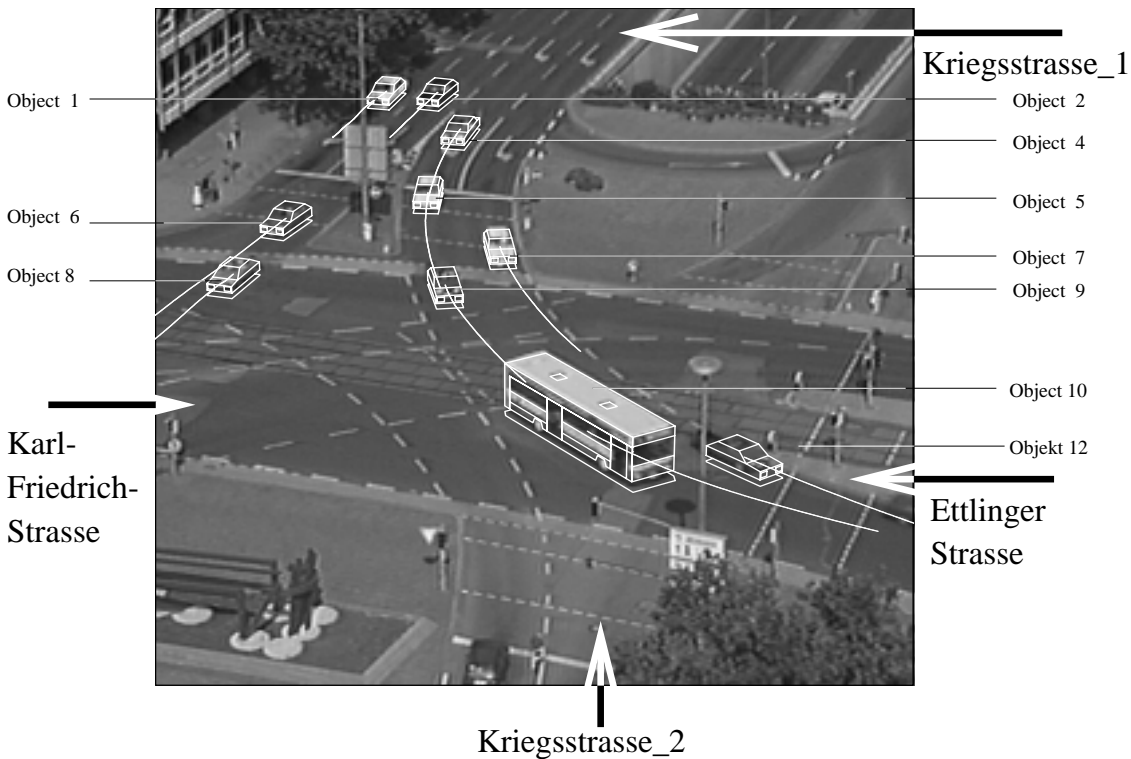


Abbildung 4.5: Straßenverkehrsszene am Ettliger Tor, zur Verdeutlichung mit eingezeichneten Trajektorien, wobei die automatisch erkannten Objekte durch umschreibende Linienmodelle eingegrenzt sind. Desweiteren ist zu jedem Fahrzeug die systemintern vergebene Objekt Nummer angegeben ([Kollnig 95]).

fobj_3 bildet.

Für die Fahrzeuge obj_6 und obj_2 wurde das Prädikat ‘enter’ nicht ausgeprägt. Das ist darin begründet, dass die drei Objekte obj_8, obj_6 und obj_2 gleichzeitig auf der Fahrspur fobj_3 erscheinen. Dieser Fall wird fehlerhafterweise vom in Abschnitt 3.2.2.2 abgedruckten Logikprogramm nicht erfaßt. Dieser Fall sollte berücksichtigt werden, da es vorkommen kann, dass mehrere Fahrzeuge gleichzeitig auf ein und dieselbe Fahrspur wechseln.

```

5 : 5 ! enter(obj_8,the_lane).
5 : 58 ! be(obj_2,the_head_of_the_queue).
5 : 58 ! be(obj_8,the_last_vehicle_of_the_queue).
59 : 59 ! form(the_remaining_vehicles,a_pair).
59 : 59 ! leave(obj_8,the_lane).

```

4.2.3 Generierter Text

Aus der in Abschnitt 4.2.2 abgedruckten begrifflichen Beschreibung wurde mit Hilfe des **Textgenerators** die folgende englischsprachige Beschreibung abgeleitet (vgl. Schritt 4. in Abschnitt 3.2.1). Es fällt auf, dass die Zeitpunkte nicht korrekt angegeben werden. Den Entwurfsfehler, der zu diesem fehlerhaften Text führt, muß man vermutlich bei den Konstruktionsregeln zur DRS-Erzeugung suchen, da vermutlich die generierte DRS fehlerbehaftet ist (vgl. Anhang D.2).

59: Obj_8 entered the lane.

59: In the meantime obj_2 was the head of the queue.

59: In the meantime obj_8 was the last vehicle of the queue.

59: In the meantime the remaining vehicles formed a pair.

59: In the meantime obj_8 left the lane.

Kapitel 5

Zusammenfassung und Ausblick

5.1 Zusammenfassung

Ausgangspunkt der Arbeit war das am IAKS entwickelte System zur natürlichsprachlichen Beschreibung von Straßenverkehrsgeschehen an innerstädtischen Straßenverkehrskreuzungen. Die Ebene zur rechnerinternen Repräsentation und zur logischen Schlußfolgerung wurde so erweitert, dass sich nun der Begriff Fahrzeugmenge ausprägen läßt. Neben dem Schema für den Begriff Fahrzeugmenge wurden auch Schemata zur Ausprägung der in Beziehung zum Begriff Fahrzeugmenge spezielleren Begriffe einzelnes Fahrzeug, Fahrzeugpaar und Fahrzeugschlange eingeführt. Nach den in der vorliegenden Arbeit betrachteten Schemata werden alle Fahrzeuge zu einer Fahrzeugschlange zusammengefaßt, die sich auf einer Fahrspur befinden. Außerdem wurden in der vorliegenden Arbeit eine Reihe von Aussagen zur natürlichsprachlichen Beschreibung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge, zur natürlichsprachlichen Beschreibung der Änderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge und zur natürlichsprachlichen Beschreibung des Verhaltens einer Fahrzeugmenge aufgelistet. Ein Teil dieser Aussagen konnte rechnergestützt generiert werden.

Entgegen der ursprünglichen Planung (vgl. Anhang G.1) wurden nur natürlichsprachliche Aussagen in Form eines ‘Berichts’ generiert. Natürlichsprachliche Texte aus den Perspektiven ‘Szenische Erzählung aus Beobachtersicht’ und ‘Szenische Beschreibung aus Protagonistensicht’ (vgl. [Gerber 00]) wurden nicht erzeugt, da Texte, welche aus diesen Perspektiven formuliert werden, keine entscheidenden Einsichten zum Verhalten der Fahrzeugmenge vermitteln.

5.2 Ausblick

Es ist möglich, Fahrzeuge nach anderen Kriterien als denen, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden, zu Fahrzeugmengen zusammenzufassen. So könnte man bei-

spielsweise alle Fahrzeuge zu einer Menge zusammenfassen, die an einem Stau beteiligt sind.

Alternativ zur Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit, bei der Fahrzeuge aufgrund ihrer Position auf einer Fahrspur zu einer Fahrzeugschlange zusammengefaßt wurden, ließe sich die Anordnung von Fahrzeugen in der Bildebene auf einer Geraden bzw. einer Kurve zum Zusammenfassen von Fahrzeugen zu einer Fahrzeugschlange verwenden. Aufbauend auf den Auswertungsergebnissen der Schicht zur Erzeugung geometrischer Beschreibungen (vgl. Abschnitt 1.1) kann man nämlich rechnergestützt erkennen, dass sich Fahrzeuge auf einer Geraden bzw. auf einer bestimmten Kurve befinden. Diese Vorgehensweise beim Zusammenfassen von Fahrzeugen zu einer Fahrzeugschlange hat den Vorteil, dass Fahrzeuge auch dann zu einer Fahrzeugschlange aggregiert werden können, wenn sie sich nicht auf den im Fahrbahnmodell festgelegten Fahrspuren befinden. Dies kann zum Beispiel beim Umfahren einer auf der Fahrspur befindlichen Baustelle vorkommen.

Die auf der Schicht zur begrifflichen Beschreibung und logischen Schlußfolgerung (vgl. Abschnitt 1.1) entworfenen rechnerinternen Repräsentationen (vgl. Abschnitt 3.1) enthalten bereits sehr differenzierte Aussagen zum Verhalten von Fahrzeugschlangen auf einer innerstädtischen Straßenverkehrskreuzung. Diese rechnerinternen Repräsentationen lassen sich für die Formulierung differenzierter natürlichsprachlicher Texte zur Beschreibung des Verhaltens einer Fahrzeugschlange verwenden. So könnte man beispielsweise folgende natürlichsprachliche Aussagen generieren:

Fahrzeugschlange_i fuhr an die Kreuzung heran. Währenddessen wuchs der in dem von der Kamera erfaßten Ausschnitt der Bildebene erkennbare Teil der Fahrzeugschlange, weil Objekt₅ ins Gesichtsfeld der Kamera fuhr. Damit stellte Objekt₅ das letzte Fahrzeug des im Gesichtsfeld der Kamera erkennbaren Teils der Fahrzeugschlange_i dar. Den Kopf der Schlange bildete weiterhin Objekt₁.

In Anhang F sind weitere natürlichsprachliche Aussagen aufgelistet, die bisher nicht rechnergestützt generiert wurden.

Werden Verkehrsszenen über einen längeren Zeitraum automatisch überwacht, kann es sich als notwendig erweisen, Informationen zu Fahrzeugmengen in einer Datenbank zu speichern. Um die beschriebene Fahrzeugmenge für den Zuhörer eindeutig zu identifizieren, reicht es nicht aus, wenn man die Fahrspur, über welche die gespeicherte Fahrzeugmenge in die Szene fährt, in die Datenbank aufnimmt. Zusätzlich sollte man beispielsweise den Zeitpunkt in die Datenbank schreiben, zu dem das erste Fahrzeug der gespeicherten Fahrzeugmenge in der Szene erkennbar ist.

Die Problematik, dass Bezeichner an Fahrzeugmengen vergeben werden, wurde in der vorliegenden Arbeit nur ansatzweise gelöst. Die Unzulänglichkeit der Bezeichnervergabe wird an den im Abschnitt 4.1.2 und in Anhang E.2 unterstrichenen Prädikaten deutlich. In der vorliegenden Arbeit wurde nur das Problem gelöst, wie man Fahrzeuge

räumlich zu Fahrzeugmengen zusammenfaßt. Nicht gelöst wurde das Problem, wie entschieden wird, welche Fahrzeuge im zeitlichen Verlauf zu einer mit einem bestimmten Bezeichner zu versiehenden Menge gehören. Bezeichner könnten an Fahrzeugmengen nach der folgenden Vorgehensweise vergeben werden. Fährt ein Fahrzeug in die Szene, wird an dieses Fahrzeug ein Bezeichner aus einem Bezeichnervorrat vergeben. Schließt sich diesem Fahrzeug ein weiteres Fahrzeug an und erfüllen beide Fahrzeuge die Kriterien, nach denen man sie zu einer speziellen Fahrzeugmenge zusammenfassen kann, wird der anfangs vergebene Fahrzeugmengenbezeichner für die Fahrzeugmenge, welche diese beiden Fahrzeuge umfaßt, beibehalten. Werden die Bedingungen zur Aggregation der beiden Fahrzeuge nicht eingehalten, wird an das neu in die Szene gefahrene Fahrzeug ein neuer Fahrzeugmengenbezeichner vergeben. Nach dieser Vorgehensweise werden alle weiteren in die Szene fahrenden Fahrzeuge entweder den bereits in der Szene vorhandenen Fahrzeugmengen zugeordnet oder es wird eine neue Fahrzeugmenge "gegründet". Das Problem der Bezeichnervergabe stellt sich auch beim Aggregieren von Fahrbahnobjekten zu Fahrspuren (vgl. Anhang B.2).

Anhang A

Vorstudie zu Stausituationen

Es wurde eine Vorstudie durchgeführt, deren Ziel es war zu lernen, wie man die bestehenden rechnerinternen Repräsentationen von Wissen über die Szene zum Erzeugen natürlichsprachlicher Beschreibungen nutzt. Als Vorstudie wurde ein Situationsgraphenbaum implementiert. Dieser Situationsgraphenbaum enthält Wissen darüber, wie ein Stau entsteht, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit ein Stau als solcher bezeichnet werden kann, und wie sich ein Stau auflöst. Außerdem wurde ein natürlichsprachlicher Text generiert, der zu einer Bildfolge die vorkommenden Stausituationen natürlichsprachlich beschreibt. Die Beschreibungen der Stausituationen wurden ausschließlich für aus der Karl-Wilhelm-Straße auf die Kreuzung am Durlacher Tor führende Geradeauspuren durchgeführt. In Abbildung A.1 sind das die Spuren, welche vom oberen Teil des linken Bildrandes ins Bild führen. Sie sind dort mit fetten schwarzen Linien hervorgehoben. Die in den Anhängen der vorliegenden Arbeit abgebildeten graphischen Darstellungen von Situationsgraphenbäumen wurden von Herrn Arens mit dem von ihm erstellten Programm zur Visualisierung von Situationsgraphenbäumen gezeichnet. Herr Arens ist Autor der mit [Arens & Ottlik 00] bezeichneten Arbeit. Als Eingabe zum genannten Visualisierungsprogramm dienten die hier entwickelten Situationsgraphenbäume.

A.1 Situationsgraphenbaum

Im Folgenden wird die Bedeutung der einzelnen Prädikate, welche im implementierten Situationsgraphenbaum vorkommen, erklärt:

- `aktiv`: Nimmt den Wert WAHR an, sobald ein Fahrzeug eine der beiden geraden Kreuzungszufahrten auf der Karl-Wilhelm-Straße befährt. Nimmt den Wert FALSCH an, sobald das letzte Fahrzeug aus der Szene fährt.
- `kr_zufahrt_gerade(Fobj)`: Nimmt den Wert WAHR an, wenn es sich bei der als Parameter „Fobj“ übergebenen Fahrbahnobjekt um eine gerade Kreuzungszufahrt

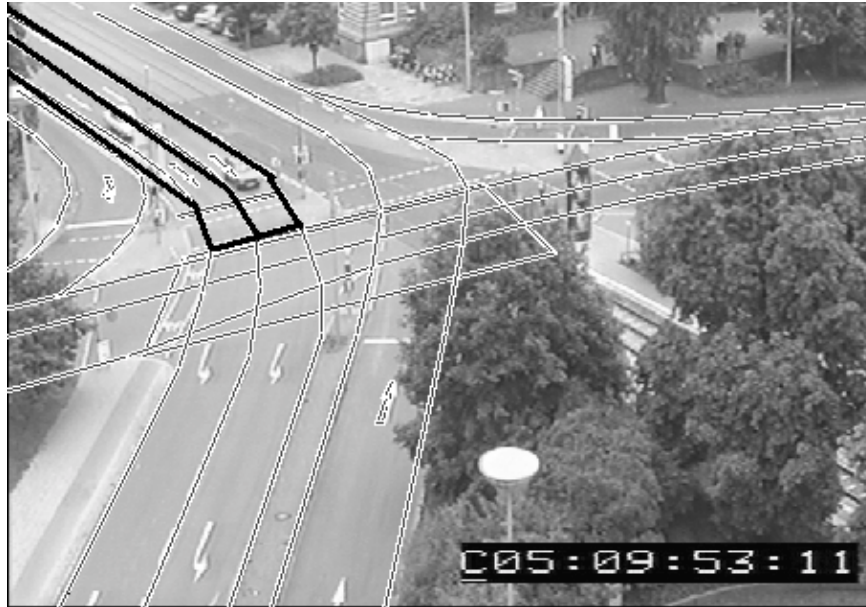


Abbildung A.1: Fahrbahnobjekte, die bei der Vorstudie zu Stausituationen betrachtet wurden.

handelt.

- `fahrbahnname(Fobj, karl-wilhelm-strasse)`: Nimmt den Wert WAHR an, wenn sich der als Parameter „Fobj“ übergebene Fahrbahnobjekt auf der Karl-Wilhelm-Straße befindet.
- `nichts_faehrt`: Nimmt einen Zusicherungsgrad nahe WAHR an, wenn es kein Fahrzeug gibt, das eine Geschwindigkeit größer Null hat.
- `v_Betrag(Agens, null)`: Nimmt einen Zusicherungsgrad nahe WAHR an, wenn das Fahrzeug „Agens“ steht.
- `agens(Agens)`: Nimmt den Wert WAHR an, wenn „Agens“ ein Fahrzeug ist.
- `etwas_faehrt`: Nimmt einen Zusicherungsgrad nahe WAHR an, wenn mindestens ein Fahrzeug fährt.
- `auf(Agens3, Lane)`: Nimmt einen Zusicherungsgrad nahe WAHR an, wenn sich das Fahrzeug „Agens3“ auf dem Fahrbahnobjekt „Lane“ befindet.
- `Lane ≠ Lane2`: Nimmt den Wert WAHR an, falls „Lane“ und „Lane2“ verschiedene Fahrbahnobjekte sind.

Es folgt nun der im Rahmen der Vorstudie implementierte Situationsgraphenbaum. Dieser kann mit dem Programm F-LIMETTE in ein FMTHL-Programm übersetzt werden.

```
GRAPH gr_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
{
  SIT sit_append
    : sit_inaktiv,
      fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
  {
  }
  {
    append('ergebnis.lim');
  }

  SIT sit_inaktiv
    : sit_inaktiv,
      fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
  {
    inaktiv;
  }
  {
  }

  SIT fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
    : fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
  {
    aktiv;
    kr_zufahrt_gerade(Lane);
    fahrbahnname(Lane, karl_wilhelm_strasse);
    kr_zufahrt_gerade(Lane2);
    fahrbahnname(Lane2, karl_wilhelm_strasse);
    ungleich(Lane,Lane2);
  }
  {
    note(fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse(Lane,Lane2));
  }
}

GRAPH gr_kreuzung : fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
{
  SIT sit_traffic_jam_grows
    : sit_traffic_jam_grows,
      sit_traffic_jam
  {
    v_Betrag(Agens, null);
    agens(Agens);
  }
}
```

```

    v_Betrag(Agens2, null);
    agens(Agens2);
    fahrzeug_faehrt(Lane,Lane2);
}
{
    note(grow_on(a_traffic_jam,karl_wilhelm_strasse,1));
}

SIT sit_traffic_jam
: sit_traffic_jam,
  sit_traffic_jam_liquidates,
  sit_traffic_jam_grows
{
    nichts_faehrt(Lane,Lane2);
    v_Betrag(Agens, null);
    agens(Agens);
    v_Betrag(Agens2, null);
    agens(Agens2);
}
{
    note(persists(the_traffic_jam,2));
}

SIT sit_traffic_jam_liquidates
: sit_traffic_jam_liquidates,
  sit_traffic_jam_grows
{
    v_Betrag(Agens, glkl);
    v_Betrag(Agens2, glkl);
    agens(Agens);
    agens(Agens2);
}
{
    note(vanish(the_traffic_jam,3));
}
}

TERM ungleich(Lane,Lane2)
{
    Lane<>Lane2;
}

TERM fahrzeug_faehrt(Lane,Lane2)

```

```

{
  AND {
    agens(Agens4);
    auf(Agens4,Lane,Lane2);
    v_Betrag(Agens4, glk1);
  }
}

TERM nichts_faehrt(Lane,Lane2)
{
  NOT {
    fahrzeug_faehrt(Lane,Lane2);
  }
}

TERM auf(Agens3,Lane,Lane2)
{
  OR {
    auf(Agens3,Lane);
    auf(Agens3,Lane2);
  }
}

TERM inaktiv
{
  NOT {aktiv;}
}

```

Dieser SIT+-Beschreibungstext ist in einer Datei gespeichert, die unter dem folgenden Pfad zu finden ist:

```
/home/hschreib/src/limette/sits/superstau.sit
```

Der oben abgedruckte Situationsgraphenbaum wird in Abbildung A.2 visualisiert.

A.2 Texterzeugung

Mit dem Programm F-LIMETTE wurde der im vorhergehenden Abschnitt dargestellte Situationsgraphenbaum traversiert. Das Ergebnis der Traversierung läßt sich in eine begriffliche Beschreibung nach dem folgenden Muster umformen:

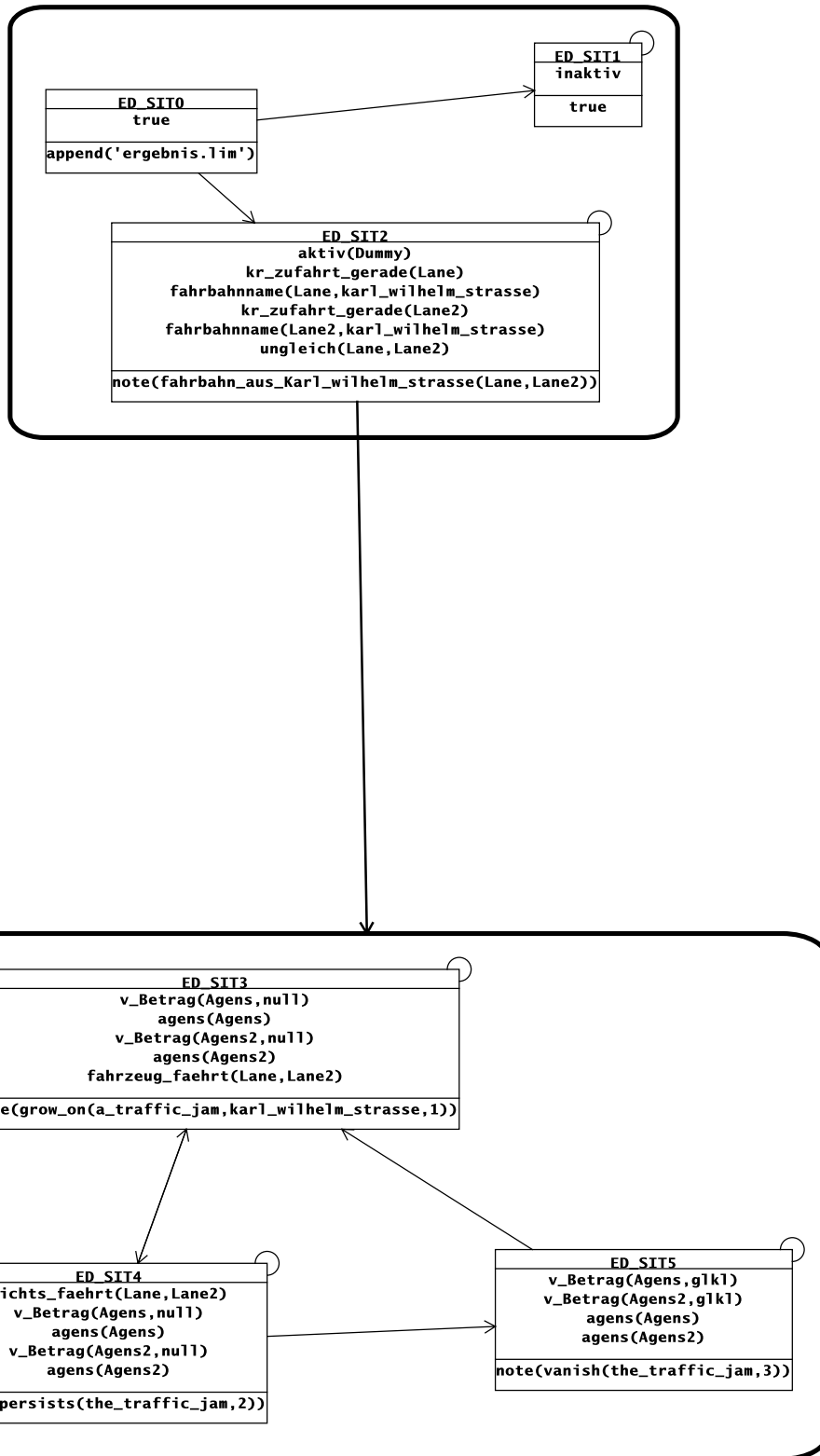


Abbildung A.2: Graphische Darstellung des Situationsgraphenbaums aus Anhang A.


```
210 : 300 ! grow_on(the_traffic_jam,karl_wilhelm_strasse,1).  
310 : 400 ! persist(the_traffic_jam,2).  
410 : 500 ! vanish(the_traffic_jam,3).
```

Aus dieser begrifflichen Beschreibung wurde mit der Software *ANGUS* der folgende englischsprachliche Text generiert.

```
The traffic jam grew on karl wilhelm strasse.  
Then the traffic jam persisted.  
Then the traffic jam vanished.
```

Anhang B

Programmbausteine

B.1 Fahrzeuganzahl

Im Weiteren wurde eine begriffliche Beschreibung der Entwicklung der Fahrzeuganzahl auf einem Fahrbahnobjekt generiert. Dazu wurden zwei Situationsgraphenbäume implementiert. Mit Hilfe des ersten Situationsgraphenbaums wird eine begriffliche Beschreibung der auftretenden Fahrzeuganzahlen generiert. Mit Hilfe des zweiten Situationsgraphenbaums (Perspektivierungsbaum), welcher eine Spezialisierung des ersten Situationsgraphenbaums ist, wurde eine begriffliche Beschreibung generiert, die sich zum Erzeugen eines natürlichsprachlichen Berichts über die Veränderung der Fahrzeuganzahl auf dem betrachteten Fahrbahnobjekt (siehe Abbildung B.1) eignet.

B.1.1 Situationsgraphenbaum zur Situationsbestimmung

Der implementierte Situationsgraphenbaum enthält in den Blättern die verschiedenen möglichen Fahrzeuganzahlen. So gibt es eine Situation ‘kein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt’, von der aus die Situation ‘ein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt’ erreicht werden kann. Die Situation ‘zwei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt’ ist eine Nachfolgesituation der Situation ‘ein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt’ usw..

```
/*  
DEFAULT NONINCREMENTAL GREEDY PLURAL DEPTH; // INTERACTIVE;  
*/  
GRAPH gr_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse(Agens)  
{  
    SIT sit_append
```



Abbildung B.1: Fahrbahnabschnitt, zu dem die Anzahl der darauf befindlichen Fahrzeuge bestimmt wurde.

```

    : zaehlen_auf_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
  {
  }
  {
    append('ergebnis.lim');
  }

SIT zaehlen_auf_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
{
  agens(Agens);
  aktiv(Agens);
  kr_zufahrt_gerade(Lane);
  fahrbahnname(Lane, karl_wilhelm_strasse);
}
{
  note(anzahl);
}
}

GRAPH gr_kreuzung : zaehlen_auf_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
{
  SIT kein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt

```

```
    : kein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt,  
      ein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt  
  {  
    anzahl_fahrzeuge(null,Lane);  
  }  
  {  
    note(anzahl_auf_fahrbahn(Lane, null));  
  }  
  
SIT ein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt  
  : ein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt,  
    zwei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,  
    kein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt  
  {  
    anzahl_fahrzeuge(eins,Lane);  
  }  
  {  
    note(anzahl_auf_fahrbahn(Lane, eins));  
  }  
  
SIT zwei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt  
  : zwei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,  
    drei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,  
    ein_fahrzeug_auf_kreuzungszufahrt  
  {  
    anzahl_fahrzeuge(zwei,Lane);  
  }  
  {  
    note(anzahl_auf_fahrbahn(Lane, zwei));  
  }  
  
SIT drei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt  
  : drei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,  
    vier_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,  
    zwei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt  
  {  
    anzahl_fahrzeuge(drei,Lane);  
  }  
  {  
    note(anzahl_auf_fahrbahn(Lane, drei));  
  }  
  
SIT vier_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt
```

```

    : vier_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,
      fuenf_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,
      drei_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt
  {
    anzahl_fahrzeuge(vier,Lane);
  }
  {
    note(anzahl_auf_fahrbahn(Lane, vier));
  }

SIT fuenf_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt
  : fuenf_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt,
    vier_fahrzeuge_auf_kreuzungszufahrt
  {
    anzahl_fahrzeuge(fuenf,Lane);
  }
  {
    note(anzahl_auf_fahrbahn(Lane, fuenf));
  }
}

TERM inaktiv
{
  NOT {aktiv;}
}

TERM auf(Agens3,Lane,Lane2)
{
  OR {
    auf(Agens3,Lane);
    auf(Agens3,Lane2);
  }
}

```

Dieser SIT++-Beschreibungstext ist in einer Datei gespeichert, die unter dem folgenden Pfad zu finden ist:

```
/home/hschreib/src/limette/sits/superzaehlen.sit
```

Der oben abgedruckte Situationsgraphenbaum wird in Abbildung B.2 visualisiert.

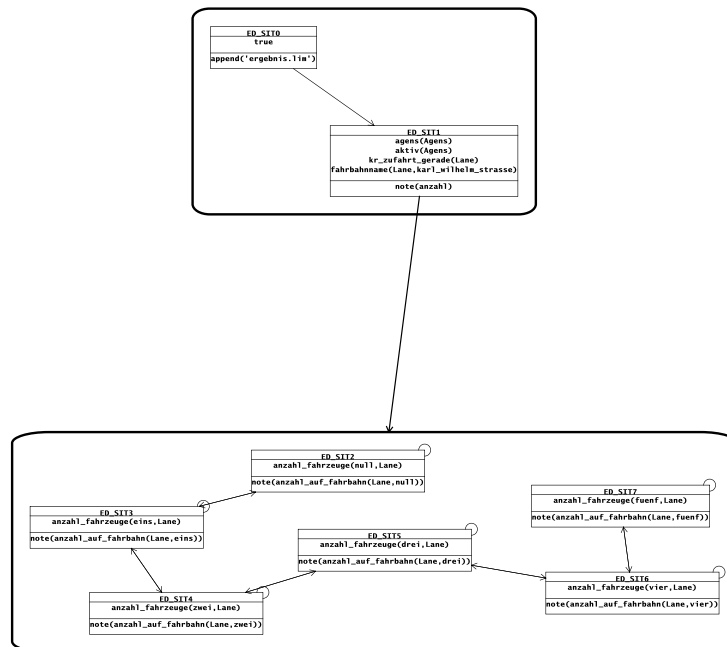


Abbildung B.2: Graphische Darstellung des Situationsgraphenbaums aus Anhang B.1.1.

B.1.2 Änderung der Fahrzeuganzahl

Mit dem Programm F-LIMETTE wurde der Situationsgraphenbaum aus Abschnitt B.1.1 traversiert. Das Ergebnis der Traversierung läßt sich in eine begriffliche Beschreibung nach dem folgenden Muster umformen:

```
100 : 190 ! anzahl_auf_fahrbahn(Lane, null).
200 : 290 ! anzahl_auf_fahrbahn(Lane, eins).
300 : 390 ! anzahl_auf_fahrbahn(Lane, zwei).
400 : 490 ! anzahl_auf_fahrbahn(Lane, eins).
500 : 590 ! anzahl_auf_fahrbahn(Lane, null).
```

Aus dieser begrifflichen Beschreibung wurde mit Hilfe eines weiteren Situationsgraphenbaums (siehe Abschnitt B.1.3) eine begriffliche Beschreibung zur Weiterverarbeitung zu einem Bericht erzeugt. Diese begriffliche Beschreibung läßt sich in die folgende Form bringen:

```
fahrzeug_anzahl_stagniert
fahrzeug_anzahl_waechst
fahrzeug_anzahl_stagniert
fahrzeug_anzahl_schrumpft
fahrzeug_anzahl_stagniert
```

Aus dieser begrifflichen Beschreibung ließe sich mit der Software **ANGUS** ein englischsprachlicher Bericht zur Veränderung der Fahrzeuganzahl auf dem betrachteten Fahrbahnobjekt generieren.

B.1.3 Situationsgraphenbaum zur Perspektivierung

Im Folgenden ist der Situationsgraphenbaum abgedruckt, der zur Erzeugung der soeben in Abschnitt B.1.2 vorgestellten perspektivischen begrifflichen Beschreibung verwendet wurde.

```

/*****/

DEFAULT NONINCREMENTAL GREEDY PLURAL DEPTH; // INTERACTIVE;

/*****/

GRAPH gr_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse(Agens)
{
    SIT sit_append
```

```

    : bericht_zur_fahrzeug_anzahl_auf_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
    {
    }
    {
        append('perspekt.lim');
    }

SIT bericht_zur_fahrzeug_anzahl_auf_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
{
    agens(Agens);
    aktiv(Agens);
}
{
    note(bericht_zur_fahrzeug_anzahl_auf_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse);
}
}

GRAPH gr_kreuzung :
bericht_zur_fahrzeug_anzahl_auf_fahrbahn_aus_Karl_wilhelm_strasse
{
    SIT sit_anzahl_null
        : sit_anzahl_null,
        sit_null_auf_sit_eins
    {
        anzahl_auf_fahrbahn(Lane,null);
    }
    {
        note(fahrzeug_anzahl_stagniert);
    }

    SIT sit_null_auf_sit_eins
        : sit_anzahl_eins
    {
        anzahl_auf_fahrbahn(Lane,eins);
    }
    {
        note(fahrzeug_anzahl_waechst);
    }

    SIT sit_eins_auf_sit_null
        : sit_anzahl_null
    {
        anzahl_auf_fahrbahn(Lane,null);
    }
}

```



```
}
{
  note(fahrzeug_anzahl_schrumpft);
}

SIT sit_anzahl_eins
  : sit_anzahl_eins,
    sit_eins_auf_sit_zwei,
    sit_eins_auf_sit_null
{
  anzahl_auf_fahrbahn(Lane,eins);
}
{
  note(fahrzeug_anzahl_stagniert);
}

SIT sit_eins_auf_sit_zwei
  : sit_anzahl_zwei
{
  anzahl_auf_fahrbahn(Lane,zwei);
}
{
  note(fahrzeug_anzahl_waechst);
}

SIT sit_anzahl_zwei
  : sit_anzahl_zwei,
    sit_zwei_auf_sit_eins
{
  anzahl_auf_fahrbahn(Lane,zwei);
}
{
  note(fahrzeug_anzahl_stagniert);
}

SIT sit_zwei_auf_sit_eins
  : sit_anzahl_eins
{
  anzahl_auf_fahrbahn(Lane,eins);
}
{
  note(fahrzeug_anzahl_schrumpft);
}
```

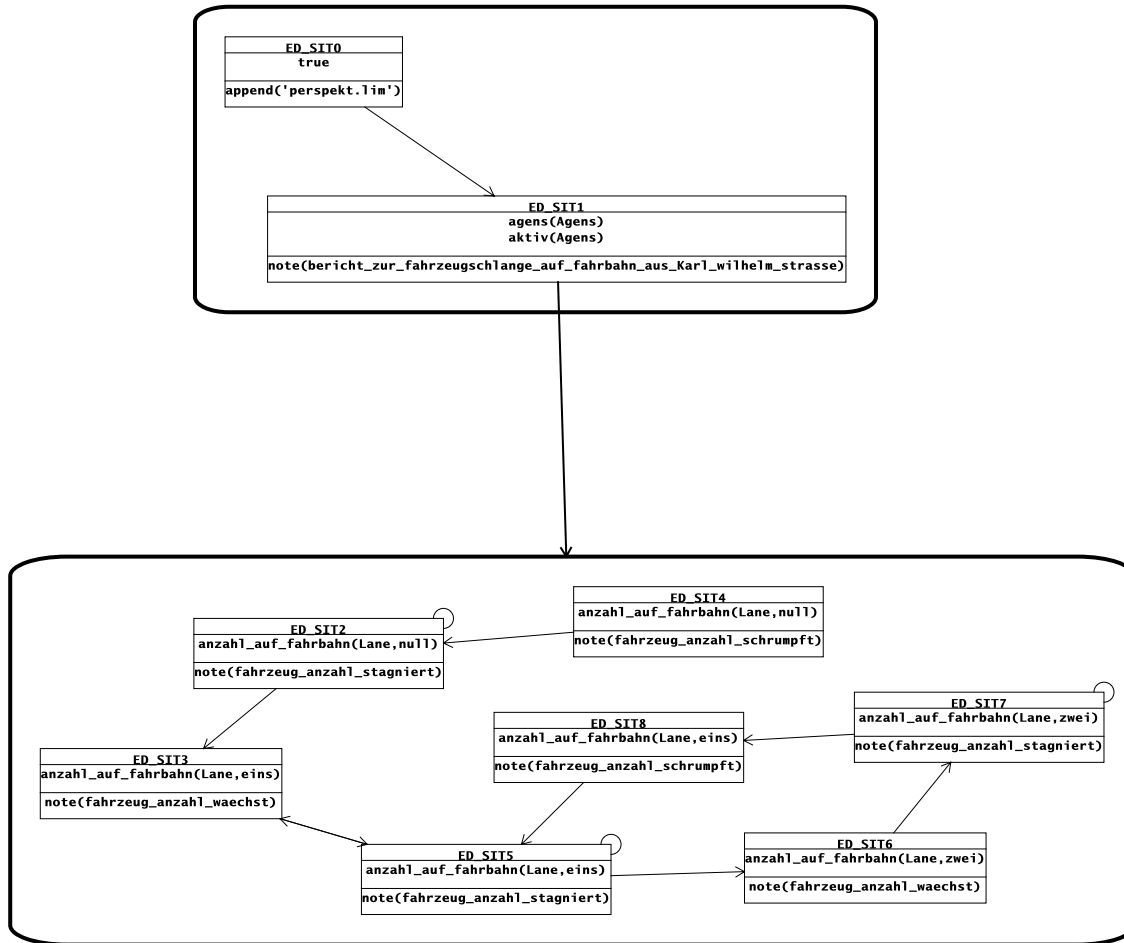


Abbildung B.3: Graphische Darstellung des Situationsgraphenbaums aus Anhang B.1.3.

}

Dieser SIT++-Beschreibungstext ist in einer Datei gespeichert, die unter dem folgenden Pfad zu finden ist:

```
/home/hschreib/src/limette/sits/bericht_baumzaehlen.sit
```

Der oben abgedruckte Situationsgraphenbaum wird in Abbildung B.3 visualisiert.

B.2 Aggregation zu Fahrspuren

Das folgend abgedruckte Logikprogramm setzt eine Fahrspur aus hintereinanderbefindlichen Fahrbahnobjekten zusammen. Initial soll das Fahrbahnobjekt angegeben werden, welches im zeitlichen Verlauf als erstes von in die Szene fahrenden Fahrzeugen befahren wird. In der betrachteten Kreuzungsszene sind das die Fahrbahnobjekte fobj_3, fobj_2, fobj_1, fobj_13, fobj_15, fobj_14 und fobj_9. In Abbildung 2.3 wurde fobj_2 eingezeichnet. Die genaue Lage der anderen genannten Kreuzungszufahrten kann der Leser der vorliegenden Arbeit bei Bedarf den Visualisierungen des Programms Xtrack entnehmen.

```
//Die Bezeichnung "fbo_anz_ist_3" steht fuer: "Die Anzahl der
//hintereinanderbefindlichen Fahrbahnobjekte betraegt drei"
always (fahrspuren :- fbo_anz_ist_1(fobj_3), note(fuer(fobj_3)),
    fbo_anz_ist_3(fobj_2), note(fuer(fobj_2)),
    fbo_anz_ist_3(fobj_1),note(fuer(fobj_1)),
    fbo_anz_ist_2(fobj_13),note(fuer(fobj_13)),
    fbo_anz_ist_1(fobj_15),note(fuer(fobj_15)),
    fbo_anz_ist_1(fobj_14),note(fuer(fobj_14)),
    fbo_anz_ist_3(fobj_9), note(fuer(fobj_9))).
```

```
//die betrachtete Fahrspur (FsIIII4) besteht aus vier
//Fahrspurobjekten, naemlich aus Fobj_IIII,Fobj_IIII2,
//Fobj_IIII3 und Fobj_IIII4
always (fbo_anz_ist_4(Fobj_IIII) :-
    hinter(Fobj_IIII2,Fobj_IIII),
    hinter(Fobj_IIII3,Fobj_IIII2),
    hinter(Fobj_IIII4,Fobj_IIII3),
    set_add(Fobj_IIII, [],FsIIII),
    set_add(Fobj_IIII2,FsIIII,FsIIII2),
    set_add(Fobj_IIII3,FsIIII2,FsIIII3),
    set_add(Fobj_IIII4,FsIIII3,FsIIII4),
    //gibt die Fahrbahnobjekte, die zur Fahrspur
    //fsIIII4 geh"oren am Bildschirm aus
    write(FsIIII4)).
```

```
//die betrachtete Fahrspur (FsIII3) besteht aus drei
//Fahrspurobjekten, also aus Fobj_III,Fobj_III2 und Fobj_III3
always (fbo_anz_ist_3(Fobj_III) :-
    hinter(Fobj_III2,Fobj_III),
    hinter(Fobj_III3,Fobj_III2),
    set_add(Fobj_III, [],FsIII),
    set_add(Fobj_III2,FsIII,FsIII2),
```

```

    set_add(Fobj_III3,FsIII2,FsIII3),
    write(FsIII3)).

always (fbo_anz_ist_2(Fobj_II) :-
    hinter(Fobj_II2,Fobj_II),
    set_add(Fobj_II, [],FsII),
    set_add(Fobj_II2,FsII,FsII2),
    write(FsII2)).

always (fbo_anz_ist_1(Fobj_I) :-
    set_add(Fobj_I, [],FsI),
    write(FsI)).

// element "E" is a member of set "S"
always member(E,[E|_]).
always (member(E,[_|S]) :- member(E,S)).

// set "A" is set "S" plus element "E"
always (set_add(E,S,S) :- member(E,S)).
always (set_add(E,S,[E|S]) :- not member(E,S)).

```

Dieses Logikprogramm ist in einer Datei gespeichert, die unter dem folgenden Pfad zu finden ist:

```
/home/hschreib/src/limette/aggregation.lim
```

B.3 Quicksort

Um die einzelnen Objekte, die zu einer Fahrzeugschlange gehören, in der Reihenfolge aufzählen zu können, in der sie in einer betrachteten Fahrzeugschlange aufgereiht sind, wird ein Logikprogramm verwendet, welches die Fahrzeuge einer Fahrzeugschlange in eine sortierte Liste schreibt.

Als Sortieralgorithmus wurde Quicksort ausgewählt. Man hat sich mit Quicksort für einen Algorithmus entschieden, der sich mit wenigen Programmzeilen in **F-LIMETTE** implementieren läßt. Fragen des Sortieraufwandes haben bei der Entscheidung für Quicksort keine Rolle gespielt, da man nur eine geringe Anzahl von Elementen sortiert.

Das vollständige Logikprogramm zum Sortieren einer Liste mit Quicksort lautet ([Bratko 87] S. 225 entnommen):

```
always (quicksort([],[])).
```

```
always (quicksort([X|Schwanz], Sortiert) :-
    teile(X,Schwanz, Klein,Gross),
    quicksort(Klein,Sortiertklein),
    quicksort(Gross,Sortiertgross),
    konk(Sortiertklein,[X|Sortiertgross],Sortiert)).

always teile(X,[],[],[]).

always (teile(X,[Y|Schwanz],[Y|Klein],Gross) :-
    hinter(X,Y),!,
    teile(X,Schwanz,Klein,Gross)).

always (teile(X,[Y|Schwanz],Klein,[Y|Gross]) :-
    teile(X,Schwanz,Klein,Gross)).

always konk([],L,L).
always (konk([X|L1],L2,[X|L3]) :-
    konk(L1,L2,L3)).
```

Dieses Logikprogramm ist in einer Datei gespeichert, die unter dem folgenden Pfad zu finden ist:

```
/home/hschreib/src/limette/fschlange.lim
```

Anhang C

Zerteilen

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus Abschnitt 4.1.2 wurde eine Grammatik erstellt, mit Hilfe derer man die in Abschnitt 4.1.2 abgedruckte begriffliche Beschreibung der Veränderung der Zusammensetzung einer Fahrzeugmenge zerteilen kann. Zur automatischen Generierung des Zerteilers aus der im Folgenden abgedruckten Grammatik wurde der Zerteilergenerator aus [Arens & Ottlik 00] eingesetzt. Es folgt nun die Auflistung der Logikfakten, aus denen die im Weiteren abgedruckten Grammatikregeln abgeleitet wurden. Bei der Auswahl der Logikfakten wurde darauf geachtet, dass alle in den Logikfakten aus Abschnitt 4.1.2 auftretenden Strukturen erfaßt werden.

```
1 : 80 ! be_free(fobj_2).
81 : 81 ! enter(obj_2,the_lane).
81 : 81 ! drive_on(obj_2,fobj_2).
81 : 219 ! be(obj_2,the_last_vehicle_of_the_queue).
81 : 1654 ! be(obj_2,the_head_of_the_queue).
350 : 350 ! form(the_vehicles,a_queue).
2100 : 2100 ! form(the_remaining_vehicles,a_vehicle_pair).
```

Die folgend angegebene Grammatik ist in der Lage, Ausdrücke der oben angegebenen Form zu zerteilen. Diese Grammatik verwendet der Zerteilergenerator (vgl. [Arens & Ottlik 00]) als Eingabe.

C.1 Grammatikregeln

$$\overset{\text{STARTSYMBOL}}{[\]} \rightarrow \overset{\text{TEXT}}{[\]}$$
$$\overset{\text{TEXT}}{[\]} \rightarrow \overset{\text{FACT}}{[\]} \overset{\text{DOT}}{[\]} \overset{\text{TEXT}}{[\]}$$
$$\overset{\text{TEXT}}{[\]} \rightarrow \overset{\text{FACT}}{[\]} \overset{\text{DOT}}{[\]}$$

FACT → TIME RELATION
 [] → [] []

TIME → AZP EZP
 [] → [] []

AZP → ZAHL
 [] → []

EZP → ZAHL
 [] → []

RELATION → VERBRELIATION
 [*processed = NONE*] → []

VERBRELIATION → PREDNAME OPENBRACKET SUBJECT KOMMA OBJECT CLOSEBRACKET
 [] → [] [] [] [] [] [] []

PREDNAME → VERB PREP
 [] → [] []

PREDNAME → VERB
 [] → []

SUBJECT → PN
 [] → []

SUBJECT → NP
 [] → []

OBJECT → NP
 [] → []

OBJECT → PN
 [] → []

OBJECT → N
 [] → []

NP2 → DET N
 [] → [] []

NP2 → DET ADJ N
 [] → [] [] []

NP2 → ADJ N
 [] → [] []

NP → NP2 PREP NP2
 [] → [] [] []

NP → NP2
 [] → []

$$\begin{array}{c} \text{NP2} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{NOT} \\ [\quad] \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{NP} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{PREP} \\ [\quad] \end{array} \begin{array}{c} \text{NP2} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{NP} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{DET} \\ [\quad] \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ [\quad] \end{array} \begin{array}{c} \text{PN} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{DOT} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{ZAHL} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{OPENBRACKET} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{CLOSEBRACKET} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{KOMMA} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{PN} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{DET} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{N} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

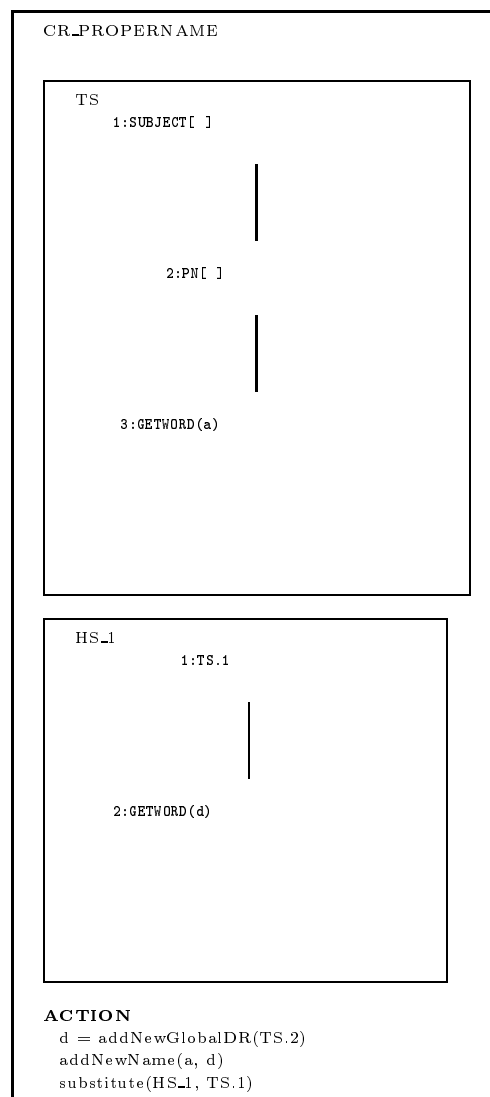
$$\begin{array}{c} \text{VERB} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

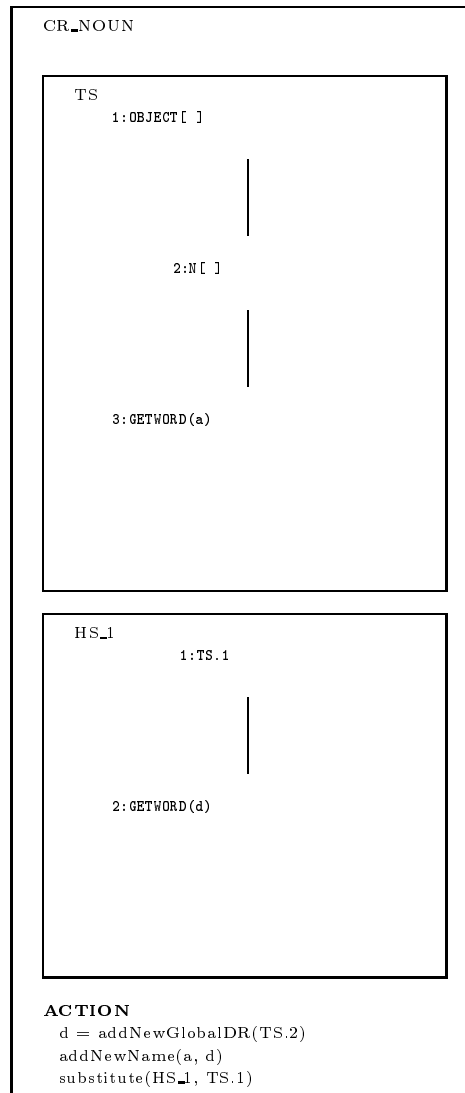
$$\begin{array}{c} \text{PREP} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

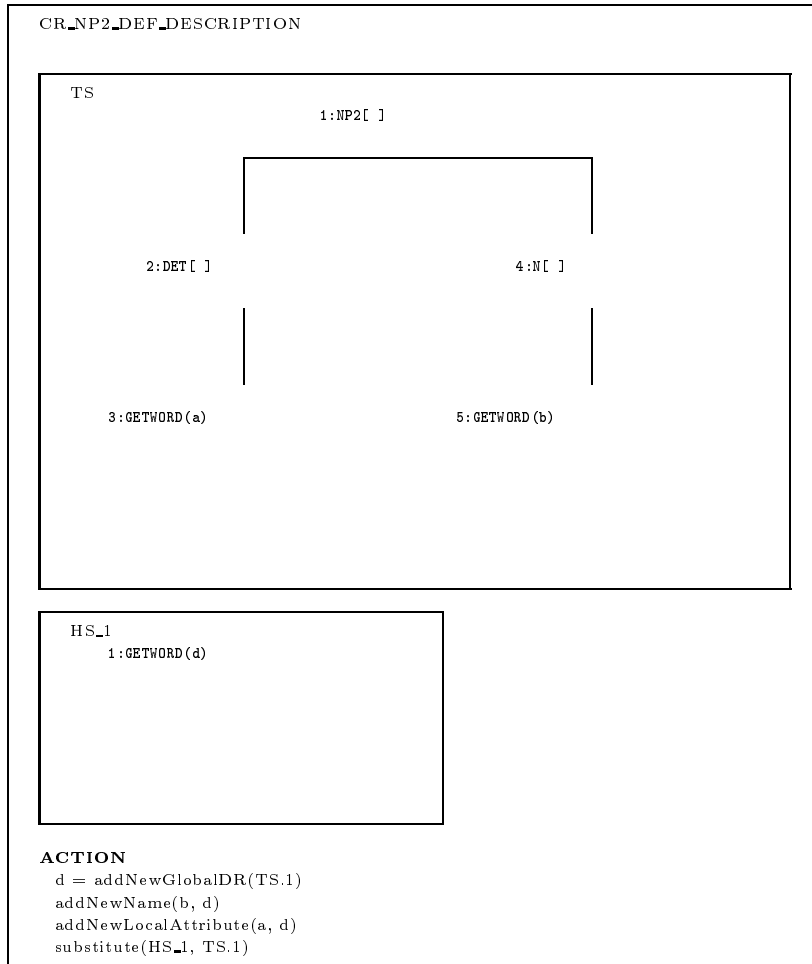
$$\begin{array}{c} \text{ADJ} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

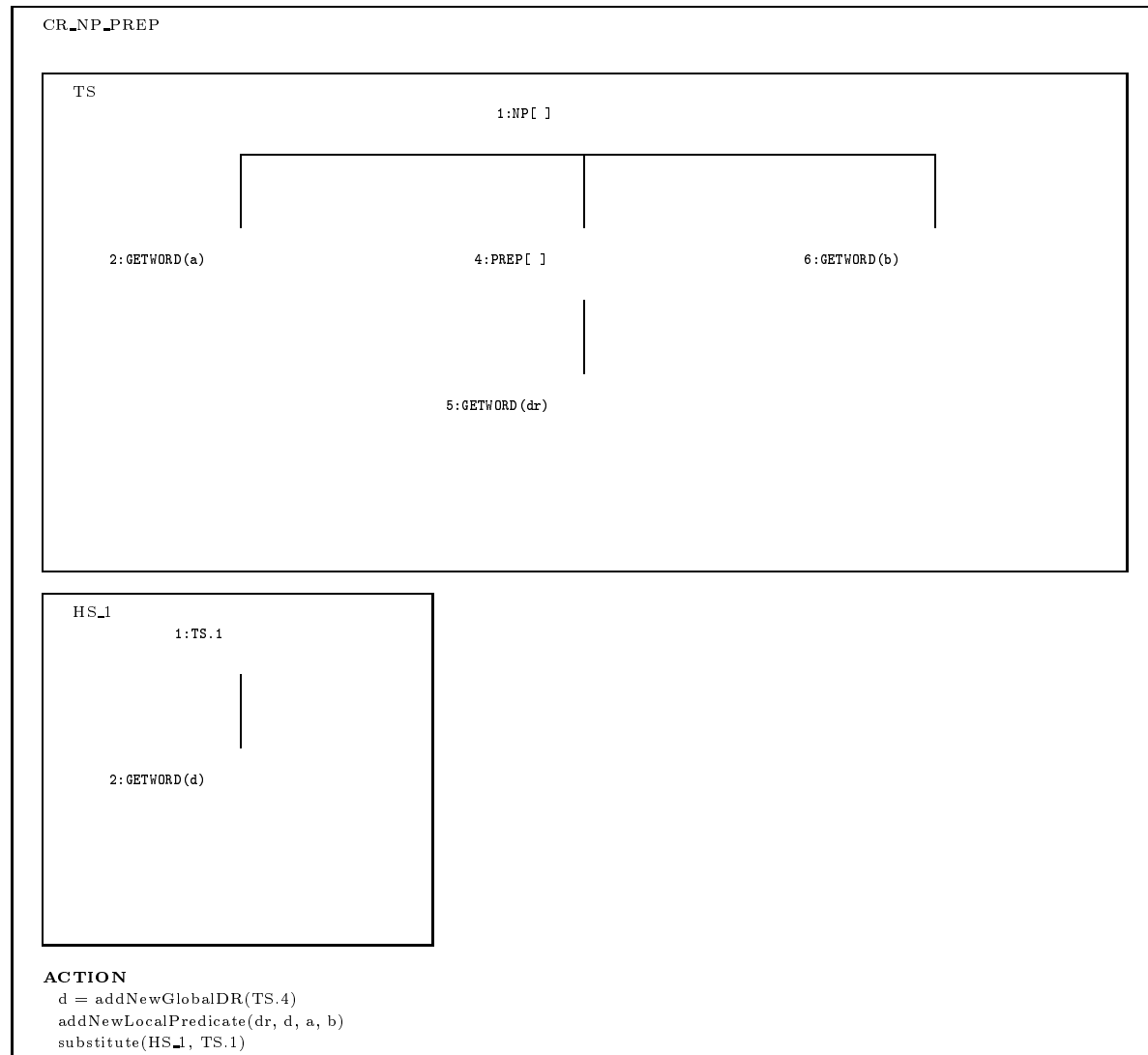
$$\begin{array}{c} \text{NOT} \\ [\quad] \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{LEX} \\ [\quad] \end{array}$$

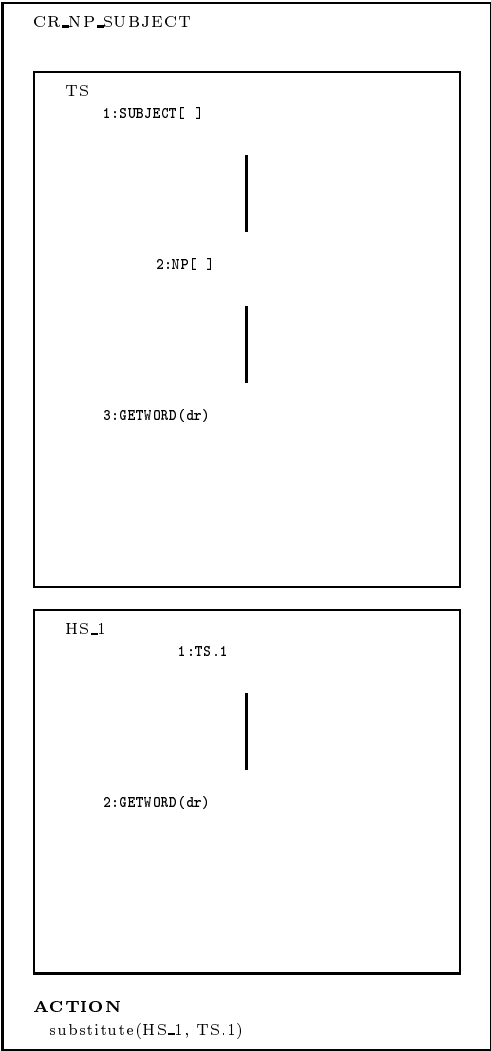
C.2 Konstruktionsregeln

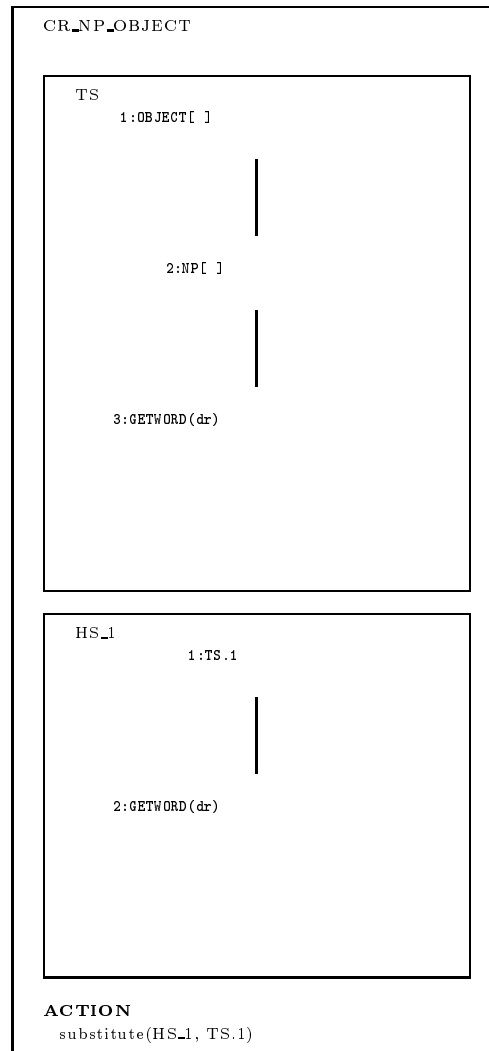


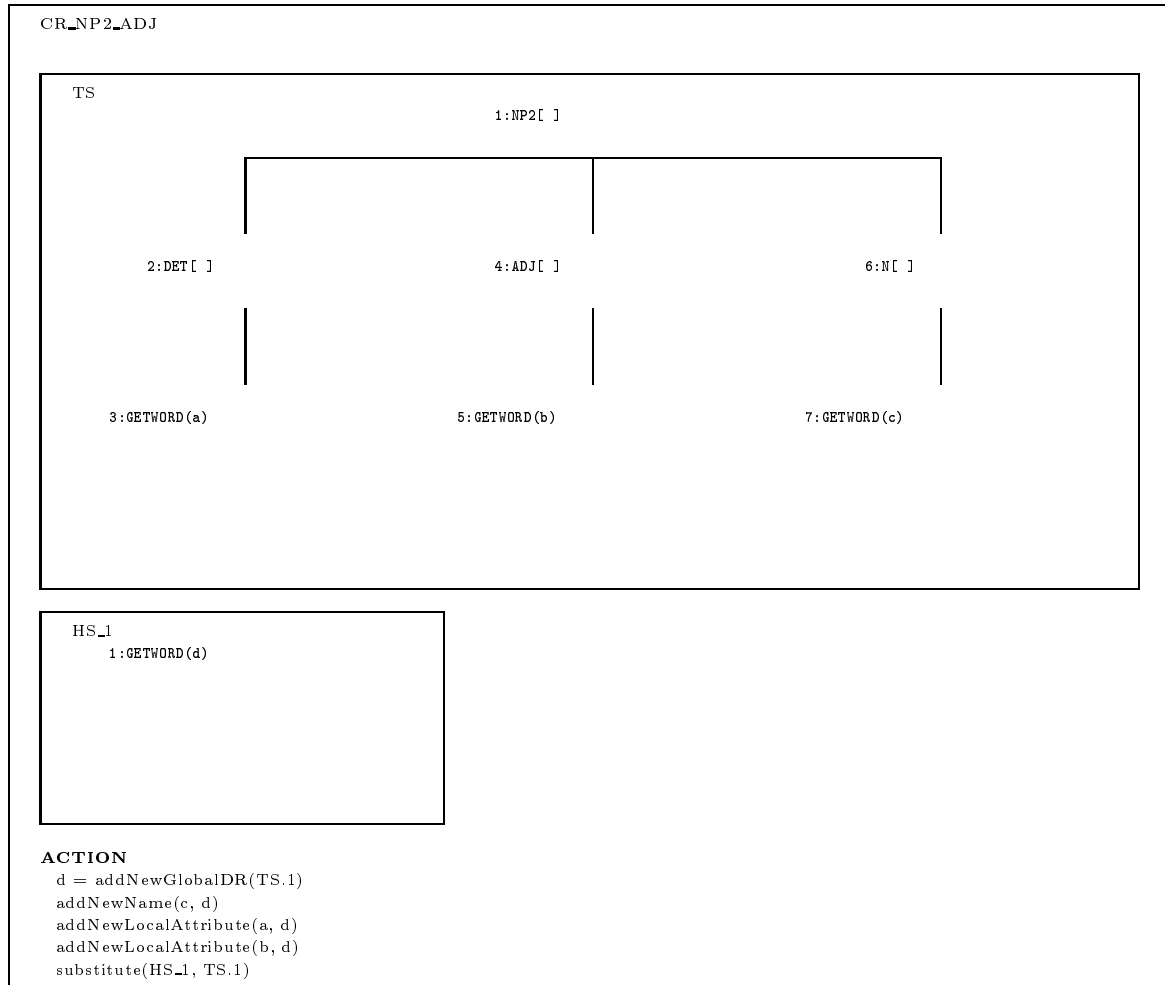


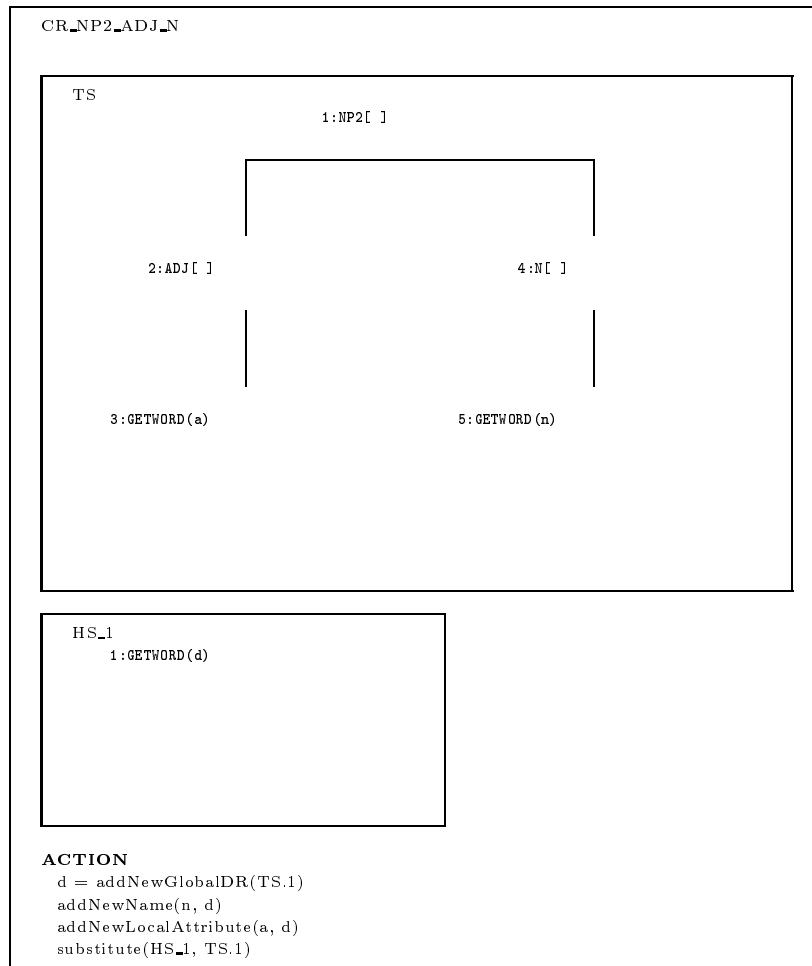




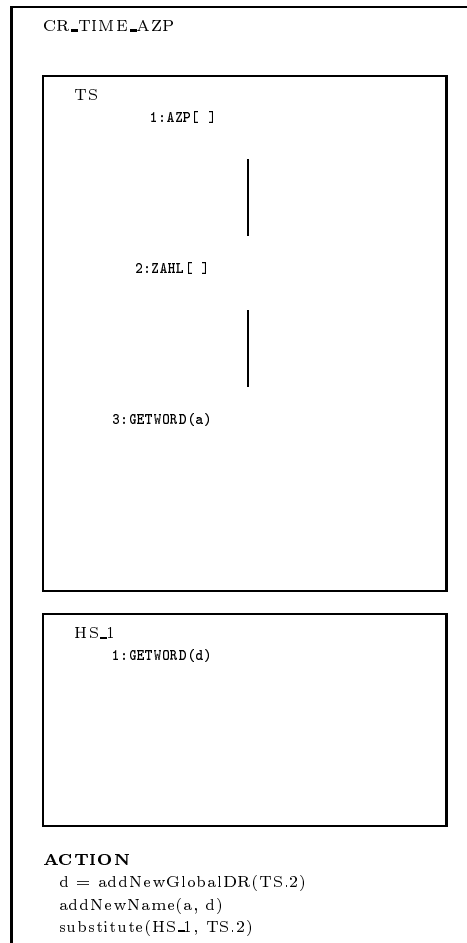


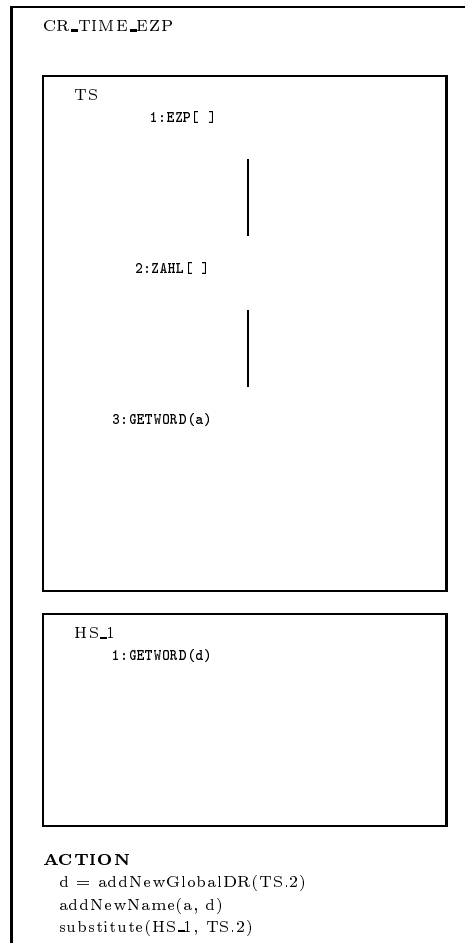


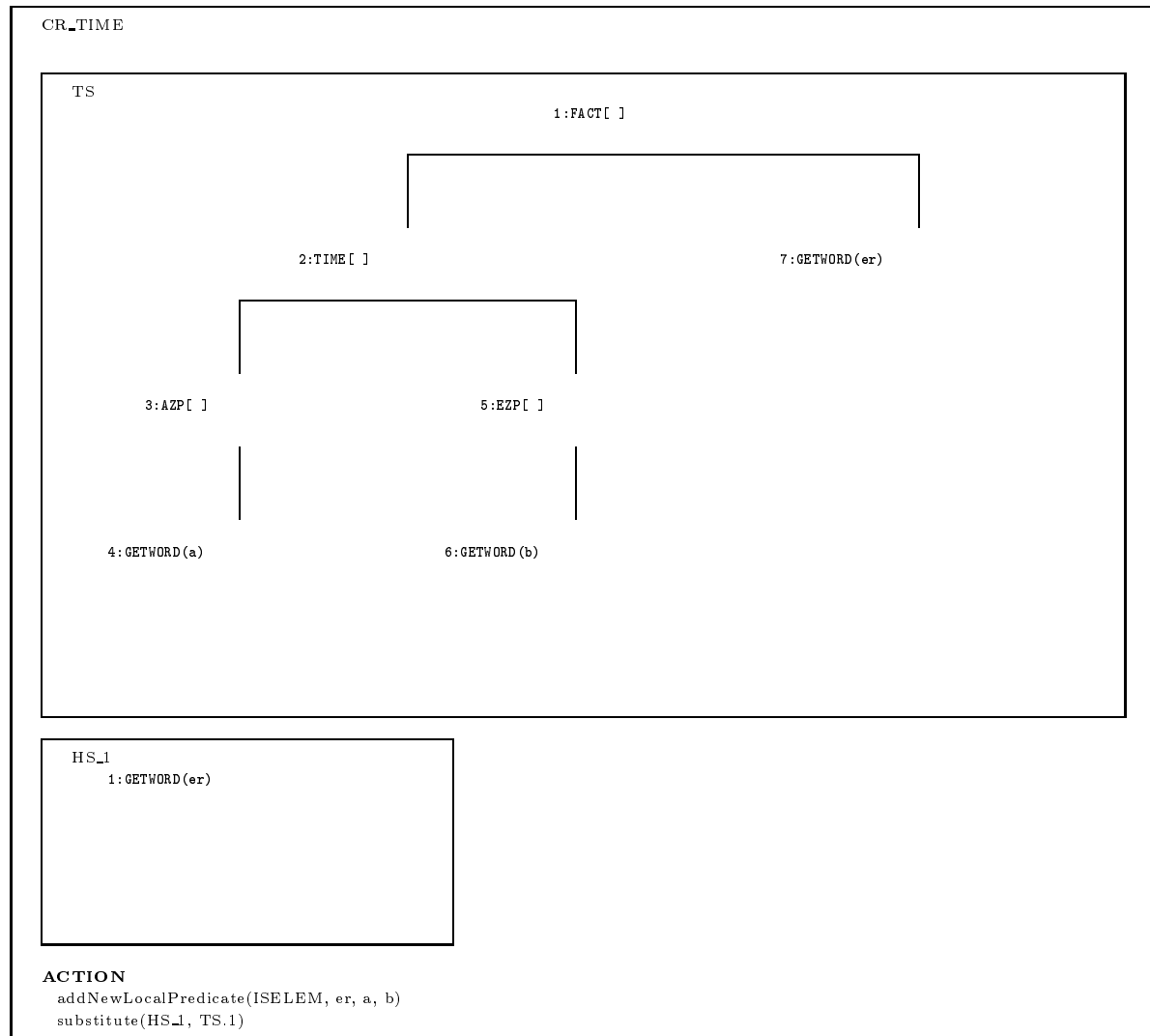


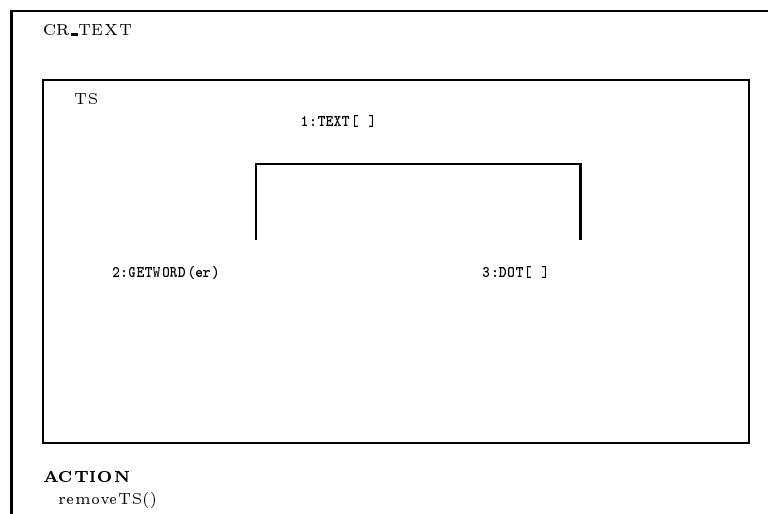
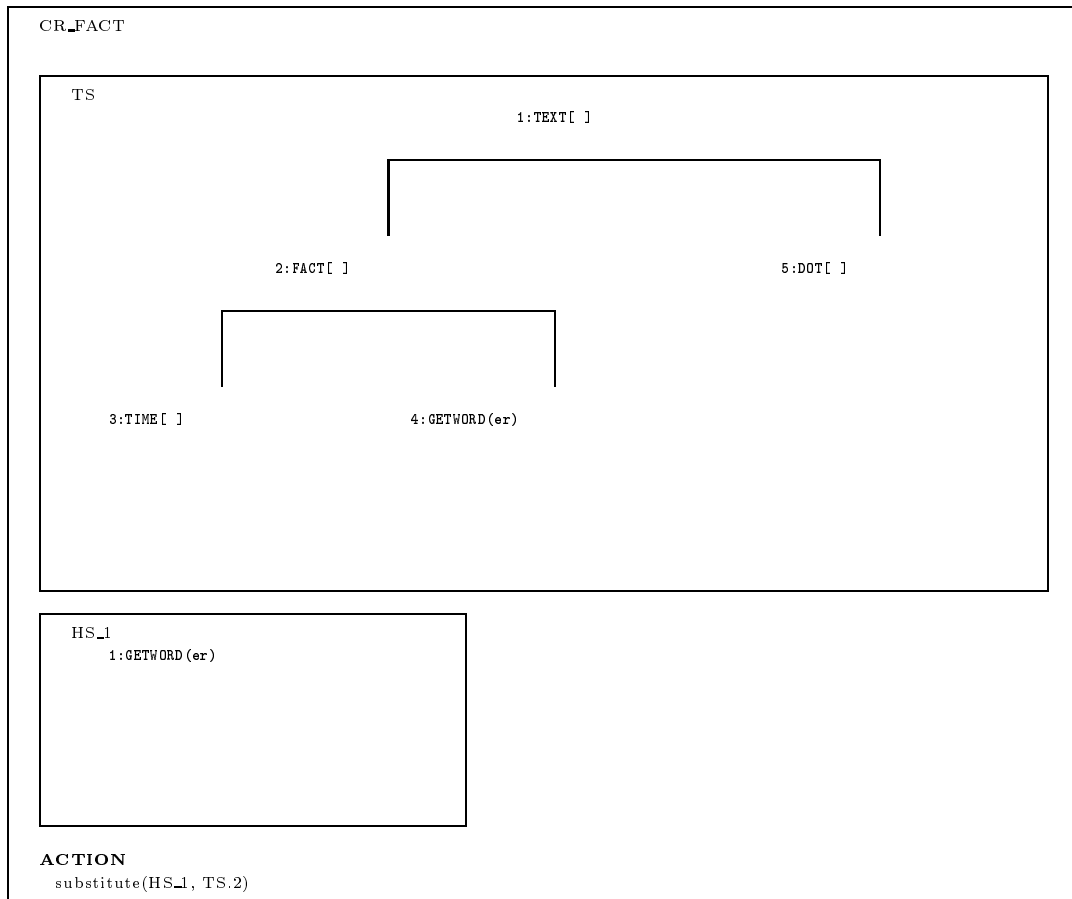


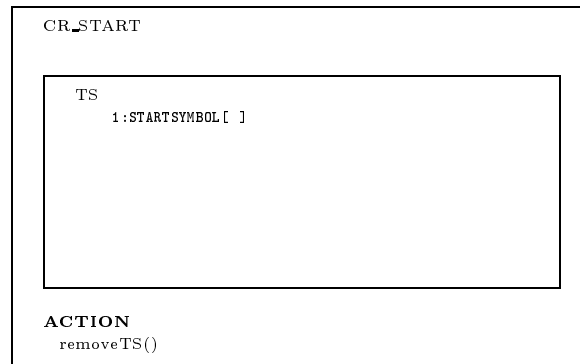
Die graphischen Veranschaulichungen der Konstruktionsregeln CR_INTRODUCE_EVENT, CR_EVENTDRS, CR_VERBPHRASE und CR_VERBPHRASE2 wurden aus Platzgründen nicht in die vorliegende Ausarbeitung aufgenommen. Diese sind jedoch mit ähnlichen Bezeichnungen in [Arens & Ottlik 00] dokumentiert.











C.3 Reihenfolge der Konstruktionsregeln

1. CR_PROPERNAME
2. CR_NOUN
3. CR_NP2_DEF_DESCRIPTION
4. CR_NP2_ADJ
5. CR_NP2_ADJ_N
6. CR_NP_PREP
7. CR_NP_SUBJECT
8. CR_NP_OBJECT
9. CR_INTRODUCE_EVENT
10. CR_EVENTDRS
11. CR_VERBPHRASE
12. CR_VERBPHRASE2
13. CR_TIME_AZP
14. CR_TIME_EZP
15. CR_TIME
16. CR_FACT
17. CR_TEXT
18. CR_START

Anhang D

Erzeugte Diskursrepräsentationsstrukturen

D.1 Durlacher Tor Szene

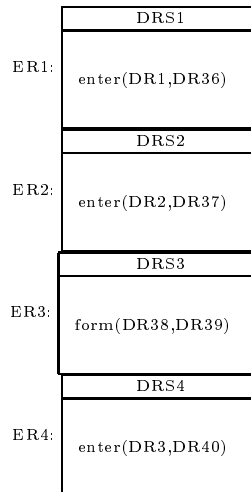
Im Folgenden ist eine DRS dokumentiert. Diese DRS gehört zur in Abschnitt 4.1.2 abgedruckten begrifflichen Beschreibung und zum in Abschnitt 4.1.4 abgedruckten Text..

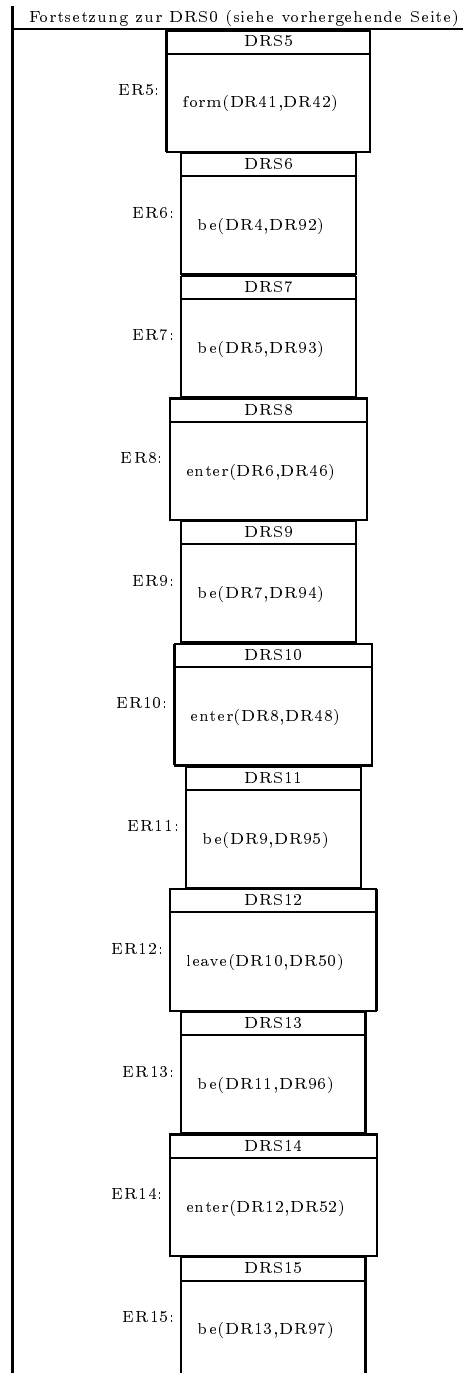
DRS0							
DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	DR7	DR8
DR9	DR10	DR11	DR12	DR13	DR14	DR15	DR16
DR17	DR18	DR19	DR20	DR21	DR22	DR23	DR24
DR25	DR26	DR27	DR28	DR29	DR30	DR31	DR32
DR33	DR34	DR35	DR36	DR37	DR38	DR39	DR40
DR41	DR42	DR43	DR44	DR45	DR46	DR47	DR48
DR49	DR50	DR51	DR52	DR53	DR54	DR55	DR56
DR57	DR58	DR59	DR60	DR61	DR62	DR63	DR64
DR65	DR66	DR67	DR68	DR69	DR70	DR71	DR72
DR73	DR74	DR75	DR76	DR77	DR78	DR79	DR80
DR81	DR82	DR83	DR84	DR85	DR86	DR87	DR88
DR89	DR90	DR91	DR92	DR93	DR94	DR95	DR96
DR97	DR98	DR99	DR100	DR101	DR102	DR103	DR104
DR105	DR106	DR107	DR108	DR109	DR110	DR111	DR112
DR113	DR114	DR115	DR116	DR117	DR118	DR119	DR120
DR121	DR122	DR123	DR124	DR125	DR126	DR127	DR128
DR129	DR130	DR131	DR132	DR133	DR134	DR135	DR136

Fortsetzung zur DRS0 (siehe vorhergehende Seite)							
DR137	DR138	DR139	DR140	DR141	DR142	DR143	DR144
DR145	DR146	DR147	DR148	DR149	DR150	DR151	DR152
DR153	DR154	DR155	DR156	DR157	DR158	DR159	DR160
DR161	DR162	DR163	DR164	DR165	DR166	DR167	DR168
DR169	DR170	DR171	DR172	DR173	DR174	DR175	DR176
	DR177	DR178	DR179	DR180	DR181	DR182	
ER1	ER2	ER3	ER4	ER5	ER6	ER7	ER8
ER9	ER10	ER11	ER12	ER13	ER14	ER15	ER16
ER17	ER18	ER19	ER20	ER21	ER22	ER23	ER24
ER25	ER26	ER27	ER28	ER29	ER30	ER31	ER32
	ER33	ER34	ER35	ER36	ER37	ER38	
objectC(DR1)	objectG(DR2)	objectI(DR3)	objectI(DR4)				
objectC(DR5)	objectJ(DR6)	objectJ(DR7)	objectBC(DR8)				
objectBC(DR9)	objectBC(DR10)	objectJ(DR11)	objectBF(DR12)				
objectBF(DR13)	objectBH(DR14)	objectBH(DR15)	objectBH(DR16)				
objectBF(DR17)	objectI(DR18)	objectCF(DR19)	objectCF(DR20)				
objectCH(DR21)	objectCH(DR22)	objectC(DR23)	objectG(DR24)				
objectG(DR25)	objectJ(DR26)	objectCJ(DR27)	objectCJ(DR28)				
objectJ(DR29)	objectBF(DR30)	objectBF(DR31)	objectCF(DR32)				
objectCF(DR33)	objectCH(DR34)	objectCJ(DR35)	lane(DR36)				
lane(DR37)	vehicles(DR38)	pair(DR39)	lane(DR40)				
vehicles(DR41)	queue(DR42)	queue(DR43)	head(DR44)				
queue(DR45)	lane(DR46)	queue(DR47)	lane(DR48)				
queue(DR49)	queue(DR50)	queue(DR51)	lane(DR52)				
queue(DR53)	lane(DR54)	queue(DR55)	queue(DR56)				
queue(DR57)	queue(DR58)	lane(DR59)	queue(DR60)				
lane(DR61)	queue(DR62)	queue(DR63)	head(DR64)				
queue(DR65)	queue(DR66)	head(DR67)	queue(DR68)				
lane(DR69)	queue(DR70)	queue(DR71)	head(DR72)				
queue(DR73)	queue(DR74)	head(DR75)	queue(DR76)				
pair(DR77)	lane(DR78)	lane(DR79)	vehicle(DR80)				
vehicle(DR81)	vehicle(DR82)	vehicle(DR83)	vehicle(DR84)				
vehicle(DR85)	vehicle(DR86)	vehicle(DR87)	vehicle(DR88)				
vehicle(DR89)	vehicles(DR90)	vehicle(DR91)	IB(DR107)				
CCA(DR108)	CCA(DR109)	DFA(DR110)	DFA(DR111)				
DFA(DR112)	DFA(DR113)	EIA(DR114)	EIA(DR115)				
FGB(DR116)	FGB(DR117)	FHG(DR118)	FHG(DR119)				
HBA(DR120)	HBA(DR121)	JCH(DR122)	JCH(DR123)				
BEFA(DR124)	BEFA(DR125)	BEFA(DR126)	BEFA(DR127)				
BEFA(DR128)	BFHA(DR129)	BFHA(DR130)	BHFA(DR131)				
BHFA(DR132)	BHFA(DR133)	BHFA(DR134)	BHFA(DR135)				
BHFA(DR136)	CBAA(DR137)	CBAA(DR138)	CBAA(DR139)				
CBAA(DR140)	CBAA(DR141)	CBAA(DR142)	CBJH(DR143)				
CBJH(DR144)	IB(DR145)	CCA(DR146)	CCA(DR147)				
DFA(DR148)	DFA(DR149)	EHJ(DR150)	BGFE(DR151)				
EIA(DR152)	FGB(DR153)	FGB(DR154)	FHG(DR155)				
FHG(DR156)	HBA(DR157)	HBA(DR158)	JCH(DR159)				
JCH(DR160)	BEFA(DR161)	BEFA(DR162)	BEFA(DR163)				
BEFA(DR164)	BEFA(DR165)	BFHA(DR166)	BFHA(DR167)				
BHFA(DR168)	BHFA(DR169)	BHFA(DR170)	BHFA(DR171)				
BHFA(DR172)	BHFA(DR173)	CBAA(DR174)	CBAA(DR175)				
CBAA(DR176)	CBAA(DR177)	CBAA(DR178)	CBAA(DR179)				
	CBAA(DR180)	CBJH(DR181)	CBJH(DR182)				

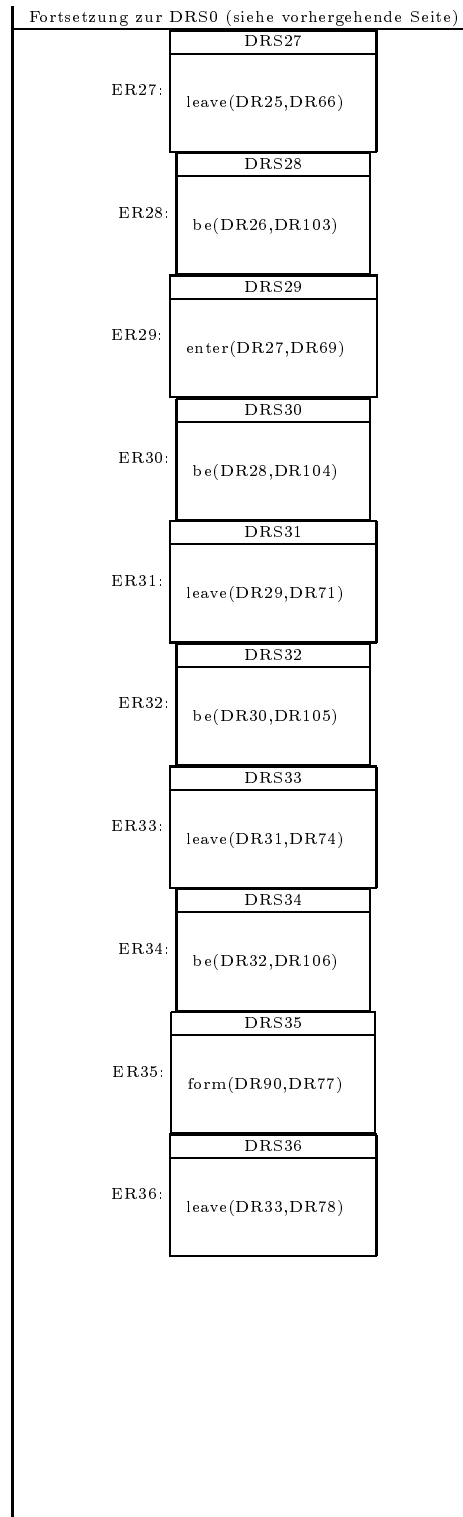
Fortsetzung zur DRS0 (siehe vorhergehende Seite)

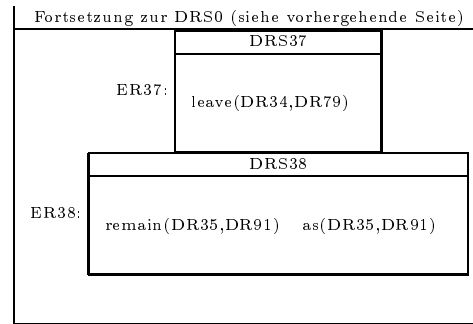
the(DR36)	the(DR37)	the(DR38)	a(DR39)	the(DR40)
the(DR41)	a(DR42)	the(DR43)	the(DR44)	the(DR45)
the(DR46)	the(DR47)	the(DR48)	the(DR49)	the(DR50)
the(DR51)	the(DR52)	the(DR53)	the(DR54)	the(DR55)
the(DR56)	the(DR57)	the(DR58)	the(DR59)	the(DR60)
the(DR61)	the(DR62)	the(DR63)	the(DR64)	the(DR65)
the(DR66)	the(DR67)	the(DR68)	the(DR69)	the(DR70)
the(DR71)	the(DR72)	the(DR73)	the(DR74)	the(DR75)
the(DR76)	a(DR77)	the(DR78)	the(DR79)	the(DR80)
last(DR80)	the(DR81)	last(DR81)	the(DR82)	last(DR82)
the(DR83)	last(DR83)	the(DR84)	last(DR84)	the(DR85)
last(DR85)	the(DR86)	last(DR86)	the(DR87)	last(DR87)
the(DR88)	last(DR88)	the(DR89)	last(DR89)	the(DR90)
	remaining(DR90)	single(DR91)		
ISELEM(ER29,DR135,DR173)	ISELEM(ER28,DR134,DR172)	ISELEM(ER27,DR133,DR171)		
ISELEM(ER26,DR132,DR170)	ISELEM(ER25,DR131,DR169)	ISELEM(ER24,DR130,DR168)		
ISELEM(ER23,DR129,DR167)	ISELEM(ER22,DR128,DR166)	ISELEM(ER21,DR127,DR165)		
ISELEM(ER20,DR126,DR164)	ISELEM(ER35,DR141,DR179)	ISELEM(ER34,DR140,DR178)		
ISELEM(ER33,DR139,DR177)	ISELEM(ER32,DR138,DR176)	ISELEM(ER31,DR137,DR175)		
ISELEM(ER30,DR136,DR174)	ISELEM(ER9,DR115,DR153)	ISELEM(ER8,DR114,DR152)		
ISELEM(ER19,DR125,DR163)	ISELEM(ER7,DR113,DR151)	ISELEM(ER18,DR124,DR162)		
ISELEM(ER6,DR112,DR150)	ISELEM(ER17,DR123,DR161)	ISELEM(ER5,DR111,DR149)		
ISELEM(ER16,DR122,DR160)	ISELEM(ER4,DR110,DR148)	ISELEM(ER15,DR121,DR159)		
ISELEM(ER3,DR109,DR147)	ISELEM(ER14,DR120,DR158)	ISELEM(ER2,DR108,DR146)		
ISELEM(ER13,DR119,DR157)	ISELEM(ER1,DR107,DR145)	ISELEM(ER12,DR118,DR156)		
ISELEM(ER11,DR117,DR155)	ISELEM(ER10,DR116,DR154)	of(DR99,DR86,DR57)		
	of(DR98,DR85,DR55)	of(DR97,DR84,DR53)	of(DR96,DR83,DR51)	
	of(DR95,DR82,DR49)	of(DR94,DR81,DR47)	of(DR93,DR44,DR45)	
of(DR92,DR80,DR43)	ISELEM(ER38,DR144,DR182)	ISELEM(ER37,DR143,DR181)		
of(DR104,DR89,DR70)	ISELEM(ER36,DR142,DR180)	of(DR101,DR88,DR62)		
of(DR100,DR87,DR60)	of(DR106,DR75,DR76)	of(DR105,DR72,DR73)		
	of(DR103,DR67,DR68)	of(DR102,DR64,DR65)		





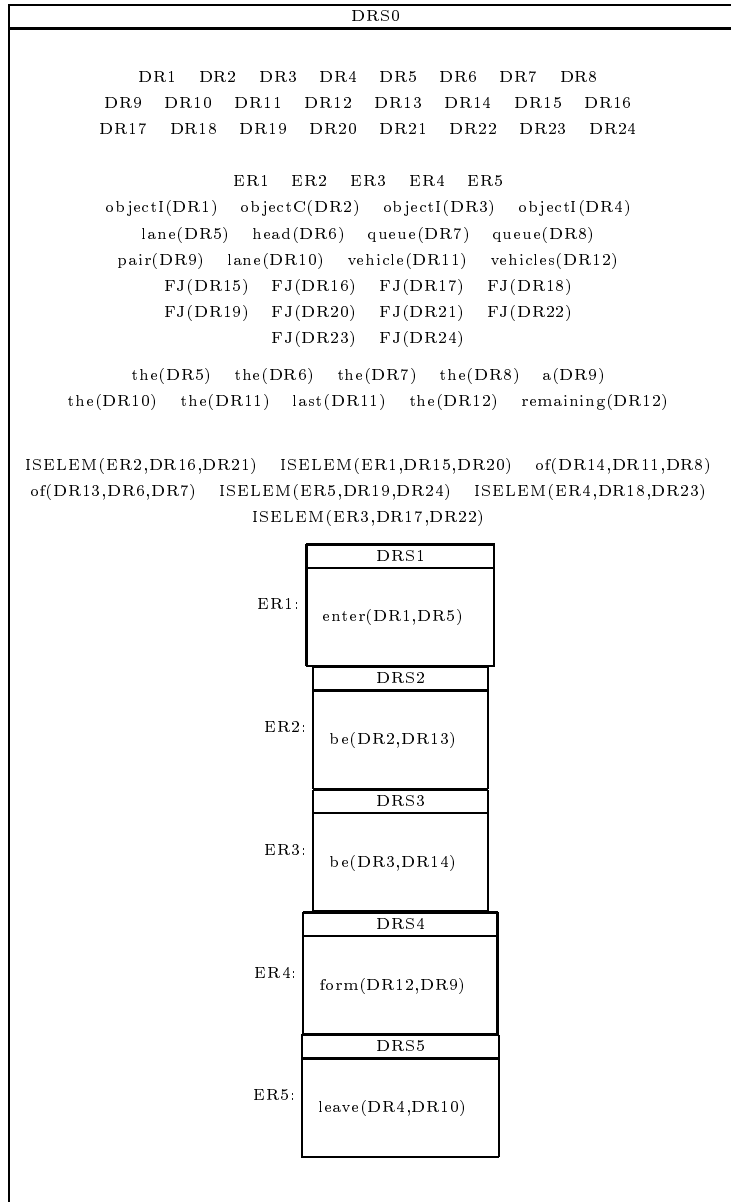
Fortsetzung zur DRS0 (siehe vorhergehende Seite)	
	DRS16
ER16:	enter(DR14,DR54)
	DRS17
ER17:	be(DR15,DR98)
	DRS18
ER18:	leave(DR16,DR56)
	DRS19
ER19:	be(DR17,DR99)
	DRS20
ER20:	leave(DR18,DR58)
	DRS21
ER21:	enter(DR19,DR59)
	DRS22
ER22:	be(DR20,DR100)
	DRS23
ER23:	enter(DR21,DR61)
	DRS24
ER24:	be(DR22,DR101)
	DRS25
ER25:	leave(DR23,DR63)
	DRS26
ER26:	be(DR24,DR102)





D.2 Ettlinger Tor Szene

Im Folgenden ist eine DRS dokumentiert. Diese DRS gehört zur in Abschnitt 4.2.2 abgedruckten begrifflichen Beschreibung und zum in Abschnitt 4.2.3 abgedruckten Text.



Anhang E

Verwendete Programme

E.1 Übersicht zu Programmen

Die in der vorliegenden Arbeit betrachteten Auswertungs- und Transformationsschritte verwenden die Ergebnisse einer algorithmischen Bildfolgenauswertung auf geometrischer Ebene (vgl. Abschnitt 1.1). Zu diesen Auswertungsergebnissen gehören die Trajektorien Daten einzelner Fahrzeuge und ein Fahrbahnmodell.

Die im Weiteren abgedruckte Tabelle enthält zu den vier in Abschnitt 3.2.1 eingeführten Schritten bei der Textgenerierung jeweils

- die Beschreibung des Teilschritts,
- eine Angabe zur benötigten Rechenzeit bei der Anwendung dieses Schritts auf eine Bildfolge der Länge weniger Minuten (es wurde eine SUN Workstation mit einem 200 MHz-Prozessor eingesetzt),
- den Programmaufruf,
- den/die Namen der verwendeten Datenbasis/-basen,
- den Namen der Datei, welche das Programm enthält und
- die Bezeichnung der Datei, in welche die Ergebnisdaten geschrieben werden.

Anstelle von Programmaufrufen wurden aus Platzgründen Bezeichner vergeben. Die dazugehörigen Programmaufrufe findet man in der Nähe der Tabelle.

PA1 (zur Bildfolge am Ettlinger Tor aus Abschnitt 4.2.1):

1.	Es wird für jeden Auswertungszeitpunkt eine begriffliche Beschreibung der Zusammensetzung der Fahrzeugmenge auf der betrachteten Fahrspur erzeugt. In der vorliegenden Arbeit wurden Fahrzeuge zu einer Menge zusammengefaßt, wenn sie sich auf einer betrachteten Fahrspur befinden.
	ca. 48 Stunden
	PA1
	object_1.lim, object_2.lim, object_3.lim, object_4.lim ...
	fahrbahnmodell.lim
	fahrzeuge_zusammenfassen.lim fahrzeuge_zusammenfassen_anweisungen.lim fahrzeugmengen.lim
2.	Es wird eine begriffliche Beschreibung der Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugmenge berechnet.
	ca. 2 Stunden
	PA2
	fahrzeugmengen.lim
	aenderungen_der_zusammensetzung_der_fahrzeugmenge_beschreiben.lim aenderungen_der_zusammensetzung_der_fahrzeugmenge_beschreiben_anweisungen.lim beschreibung_der_aenderungen_der_zusammensetzung_der_fahrzeugmenge.lim
3.	Unter Verwendung der durch Schritt 2 bestimmten Prädikate werden die Zeitpunkte ermittelt, zu denen sich definierte Schemata von <i>Ereignis</i> -Prädikaten ausdrücken lassen.
	ca. 1 Minute
	PA3
	beschreibung_der_aenderungen_der_zusammensetzung_der_fahrzeugmenge.lim
	ereignisliste_erstellen.lim ereignisliste_erstellen_anweisungen.lim ereignisliste.lim
4.	Die zur Diskretisierung der betrachteten Bildfolge festgelegten Zeitpunkte werden in chronologischer Reihenfolge durchlaufen. Zu jedem durchlaufenen Zeitpunkt wird zu jedem in Schritt 3 ermittelten Prädikat ein natürlichsprachlicher Satz generiert. Als Zwischenschritt wird der semantische Inhalt der in Schritt 3 erzeugten Prädikate in eine DRS transformiert.
	ca. 1 Minute
	PA4
	ereignisliste.lim
	HauptFrame.class
	text.txt und Anzeige in einem Fenster der graphischen Benutzeroberfläche des Textgenerators

Tabelle E.1: Auswertungs- und Transformationsschritte zur rechnergestützten natürlichsprachlichen Beschreibung (weitere Erläuterungen im Text).

```

limette3 sit ../final\_angus/traj/et/rel
../final\_angus/traj/et/res
../final\_angus/traj/et/res2
../final\_angus/traj/et/object\_1
../final\_angus/traj/et/object\_2
../final\_angus/traj/et/object\_3
../final\_angus/traj/et/object\_4

. . .

../final\_angus/traj/et/object\_11
fahrzeuge\_zusammenfassen\_et
aktivgruppe attributbeschreibungen\_lenk\_engl
../final\_angus/traj/et/fahrbahnmodell
../final\_angus/traj/et/fz\_mengen/fahrzeuge\_
zusammenfassen\_anweisungen

```

PA2 (zur Bildfolge am Ettliger Tor aus Abschnitt 4.2.1):

```

limette3 sit
aenderungen\_der\_zusammensetzung\_der\_
fahrzeuggruppe\_beschreiben
fahrzeugmengen .
../final\_angus/traj/et/fz\_mengen/aenderungen\_
der\_zusammensetzung\_
der\_fahrzeugmenge\_beschreiben\_anweisungen

```

PA3 (zur Bildfolge am Ettliger Tor aus Abschnitt 4.2.1):

```

limette3 sit ereignisliste\_erstellen
beschreibung\_der\_aenderungen\_der\_
zusammensetzung\_der\_fahrzeugmenge
ereignisliste\_erstellen\_anweisungen

```

PA4 (zur Bildfolge am Ettliger Tor aus Abschnitt 4.2.1):

```

Zerteiler erzeugen:
Verzeichnis wechseln: cd src/java/tr_generator
Aufruf: generateParser grammars/grammatik_schreiber.txt
/home/hschreib/src/java/zerteiler/

```


Textgenerator verwenden:

- 1.) rlogin i21s16
- 2.) Verzeichnis wechseln: cd src/java/zerteiler
- 3.) setenv DISPLAY i21s12:0.0
- 4.) Aufruf: java HauptFrame &

E.2 Textgenerierung

Zur DRS-Erzeugung und zur Formulierung natürlichsprachlicher Texte wurden die in der vorliegenden Arbeit entworfenen begrifflichen Beschreibungen zum Verhalten von Fahrzeugmengen verwendet. Zur Generierung von Texten wurde ein Java-Programm eingesetzt (vgl. *ANGUS* [Gerber 00] und *Zerteilergenerator* [Arens & Ottlik 00]). Dieses Programm mußte im Zusammenhang mit der zu lösenden Texterzeugungsaufgabe geringfügig ergänzt werden. Zur Texterzeugung bereitgestellte begriffliche Beschreibungen werden dem Textgenerator aufgrund der vorgenommenen Ergänzung in chronologischer Reihenfolge übergeben.

Im Folgenden ist die dem Textgenerator hinzugefügte Methode abgedruckt. Diese Methode verwendet die Anfangs- und Endzeitpunkte als Sortierkriterium und ordnet die Fakten gemäß ihres chronologischen Vorkommens in der dazugehörigen Bildfolge. Als Sortieralgorithmus wurde Sortieren durch Fachvertauschen (Bubblesort) eingesetzt.

```
public StartStopRelation[] sort(StartStopRelation[] ARel,
                                int zaehler) {
    StartStopRelation Helpssr;
    boolean sorted = false;
    //Sort using start-points as sorting creteria
    while (!sorted) {
        sorted = true;
        for (int i = 1; i<= zaehler-1;i++) {
            if (ARel[i].a > ARel[i+1].a) {
                sorted = false;
                Helpssr = ARel[i];
                ARel[i] = ARel[i+1];
                ARel[i+1] = Helpssr;
            }
        }
    }
    sorted = false;
    //Sort using stop-points as sorting creteria
    while (!sorted) {
        sorted = true;
```

```

    for (int i = 1; i<= zaehler-1;i++) {
        if (ARel[i].a == ARel[i+1].a) {
            if (ARel[i].e > ARel[i+1].e) {
                sorted = false;
                Helpssr = ARel[i];
                ARel[i] = ARel[i+1];
                ARel[i+1] = Helpssr;
            }
        }
    }
}
return ARel;
}

```

Diese Java-Methode ist in der folgenden Datei abgespeichert:

```
/home/hschreib/src/java/tr_generator/gerber_always/HauptFrame.java
```

Nach Einbringung dieser geringfügigen Erweiterung und einigen Änderungen an dem in Abschnitt 3.2.2.3 abgedruckten Logikprogramm ließ sich folgende begriffliche Beschreibung des Verhaltens der Fahrzeugmenge fobj_2 generieren.

```

1 80 be(fobj_2,not_in_szene).
=====

81 81 mightbereferedtoas(fobj_2,singlevehicle).
81 81 growsbecausejoins(fobj_2,obj_2).
220 220 growsbecausejoins(fobj_2,obj_6).
220 220 form(the_vehicles_of_the_vehicleset,a_vehiclepair).
350 350 growsbecausejoins(fobj_2,obj_8).
350 350 form(the_vehicles_of_the_vehicleset,a_vehiclequeue).
350 479 be(obj_8,the_last_vehicle_of_the_queue).
350 1654 be(obj_2,the_head_of_the_queue).
480 480 growsbecausejoins(fobj_2,obj_9).
480 560 be(obj_9,the_last_vehicle_of_the_queue).
561 561 growsbecausejoins(fobj_2,obj_12).
561 575 be(obj_12,the_last_vehicle_of_the_queue).
576 576 leave(obj_12,the_vehiclequeue).
576 709 be(obj_9,the_last_vehicle_of_the_queue).
710 710 growsbecausejoins(fobj_2,obj_15).

```

710 926 be(obj_15,the_last_vehicle_of_the_queue).
927 927 growsbecausejoins(fobj_2,obj_17).
927 940 be(obj_17,the_last_vehicle_of_the_queue).
941 941 leave(obj_17,the_vehiclequeue).
941 1449 be(obj_15,the_last_vehicle_of_the_queue).
1361 1361 leave(obj_8,the_vehiclequeue).
1450 1450 growsbecausejoins(fobj_2,obj_25).
1450 1569 be(obj_25,the_last_vehicle_of_the_queue).
1570 1570 growsbecausejoins(fobj_2,obj_27).
1570 1749 be(obj_27,the_last_vehicle_of_the_queue).
1655 1655 leave(obj_2,the_vehiclequeue).
1655 1725 be(obj_6,the_head_of_the_queue).
1726 1726 leave(obj_6,the_vehiclequeue).
1726 1912 be(obj_9,the_head_of_the_queue).
1750 1750 growsbecausejoins(fobj_2,obj_29).
1750 2099 be(obj_29,the_last_vehicle_of_the_queue).
1913 1913 leave(obj_9,the_vehiclequeue).
1913 2012 be(obj_15,the_head_of_the_queue).
2013 2013 leave(obj_15,the_vehiclequeue).
2013 2099 be(obj_25,the_head_of_the_queue).
2100 2100 form(the_remaining_vehicles,a_vehiclepair).
2100 2100 leave(obj_25,the_lane).
2197 2197 leave(obj_27,the_lane).
2197 2197 mightbereferedtoas(fobj_2,singlevehicle).
2197 2197 contain(fobj_2,obj_29).
2267 2320 be(fobj_2,not_in_szene).

Anhang F

Weitere Sätze

Im Folgenden sind natürlichsprachliche Aussagen abgedruckt, zu denen im Rahmen der vorliegenden Arbeit begriffliche Beschreibungen entworfen wurden.

Fall	Deutschsprachige Sätze	Übersetzung in einfache englischsprachige Sätze	Übersetzung in eine begriffliche Beschreibung (Die Implementierung dieser logischen Ausdrücke wurde in Abschnitt 3.2.2 abgedruckt)
Die zu beschreibende Fahrzeugmenge umfaßt zum betrachteten Zeitpunkt ein Fahrzeug.	Auf der Fahrspur, dessen erster Fahrbahnabschnitt von dem Fahrbahnobjekt fobj_2 gebildet wird, befindet sich ein einzelnes Fahrzeug. Es handelt sich dabei um das Fahrzeug obj_1.	A single vehicle resides on a lane, for which the first road-object is fobj_2. We refer to this vehicle as obj_1.	deduce_term (Agens,Term), note(is_named(Agens,Term)), ausgeben(Agens).
Die zu beschreibende Fahrzeugmenge umfaßt zum betrachteten Zeitpunkt genau zwei Fahrzeuge. Gegenüber dem davor betrachteten Zeitpunkt hat sich die Anzahl der auf der Fahrspur befindlichen Fahrzeuge um eins erhöht.	Mit Agens wird zum betrachteten Zeitpunkt ein Fahrzeugpaar bezeichnet. Dieses Fahrzeugpaar umfaßt die Fahrzeuge obj_1 und obj_4. Agens wurde zum zuvor betrachteten Zeitpunkt als einzelnes Fahrzeug bezeichnet. Diesem hat sich zum aktuell betrachteten Zeitpunkt das Fahrzeug obj_4 angeschlossen.	The identifier Agens denotes a vehicle pair. This vehicle pair comprises the vehicles obj_1 and obj_4. Previously, Agens has been referred to as a single vehicle. Presently obj_4 has joined it.	deduce_term (Agens, Term), -1 ? deduce_term (Agens,Term_before), note(is_named(Agens,Term)), ausgeben(Agens), note(has_been_named (Agens,Term_before), note(joined_it (Agens,Fahrzeug)).

Tabelle F.1: Diese Tabelle enthält in der vierten Spalte die logischen Ausdrücke, welche zur Formulierung der in der dritten Spalte genannten englischsprachigen Aussagen verwendet wurden (Teil 1).

Fall	Deutschsprachige Sätze	Übersetzung in einfache englischsprachige Sätze	Übersetzung in eine begriffliche Beschreibung (Die Implementierung dieser logischen Ausdrücke wurde in Abschnitt 3.2.2 abgedruckt)
<p>Die zu beschreibende Fahrzeugmenge umfaßt zum betrachteten Zeitpunkt mehr als zwei Fahrzeuge. Gegenüber dem davor betrachteten Zeitpunkt hat sich die Anzahl der auf der Fahrspur befindlichen Fahrzeuge um eins erhöht.</p>	<p>Mit Agens wird zum betrachteten Zeitpunkt eine Fahrzeugschlange bezeichnet. Diese Fahrzeugschlange umfaßt 4 Fahrzeuge. Dazu gehören obj_1, obj_4, obj_5 und obj_10. Agens wurde zum zuvor betrachteten Zeitpunkt ebenfalls als Fahrzeugschlange bezeichnet. Dieser hat sich zum aktuell betrachteten Zeitpunkt das Fahrzeug obj_10 angeschlossen.</p>	<p>The identifier Agens refers to a vehicle queue. Agens comprises 4 vehicles. These are the vehicles obj_1, obj_4, obj_5, and obj_10. Previously, Agens has been denoted, too, as a vehicle queue. Currently obj_10 has joined it.</p>	<pre>deduce_term (Agens, Term), -1 ? deduce_term (Agens, Term_before), note(is_named(Agens, Term), divides_into (Agens, Anzahl), note(divides_into (Agens, Anzahl)), ausgeben(Agens), note(has_been_named_too (Agens, Term_before), joined_it (Agens, Fahrzeug), note(joined_it (Agens, Fahrzeug)))</pre>

Tabelle F.2: Diese Tabelle enthält in der vierten Spalte die logischen Ausdrücke, welche zur Formulierung der in der dritten Spalte genannten englischsprachigen Aussagen verwendet wurden (Teil 2).

Fall	Deutschsprachige Sätze	Übersetzung in einfache englischsprachige Sätze	Übersetzung in eine begriffliche Beschreibung (Die Implementierung dieser logischen Ausdrücke wurde in Abschnitt 3.2.2 abgedruckt)
<p>Die zu beschreibende Fahrzeugmenge umfaßt zum betrachteten Zeitpunkt mehr als zwei Fahrzeuge. Gegenüber dem davor betrachteten Zeitpunkt hat sich die Anzahl der auf der Fahrspur befindlichen Fahrzeuge nicht verändert bzw. hat sich um eins vermindert.</p>	<p>Mit Agens wird zum betrachteten Zeitpunkt eine Fahrzeugschlange bezeichnet. Diese Fahrzeugschlange umfaßt 6 Fahrzeuge. Dazu gehören obj_1, obj_4, obj_5, obj_10, obj_13 und obj_15.</p>	<p>(vgl. Tabelle F.2)</p>	<p>(vgl. Tabelle F.2)</p>
	<p>Mit Agens wird zum betrachteten Zeitpunkt eine Fahrzeugschlange bezeichnet. Diese Fahrzeugschlange umfaßt 5 Fahrzeuge. Dazu gehören obj_4, obj_5, obj_10, obj_13 und obj_15. Agens wurde zum zuvor betrachteten Zeitpunkt ebenfalls als Fahrzeugschlange bezeichnet. obj_1 hat zum aktuell betrachteten Zeitpunkt die Fahrspur verlassen und wird deshalb nicht mehr als zur Fahrzeugschlange gehörig betrachtet.</p>	<p>The identifier Agens refers to a vehicle queue. Agens comprises 5 vehicles. These are the vehicles obj_4, obj_5, obj_10, obj_13, and obj_15. Previously, Agens has been denoted, too, as a vehicle queue. Currently, obj_1 has left it.</p>	<p>deduce_term (Agens, Term),</p> <p>-1 ? deduce_term (Agens, Term_before),</p> <p>note(is_named(Agens, Term),</p> <p>divides_into (Agens, Anzahl),</p> <p>note(divides_into (Agens, Anzahl)),</p> <p>ausgeben(Agens),</p> <p>note(has_been_named_too (Agens, Term_before),</p> <p>left_it (Agens, Fahrzeug),</p> <p>note(left_it(Agens, Fahrzeug).</p>

Tabelle F.3: Diese Tabelle enthält in der vierten Spalte die logischen Ausdrücke, welche zur Formulierung der in der dritten Spalte genannten englischsprachigen Aussagen verwendet wurden (Teil 3).

Anhang G

Zeitplan

G.1 Geplanter Verlauf

Zeitraum	Teilaufgabe
22.06. - 06.07. (2 Wochen)	Einarbeitung in Problemstellung
06.07. - 27.07. (3 Wochen)	Vorstudie: Erweiterung von Angus um die Beschreibung von Stausituationen vor Kreuzungen
27.07. - 03.08. (1 Woche)	Erstellung des Situationsmodells (Struktur)
03.08. - 10.08. (1 Woche)	Zu jedem Zustand aus dem Situationsmodell Prädikate festlegen, durch die er bestimmt ist
10.08. - 24.08. (2 Wochen)	Implementierung der primitiv-begrifflichen Beschreibung
24.08. - 07.09. (2 Wochen)	Implementierung des Situationsgraphenbaumes und Test
07.09. - 28.09. (3 Wochen)	Entwurf von Konstruktionsregeln zur DRS-Erzeugung
28.09. - 12.10. (2 Wochen)	Texterzeugung aus der DRS
12.10. - 02.11. (3 Wochen)	Perspektivierung
02.11. - 23.11. (3 Wochen)	Implementierung
23.11. - 14.12. (3 Wochen)	Test + Revision
14.12. - 21.12. (1 Woche)	Abschluß und Abgabe der Arbeit

G.2 Tatsächlicher Verlauf

Zeitraum	Arbeitsschritt
22.06. - 06.07. (2 Wochen)	Einarbeitung in Problemstellung
06.07. - 27.07. (3 Wochen)	Vorstudie zu Stausituationen vor Kreuzungen
27.07. - 03.08. (1 Woche)	Grobentwurf der FMTHL-Ausdrücke zur Beschreibung von Fahrzeugschlangen.
03.08. - 10.08. (1 Woche)	Feinentwurf der auszuprägenden FMTHL-Ausdrücke
10.08. - 24.08. (2 Wochen)	Studium der rechnerinternen Repräsentation von Objekten mit veränderlichem Aussehen, Bericht zur Entwicklung der Fahrzeuganzahl auf einem Fahrbahnobjekt
24.08. - 07.09. (2 Wochen)	Implementierung von Logikausdrücken zum Erstellen von Fahrzeuglisten, Implementierung des Situationsgraphenbaums zum Aufzählen der Fahrzeuge einer Fahrzeugschlange
07.09. - 28.09. (3 Wochen)	Implementierung der Aggregation (Zusammenfassung) von Fahrbahnobjekten zu einer Fahrspur
28.09. - 12.10. (2 Wochen)	Implementierung primitiver Schemata zur Ausprägung der Begriffe Fahrzeugschlange, Fahrzeugpaar und einzelnes Fahrzeug
12. 10. - 02.11. (3 Wochen)	Test der implementierten primitiven Schemata für die Begriffe Fahrzeugschlange, Fahrzeugpaar und einzelnes Fahrzeug. Vorbereitungen zur Systemintegration der natürlichsprachlichen Beschreibungen zu Fahrzeugmengen.
02.11. - 23.11. (3 Wochen)	Entwurf und Implementierung von Konstruktionsregeln zur DRS-Erzeugung. .
23.11. - 14.12. (3 Wochen)	Erweiterung des <code>Textgenerators</code> um die Formulierung von Sätzen, welche Präpositionalphrasen enthalten. Demonstration der Belastbarkeit der vorgestellten Auswertungs- und Transformationsschritte durch Visualisierung des formulierten natürlichsprachlichen Textes (vgl. Abschnitt 4.1.3).
14.12. - 21.12. (1 Woche)	Abschluß und Abgabe der Arbeit

Literaturverzeichnis

- [Arens & Ottlik 00] M. Arens, A. Ottlik: *Automatische Analyse natürlichsprachlicher Texte zur Generierung von synthetischen Bildfolgen*. Studienarbeit, Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Mai 2000.
- [Bratko 87] Ivan Bratko: *Prolog*. Addison Wesley Publishing Company, 1987.
- [Buxton & Mukerjee 98] H. Buxton and A. Mukerjee: *Proc. ICCV-98 Workshop on Conceptual Descriptions of Images (CDI-98)*. Indian Institute of Technology, Bombay, Januar 1998.
- [Fautz 96] M. Fautz: *Automatisiertes Anpassen eines Kreuzungsmodells an Teile von innerstädtischen Straßenkreuzungen*. Diplomarbeit, Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), April 1996.
- [Fernyhough et al. 98] J. Fernyhough, A. G. Cohn, and D. C. Hogg: *Event Recognition Using Qualitative Reasoning on Automatically Generated Spatio-Temporal Models from Visual Input*. *Image and Vision Computing* **18**:2 (2000) 81-103 (siehe auch [Buxton & Mukerjee 98], pp. 39-47).
- [Früauf 94] T. Früauf: *Berechnung begrifflicher Beschreibungen für Ansammlungen von Fahrzeugen durch Bildfolgenauswertung*. Studienarbeit, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Dezember 1994.
- [Gerber 00] R. Gerber: *Natürlichsprachliche Beschreibung von Straßenverkehrsszenen durch Bildfolgenauswertung*. Dissertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Januar 2000; <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/psview?document=2000/informatik/8>
- [Gerber 01] R. Gerber: *Deklarative, lenkwinkelbasierte Berechnung von Attributen und Geschehen*. Interner Bericht, Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultät für Informatik der

- Universität Karlsruhe (TH), August 2001.
- [Haag 98] M. Haag: *Bildfolgenauswertung zur Erkennung der Absichten von Straßenverkehrsteilnehmern*. Dissertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Juli 1998; DISKI **193**; Sankt Augustin: Infix, 1998.
- [Haag & Nagel 98a] M. Haag and H.-H. Nagel : *Tracking of Complex Driving Manoeuvres in Traffic Image Sequences*. Image and Vision Computing **16**:8 (1998) 517-527.
- [Haag & Nagel 98b] M. Haag and H.-H. Nagel : *Incremental Recognition of Traffic Situations from Video Image Sequences*. Image and Vision Computing **18**:2 (1998) 137-153 (siehe auch [Buxton & Mukerjee 98], pp. 1-20).
- [Haag & Nagel 99] M. Haag and H.-H. Nagel : *Combination of Edge Element and Optical Flow Estimates for 3D-Model-Based Vehicle Tracking in Traffic Image Sequences*. International Journal of Computer Vision **35**:3 (1999) 295-319.
- [Heinze et al. 91] N. Heinze, W. Krüger und H.-H. Nagel: *Berechnung von Bewegungsverbren zur Beschreibung von aus Bildfolgen gewonnenen Fahrzeugtrajektorien in Straßenverkehrsszenen*. Informatik Forschung und Entwicklung **6** (1991) 51-61.
- [Howarth & Buxton 98] R. J. Howarth and H. Buxton : *Conceptual Descriptions from Monitoring and Watching Image Sequences*. Image and Vision Computing **18**:2 (2000) 105-135 (siehe auch [Buxton & Mukerjee 98], pp. 21-38).
- [Kamp & Reyle 93] H. Kamp and U. Reyle: *From Discourse to Logic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston/MA, London 1993.
- [Koller 92] D. Koller: *Detektion, Verfolgung und Klassifikation bewegter Objekte in monokularen Bildfolgen am Beispiel von Straßenverkehrsszenen*. Dissertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Juni 1992; DISKI **13**; Sankt Augustin: Infix, 1992.
- [Kollnig & Nagel 93] H. Kollnig und H.-H. Nagel: *Ermittlung von begrifflichen Beschreibungen von Geschehen in Straßenverkehrsszenen mit Hilfe unscharfer Mengen*. Informatik Forschung und Entwicklung **8** (1993) 186-196.
- [Kollnig 95] H. Kollnig: *Ermittlung von Verkehrsgeschehen durch Bildfolgenauswertung*. Dissertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Februar 1995; DISKI **88**; Sankt Augustin: Infix, 1995.
- [Leuck 00] H. Leuck: *Untersuchungen zu einer systematischen Leistungssteigerung in der modellbasierten Bildfolgenauswertung*. Dis-

- sertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Juli 2000. Erschienen im Shaker Verlag, Aachen, 2001.
- [McRoy et al. 01] S. W. McRoy, S. Channarukui, and S. S. Ali: *Creating Natural Language Output for Real-Time Applications*. *Intelligence* **12:2** (2001) 21-34.
- [Mück 94] K. Mück: *Entwurf und Anpassung begrifflicher und geometrischer Modelle an Bildfolgen von innerstädtischen Straßenkreuzungen*. Diplomarbeit, Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), November 1994.
- [Nagel 88] H.-H. Nagel: *From Image Sequences towards Conceptual Descriptions*. *Image and Vision Computing* **6:2** (1988) 59-74.
- [Nagel 91] H.-H. Nagel: *Materialien zur Vorlesung im Sommersemester 90/91*. Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), 1991.
- [Nagel 93] H.-H. Nagel: *Digitisierung und Klassifikation von Signalen, Ausarbeitung einer Vorlesung*. Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), 1993.
- [Nagel 01] H.-H. Nagel: *Towards a Cognitive Vision System*. Interner Bericht, Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Stand September 2001, [online] <http://kogs.iaks.uni-karlsruhe.de/CogViSys>
- [Schäfer 96] K. H. Schäfer: *Unschärfe zeitlogische Modellierung von Situationen und Handlungen in Bildfolgenauswertung und Robotik*. Dissertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Juli 1996; DISKI **135**; Sankt Augustin: Infix, 1996.
- [Theilmann 97] W. Theilmann: *Bildfolgenbasierte Beschreibung von Fahrzeugmanövern mit Hilfe unscharfer metrisch temporaler Logik*. Diplomarbeit, Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), März 1997.
- [Yahia et al. 98] H. M. Yahia, J.-P. Berroir, and G. Mazars: *Deriving High Level Information in Meteorological Image Sequences With Implicit Functions Controlled by Particle Systems*. In Proc. ICCV-98 Workshop on Conceptual Descriptions of Images (CDI-98), Indian Institute of Technology, Bombay/India, Januar 1998, 49-61.