Abschließender Arbeitsbericht zu den DFG-Forschungsvorhaben „Objektorientierte Informationssysteme“ (Sa 465/1–1 u. 2) sowie „Implementierung von Informationssystemen“ (Sa 465/1–3)

Prof. Dr. Gunter Saake, Univ. Magdeburg
Prof. Dr. H.-D. Ehrich, Technische Univ. Braunschweig

Berichtszeitraum: April 1991 bis März 1995

September 1995

Über die erfolgten Arbeiten wird nachstehend unter folgenden Punkten berichtet:

1. Personelle Entwicklung
2. Das Projekt und seine Ergebnisse
3. Veröffentlichungen
4. Vorträge
5. Studentische Arbeiten
6. Schlußbemerkungen

1 Personelle Entwicklung

Das Projekt Sa 465/1–1 wurde 1990 im freien Verfahren mit einer Mitarbeiterstelle genehmigt. Dies erfolgte mit der Maßgabe der Gutachter, einen Zusatzantrag im Schwerpunktprogramm „Objektbanken für Experten“ zu stellen, worin die Anfangsförderung des Projekts Sa 465/1-1 integriert wäre. Aufgrund dieses Zusatzantrages wurden dann zwei Mitarbeiterstellen (ab April 1991 bis März 1993, dann verlängert bis März 1995) bewilligt.

Neben den Antragstellern waren im Berichtszeitraum Herr Ralf Jungclaus (April 1991 – Dezember 1993), Herr Thorsten Hartmann (April 1991 bis Februar 1995) und Herr Jan Kusch (Januar 1994 bis März 1995) an dem Projekt beteiligt. Durch die Berufung von Herrn Dr. Gunter Saake (Erstantragsteller) an die Universität Magdeburg zum 1. April 1994 wurde das Projekt inkl. der Stellen von Herrn Hartmann und Herrn Kusch mit Wirkung vom 1.8.1994 an die Universität Magdeburg verlegt und auch dort zum 31.3.1995 abgeschlossen.

Als studentische Hilfskräfte haben im Berichtszeitraum die Damen und Herren (in alphabetischer Reihenfolge) E. Becker, L. Bunge, S. Eckstein, T. Hartmann, B. Heß, S. Janßen, A. Koschel, J. Kusch, D. Lässig, W. Porscha, M. Probst, A. Stein, R. Stöcker, T. Scholz, U. Scholz und U. Thürmann an konzeptionellen Arbeiten und an der Implementierung von Teilkomponenten mitgearbeitet. Die dabei erlangten Ergebnisse wurden zum Teil in Studien- und Diplomarbeiten dokumentiert bzw. in anderen Veröffentlichungen der Arbeitsgruppe präsentiert (siehe Abschnitte 3, 5.1 und 5.2).

2 Das Projekt und seine Ergebnisse

2.1 Projektumfeld

Beim Entwurf von Informationssystemen wurde lange Zeit der *statische* Aspekt der Datenmodellierung in den Vordergrund gestellt. Es wurde jedoch schon relativ früh deutlich, daß die Betrachtung der *Entwicklung* von Inhalten eines Informationssystems – seine *Dynamik* – gleichrangig behandelt werden muß. Für den statischen wie dynamischen Bereich der Modellierung existieren konzeptionell sehr unterschiedliche Methoden und Sprachen. Exemplarisch seien hier ER- oder NIAM-Diagramme zur Strukturmodellierung, sowie Prozeßspezifikationssprachen wie CSP, CCS, Diagrammverfahren wie State-Charts oder auch Petri-Netze zur Verhaltensbeschreibung genannt.

Werden unterschiedliche Mechanismen dieser Art zum Entwurf von verschiedenen Aspekten von Informationssystemen verwendet so stellt sich heraus, daß ihre mangelnde formale Integration – keine einheitliche mathematische Beschreibung – den weiteren Systemerstellungsprozeß mehr behindert als unterstützt. Eine durchgängige (weitgehend automatisierte) Transformation, die von abstrakten Dokumenten der frühen Entwurfsphasen zu implementierungsnahen Formalismen führt, ist kaum erreichbar. Von den Antragstellern wurden daher im Vorfeld des Berichtszeitraumes Grundlagenforschungsarbeiten durchgeführt, die eine integrierte Sichtweise der Struktur- und Verhaltensbeschreibung von Entwurfsdokumenten zum Ziel hatte.

In diesen Arbeiten wurde ein prozeßorientiertes Objektmodell entwickelt, das einerseits die zeitliche dynamische *Entwicklung* von Objekten darzustellen gestattet, andererseits jedoch auch eine Verbindung zur Modellierung von Objekt*strukturen* im Sinne von abstrakten Datenmodellen schafft. Dazu wurden Erkenntnisse u. a. aus den Bereichen *Temporale Logik*, *Abstrakte Datentypen*, *Prozeßspezifikation* und der *Datenmodellierung* in einem geeigneten Rahmen integriert und mit mathematischen Modellen auf *kategorientheoretischer* Basis formal fundiert. Für die Anwendbarkeit dieser Ergebnisse waren nun benutzergerechte Sprachen und zugehörige Werkzeuge zu entwickeln, die die Erstellung von Entwurfsspezifikationen für Informationssysteme unterstützen.

2.2 Projektziele und Ergebnisse

Die Ziele des Projektes können in den folgenden Punkten zusammengefaßt werden. Im einzelnen wurde

- die Entwicklung eines Spezifikationsformalismus zur konzeptionellen Modellierung von Informationssystemen,
- die Untersuchung dieses Formalismus und seine Eignung für die verschiedenen Aspekte des Entwurfsprozesses,
- die Implementierung eines Prototypen einer Entwicklungsumgebung und
- die Erarbeitung von Ansätzen, eine Sprache mit hohem Abstraktionsgrad in ablauffähige Prototypen von Informationssystemen zu übersetzen

verfolgt. Damit sollte, um den Entwurfsprozeß von Informationssystemen transparent zu gestalten, eine frühzeitige Einbeziehung des Anwenders ermöglicht werden. Wir werden zunächst zusammenfassend Ergebnisse und Entwicklungen des Projektes darstellen und dann anhand der Veröffentlichungen und durchgeführten Diplom- und Studienarbeiten spezielle Aspekte näher darlegen. Eine detailliertere Darstellung des ersten Projektabschnittes (bis Mitte 1992) findet sich im Zwischenbericht vom Juli 1992.

Auf der Basis der erwähnten Grundlagenarbeiten (siehe z. B. [Saa91a, Saa91b, ES91]) wurden zunächst verschiedene Entwicklungen einer Sprache untersucht, die im Projektverlauf den Namen TROLL erhielt. Das verfolgte Grundkonzept ist die Integration der Beschreibung der Strukur mit der Beschreibung der Dynamik von Objekten der zu modellierenden Anwendungswelt. Die Objektstruktur wird durch Attribute im Sinne von Datenmodellen modelliert, die beobachtbare Eigenschaften beschreiben. Die Objektdynamik wird durch Prozesse als Mengen möglicher Sequenzen von abstrakten Ereignissen modelliert, die durch verschiedene Techniken wie temporaler Logik oder expliziter Prozeßbeschreibungen spezifiziert werden.

Für die detailgenaue aber trotzdem handhabbare Modellierung von Realweltszenarien ist hohe Abstraktionsfähigkeit einer Modellierungssprache eine notwendige Anforderung. In einem Ansatz, der die Objektdynamik als einen zentralen Modellierungsaspekt ansieht, muß auch die zeitliche Objektentwicklung wie z. B. die Klassenzugehörigkeit hinreichend klar formulierbar sein. TROLL unterstützt die Strukturierung einer abstrakten Spezifikation in *Objekte*, *Objektklassen* und *zusammengesetzte Objekte* und erlaubt weiterhin die *Spezialisierung* von Objekten resp. Klassen. Ein spezielles Sprachkonzept in diesem Zusammenhang ist das *Rollenkonzept*, das die Beschreibung nur temporär gültiger Aspekte von Objekten erlaubt. Die kommunikative Zusammensetzung von Objekten wird durch *Relationships* zur Spezifikation von Kommunikationsbeziehungen und Integritätsbedingungen für separat spezifizierte Objekte unterstützt. Eine weitere Einkapselung von Objekten wird durch *Sichten* auf Objekte und Klassen modelliert, die explizit sichtbare Objekteigenschaften und Klassenpopulationen beschreiben. Die Sprache TROLL wurde in ihrer letzten im Projekt erstellten Version außerdem im Hinblick auf einen modularen Aufbau entworfen. Dieser modulare Aufbau unterstützt die Erlernbarkeit und fördert damit auch die Verständlichkeit von Dokumenten.

Die Komplexität von Entwurfsdokumenten mit integrierter Struktur- und Verhaltensbeschreibung macht schon bei relativ kleinen Problemstellungen den Einsatz von Werkzeugen unumgänglich. In der letzten Projektphase wurde daher die Erstellung einer prototypischen Entwicklungsumgebung vorangetrieben, die neben syntaxgesteuerten Eingabekomponenten auch die graphische Darstellung von Spezifikationen (Eingabe und Ansicht), die Einbindung von Konsistenszanalysewerkzeugen und ein datenbankorientiertes Repository unterstützt.

2.3 Detaillierte Arbeitsberichte

In den folgenden Unterabschnitten werden die Ergebnisse des Projektes nach Themen und Arbeitsschwerpunkten geordnet und anhand der Veröffentlichungen, Diplom- und Studienarbeiten näher beschrieben.

2.3.1 Sprachentwicklung

Artikel: [SJ91, JHSS91, JSH91, SJ92a, HSJ+94, HKSH94, HHKS94, SH94, JSHS95]
Diplomarbeiten: [Ort94, Ben94, Dix94]
Studienarbeiten: [GB93, Fis95, Mue95]

Als eine der wesentlichen Eckpunkte des Projektes ist die Entwicklung von Sprachen zur konzeptionellen Modellierung von Informationssystemen anzusehen. In [SJ91] wurde die Sprache **Oblog+** vorgeschlagen, die auf den Grundlagenarbeiten zur objektorientierten Spezifikation basiert [ES91]. Aufbauend auf diesen ersten Sprachvorschlägen wurde ein detaillierter Sprachbericht erstellt [JHSS91], der ebenso die grundlegenden Ideen aus den Bereichen *Algebraische Spezifikation*, *Prozeßspezifikation*, *Semantische Datenmodelle*, *Temporale Logik*, *Objektorientierter Entwurf* erläutert und deren Integration in einer Spezifikationssprache motiviert. Ein Zeitschriftenbeitrag erscheint demnächst [JSHS95]. In [JSH91, SJ92a] wurde die Sprache außerdem im Rahmen einer Modellierungs- und einer Datenbankkonferenz diskutiert.

Bei der Untersuchung von speziellen Aspekten der Sprache (z. B. in [Har92, Har93, HJS92]), auf die wir in den nächsten Punkten noch näher eingehen werden, sowie in der Studienarbeit [GB93] und den Diplomarbeiten [Ort94, Ben94, Dix94] wurden eine Reihe von Fallstudien durchgeführt, um die Tragfähigkeit des Ansatzes zu bewerten. Besonders in den Studien und Diplomarbeiten trat die Komplexität des (Sprach-)Ansatzes negativ hervor, so daß eine lange Einarbeitungszeit und eine sehr intensive Betreuung notwendig waren. Die erste Sprachversion [JSHS91] war zudem noch sehr eng an die semantischen Grundlagenarbeiten angelehnt. Für den zweiten Projektabschnitt wurde daher eine überarbeitete Version der Sprache angegeben und in [HSJ+94] dokumentiert sowie auch mit einem breiteren Kreis in einem EU-Parallelprojekt [HKSH94], einem Workshop [HHKS94] und einer Konferenz [SH94] diskutiert. Jüngere Studienarbeiten haben eine einfachere Erlernbarkeit und bessere Integration der unterschiedlichen Aspekte der Sprache attestiert [Fis95, Mue95].

2.3.2 Spezielle Sprachaspekte

Artikel: [SJ90, SJ92b, HJS92, JHS93, SHJ93, SJH93b, SJH93a, HJ94]
Diplomarbeiten: [Li92, Sch92a, Hux93, Ahl94]

Für eine Sprache, die in unterschiedlichen Phasen des Informationssystementwurfes eingesetzt werden soll, ist die Integration einer breiten Palette von Entwurfsaspekten wie Sichten, Anfragen, Kommunikationsbeziehungen, Ausnahmebehandlungen etc. notwendig. Parallel zur grundlegenden Sprachentwicklung wurden daher in ausgewählten Fallstudien verschiedene Entwurfsaspekte einer detaillierten Betrachtung unterworfen.

Objektorientierte Sprachen (besonders Programmiersprachen) beschränken sich in ihren Ausdrucksmitteln für die Kommunikation verschiedener Systemteile häufig auf zusammengesetzte Objekte bzw. Assoziationen. Obwohl zusammengesetzte Objekte ein wesentlicher Bestandteil von mit TROLL spezifizierten Objektgesellschaften sind [HJS92], ist dieser Mechanismus nicht adäquat zur Spezifikation von umfangreichen Systemen einsetzbar. Es wurde daher in [JHS93] das Sprachkonstrukt *Relationship* als expliziter Kommunikationskanal zwischen Systemteilen diskutiert. Auf diese Weise werden *eng kooperierende* Systemteile (assoziierte respektive aggregierte Objekte) explizit von *lose gekoppelten* Systemteilen unterschieden und so eine bessere Dokumentation von Entwürfen erreicht.

In [Ort94] (s. o.) werden in diesem Zusammenhang auch *Views* bzw. *Interfaces* behandelt [SJ92b], die verschiedene Systemteile geeignet kapseln, um *Relationships* zur Kopplung dieser *Views* zu nutzen. Auf diese Weise dokumentiert die Modellierung eine Systemstruktur, die in späteren Implementierungsphasen Anhaltspunkte für das interne Systemdesign liefert [Ort94]. Davon zu unterscheiden — aber thematisch eng verwandt — sind die späteren Benutzerschnittstellen eines Systems, die sich ebenfalls aus der Struktur des Modellierung mit *Views* und *Relationships* herleiten lassen [SHJ93]. Daß eine Modellierung der Benutzerschnittstellenfunktionalität mit TROLL weitere Vorteile besitzt, wird ebenso in [Saa93] sowie in [SHJ93] gezeigt. Hier wird explizit die Mächtigkeit der Ausdrucksmittel für das dynamische Verhalten von Objekten genutzt, was speziell für die Modellierung des aktiven Benutzerverhaltens Vorteile aufweist.

Da Informationssysteme nicht grundsätzlich neu entstehen, sondern oft auf Funktionalitäten von älteren Systemen aufbauen müssen, ist die Integration von existierenden und neuen Komponenten eine fundamentale Anforderung beim Entwurf. Erste Ansätze dazu wurden in [SJH93a] erarbeitet und in [SJH93b] genauer betrachtet. Vorgeschlagen wurde in [SJH93b] eine Art Phasenmodell des Entwurfes interoperabler Anwendungen unter Nutzung der Vorteile einer formalen Entwurfssprache.

In Diplomarbeiten wurden weitere Aspekte der objektorientierten Modellierung näher untersucht, die aber nicht alle im Rahmen des Projektes direkt in die Sprache TROLL intergriert wurden. [Li92] untersucht Fragen einer Anfragesprache (siehe auch [JSS91b] und [SJS91]), die abgewandelt in [Hux93] zur operationalen Anfrageauswertung herangezogen wird. Erweiterungen werden in [Kus94] diskutiert. [Sch92a] untersucht die Ausnahmebehandlung in Informationssystemen. In [Ahl94] werden Sicherheitsaspekte wie die Zugriffskontrolle und deren Simulation bzw. deren Integration in die Sprache diskutiert. In der Arbeit [Ahl94] sind darüberhinaus umfangreiche Fallstudien dokumentiert, die Anhaltspunkte für die Validierung der Sprachüberarbeitung gegeben haben (s. o.). In [HJ94] wurden Erweiterungen für den Bereich des *Business Process Modelling* vorgestellt, die die Prozeßmodellierungsformalismen von TROLL nutzen.

2.3.3 Operationalisierung von Sprachanteilen

Artikel: [Har91, HJ92, Har93, HS93, Har94, Kus94]
Diplomarbeiten: [Har91, Sch94, Lan95, Woy95]

Schon am Anfang des Projektes wurden Arbeiten durchgeführt, um Teile der Sprache für ein frühes Prototyping von Spezifikationen ausführbar zu machen. In der Diplomarbeit [Har91] wurde die Übersetzung in SmallTalk-80, in einer Studienarbeit [LZ92] die Übersetzung in C++ an Beispielen untersucht. Es wurde schnell klar, daß nur eine partielle Implementierung der Sprache in annehmbarer Zeit mit der zur Verfügung stehenden Arbeitskraft sowie prinzipiell möglich war. In [HJ92] wurden daher erste Ideen erarbeitet, die eine Kernarchitektur für die Sprache nahelegten. Konzeptionell sollten über dieser Kernarchitektur weitergehende Sprachkonzepte implementiert werden [Har91].

Der auf einem hohen Abstraktionsgrad arbeitende Kommunikationsmechanismus der Sprache TROLL— Kommunikation ist als synchroner, gerichteter Aktionsaufruf formuliert — machte jedoch den Entwurf eines geeigneten *Ausführungsmodells* notwendig. Die Forderung der Synchronität von Kommunikationsvorgängen ist eine auf konzeptioneller Ebene sinnvolle Eigenschaft, da damit von Systemdetails abstrahiert wird. Die Eigenschaft von konzeptionell synchronen Kommunikationsereignissen, „korrekt oder gar nicht“ einzutreten, erleichtert es, Ausagen über spezifizierte Modelle zu machen. Eine Implementierung erfordert jedoch einen Transaktionsschutz. Da die Implementierung auf verteilten Architekturen erfolgen sollte, stellte sich die Realisierung dieser Eigenschaft des Kommunikationsmodells als extrem komplexe Aufgabe dar, die nur partiell gelöst werden konnte (s. u.).

Als weitere Schwierigkeit stellte sich die Spezifikation von Kommunikationsvorgängen (Aufrufspezifikationen) mit allgemeinen prädikatenlogischen Bedingungen dar. Zusammen mit der konzeptionell gleichzeitigen (synchronen) Ausführung von Aktionen waren eine Reihe von Konfliktpotentialen zu betrachten. Um die Grundlagen eines solchen Modells aufzuarbeiten wurden zunächst diese möglichen Konfliktarten des Kommunikationsmodells klassifiziert [HS93] und in verschiedenen Workshops diskutiert [Har93, Har94]. In einer nachfolgenden Arbeit wurden auf dieser Basis verschiedene Analysemöglichkeiten für spezifizierte Kommunikationsvorgänge untersucht und partielle Analysealgorithmen in Prolog angegeben. Die nicht statisch erkennbaren Konflikte wurden herausgearbeitet und für Laufzeittests vorgeschlagen (allgemeine Attributänderungskonflikte) [Woy95]. Eine einfache Version des Kommunikationsmodells wurde schon parallel zu dieser Arbeit implementiert. Hier stand jedoch die Nutzung von verteilten Architekturen im Vordergrund der Betrachtung [Sch94]. Da in der Arbeit [Sch94] ein universitäres Projekt (Arjuna) mit nur rudimentärer Datenbankfunktionalität genutzt wurde, wurden in [Lan95] Datenhaltungskomponenten (Storage Manager) untersucht.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß eine Implementierung des vorgeschlagenen Modells unter Nutzung von Standardarchitekturen für die Datenhaltung und die Kommunikationsprimitive mit derzeitiger Technologie nicht effizient durchgeführt werden kann, da besonders die Kommunikationsplattformen von einer anderen Granularität der Klienten und Serviceanbieter ausgehen. Die Kommunikation von relativ kleinen Datenbankobjekten unter Nutzung dieser Architekturen erscheint nicht effizient implementierbar. Diese Vermutung war schon mit der Arbeit [LW94] zu erkennen. Erst die Nutzung von speziellen Datenhaltungskonzepten (siehe [Lan95]) zusammen mit Standard RPC Mechanismen verspricht einen gewissen Erfolg, ist jedoch mit extremem Aufwand für die Codeerzeugung verbunden.

Bemerkung: Eine verwandte Sprache wird seit 1991 kommerziell implementiert (OBLOG, OBLOG SOFTWARE, Lissabon). Trotz eines Verzichtes auf Verteilung mußte dort ein wesentlich einfacheres Kommunikationmodell verwendet werden, um überhaupt zu einer handhabbaren Codeerzeugung zu gelangen. Wesentlich in diesem praktischen Ansatz ist die graphische Entwurfsunterstützung, die eine komfortable Dokumentenerstellung möglich macht und die Produktivität der Softwareerstellung erhöht.

2.3.4 Überwachung von Temporallogikspezifikationen

Artikel: [SS93, SHS93, SHS94]
Diplomarbeiten: [Sch92c, Sch92b, Hüs95]

Als ein spezieller Aspekt der Operationalisierung von Sprachanteilen wurde die Überwachung von Temporallogikspezifikationen behandelt. TROLL bietet die Einschränkung von Objektlebensläufen durch temporallogische Bedingungen an. Diese beziehen sich auf die vergangene Objektentwicklung. Auf konzeptioneller Ebene wird damit eine deklarative Beschreibung für Objektprozesse angegeben. Soll eine solche Spezifikation im Rahmen eines Validationswerkzeuges prototypisch ausgeführt werden, so sind mit jeder auszuführenden Aktion die entsprechenden temporalen Eintrittsbedingungen auf ihre Gültigkeit im gegenwärtigen Objektlebenslauf zu überprüfen. In den Arbeiten [Sch92c, Sch92b] wurden spezielle Aspekte zur Umformung von temporallogischen Formeln in Transitionsgraphen erarbeitet, die auch in einem Workshop [SS93] diskutiert wurden. Eine Integration dieser Verfahren in die Sprache TROLL wurde in [SHS93, SHS94] dokumentiert. In diesen Arbeiten wurden Modellierungen der Monitoralgorithmen in TROLL selbst angegeben. Einschränkungen der auf diese Weise überprüfbaren temporalen Formeln wurden in [Hüs95] noch näher untersucht. Die letztgenannte Arbeit gibt für die Klasse der überwachbaren Formeln schematisch Übersetzungen in TROLL Spezifikationen an, die auf [SHS94] basieren.

2.3.5 Entwicklungsumgebung

Artikel: [Har92, HJS93a, WJH+93, JWH+94, KHHS95b, KHHS95a]
Diplomarbeiten: [Ste92, Kus93, Stö93, Alm94, Emb94, Kle94]
Studienarbeiten: [BP94, Mer94, Läs95]

Für die erste Version der Sprache TROLL wurden in den Arbeiten [Ste92, Stö93] Parser, Analysewerkzeuge und Datenstrukturen zur Ablage von Spezifikationstexten erarbeitet. Geplant war derzeit eine strukturierte Speicherung von Dokumenten in Graphen bzw. mit Hilfe eines Graphenspeichermoduls. Die parallel dazu laufende Arbeit [Fal92] hatte Mechanismen zur Graphmanipulation untersucht, die für eine Übersetzung von abstrakten in konkrete, ausführbare Spezifikationen genutzt werden sollte. Mit [Har92] wurde die Alternative der Modellierung von Transformationen in TROLL selbst dargestellt und damit auch eine komplexe Fallstudie betrieben. Verschiedene weitere Fallstudien haben im Verlauf des Projektes gezeigt, daß der bisher verfolgte (Sprach)Ansatz noch nicht tragfähig für die Implementierung einer Spezifikationsentwicklungsumgebung war. Außerdem konnte der Graphenspeichermodul nicht verwendet werden, da er nicht frühzeitig genug auf eine neue lokal verwendete Betriebssystemplattform portiert wurde (externes, universitäres Projekt). Es wurde daher in der ersten Projektphase mit Priorität nur eine prototypische Ausführungsumgebung für TROLL entwickelt, die im Rahmen einer Demonstration beim Abschlußkolloquium des Schwerpunktprogrammes auch erfolgreich vorgeführt wurde. In [HJSE92] wurde das Projekt insgesamt dargestellt, [Kus93] beschreibt die Komponenten dieser Testumgebung, die eine verteilte Ausführung von Objektmodellierungen, jedoch keine automatische Erzeugung von Anwendungen erlaubte. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden ebenfalls in [HJS93a] dokumentiert.

In der zweiten Projektphase wurde unter anderem auch wieder verstärkt an graphischen Repräsentationen für TROLL Spezifikationen gearbeitet. In der Diplomarbeit [Zei93] wurden zunächst allgemeine graphische Formalismen für objektorientierte Ansätze analysiert. Da die Methode OMT von Rumbaugh relativ gut mit vielen TROLL Ideen übereinstimmt, wurde eine ähnliche graphische Syntax für TROLL Dokumente vorgeschlagen. Dabei wurden zwei Stoßrichtungen verfolgt: zum ersten sollten informell definierte OMT-Konstrukte durch die Abbildung auf TROLL formal fundiert werden, zum zweiten wurde eine Syntax für ein Eingabewerkzeug einer TROLL Entwicklungsumgebung definiert [WJH+93, JWH+94] (s. u.).

In einer abschließenden Projektphase wurde ein wesentlicher Teil der projektierten Entwicklungsumgebung TBENCH implementiert [KHHS95b, KHHS95a]. Kernstück dieser Entwicklungsumgebung ist ein auf relationaler Datenbanktechnologie aufbauendes *Repository* für Spezifikationsdokumente [BP94]. Aufsetzend auf diesem Repository wurden verschiedene Werkzeuge zur graphischen [Alm94] sowie syntaxgestützten Eingabe von Spezifikationstexten [Emb94] sowie ein einfaches Konsistenzanalysetool [Mer94] implementiert. Die offene Struktur der Umgebung ermöglicht eine einfache Integration weiterer Werkzeuge, die über eine Integrationsschnittstelle eingebunden werden [Kle94]. Die Nutzung der Sprache TROLL zur Werkzeugintegration und Konfiguration der TBENCH trägt zu deren einfacher Handhabung bei. So ist z. B. die Steuerungs- und Prozeßintegration mit TROLL spezifiziert worden [KHHS95a].

2.3.6 Weitere Grundlagenarbeiten

Artikel: [ES91, JSS91a, ESS92, SHJ+94, ESSS94, DE95]

Die in diesem und den beiden folgenden Abschnitten aufgeführten Arbeiten sind nicht direkt den Hauptarbeitsgebieten des Projektes zuzuorden, haben jedoch in verschiedener Weise die Sprachentwicklung beeinflußt.

Arbeiten zur Semantik von objektorientierten Spezifikationen wurden in [ES91, ESS92] vorgelegt. Es wurden Begriffe wie *Klasse* und *Objekt* präzisiert und eine Gegenüberstellung von *Vererbung* und *Interaktion* in einem kategorientheoretischen Rahmen angegeben. Unter anderem auf diesen frühen Arbeiten aufbauend wurde in [JSS91a] ein Sprachvorschlag gegeben, der in [JSHS91] detaillierter ausgearbeitet wurde (s. o.).

Die jüngere Arbeit [SHJ+94] behandelt den Aspekt der Vererbung aus der Sicht von Objektlebensläufen. Hier wurden explizit Bedingungen für Vererbungsbeziehungen angegeben, wie sie zusammengefaßt in [ESS92] dargestellt wurden. Darauf aufbauend werden Beziehungen zu Lebenszyklusdiagrammen (Graphen ähnlich *state charts*) dargestellt und Manipulationsoperatoren für Graphen angegeben, die *Vererbungsbedingungen* erhalten. Die Arbeit [SHJ+94] kann als Grundlage für eine Erweiterung für die Entwicklungsumgebung TBENCH angesehen werden, die jedoch während des Projektes nicht mehr in Angriff genommen wurde.

Auf dem Gebiet der Semantik von Objektspezifikationen wurde mit [ESSS94] eine verteilte Temporallogik für nebenläufige Objekte erarbeitet, die als Grundlage und Erweiterung für Spezifikationssprachen wie TROLL dienen kann. Die hier verfolgte Idee besteht in einer lokal sequentiellen temporalen Objektlogik, die keine Nebenläufigkeit betrachtet. Objektbeziehungen werden damit nur über Interaktionen beschrieben, wobei die so spezifizierten Modelle (Ereignisstrukturen) echt nebenläufig sein können. Basierend auf diesen Arbeiten wird in [DE95] die Verfeinerung von Objektaktionen (Ereignissen) behandelt, die langfristig einen werkzeuggestützten Entwicklungsprozeß von abstrakten TROLL-Spezifikationen zu Implementierungen ermöglichen wird. Auf eine detaillierte Beschreibung soll hier verzichtet werden, da diese Arbeiten nur im Umfeld des DFG Projektes stattfanden.

2.3.7 Allgemeines

Artikel: [Saa91a, Saa91b, SJE92, SJ93, HJSE92, EJDS94, SHJE94, EJD93, SJ94]
Monographien: [Saa92, Saa93, Jun93]
Diplomarbeiten: [Thu91, Noe91, Tan93, Ade92]
Studienarbeiten: [Neu92, Web94]

Die Grundlagen und Ergebnisse des Projektes wurden in Arbeiten wie [Saa91a, Saa91b] sowie [SJE92, SJ93, Saa93, Jun93, EJDS94, SHJE94, HJS93b, SJ94] einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt oder auch in der Lehre eingeführt [Saa92]. Zu erwähnen ist hier auch der Abschlußbericht zum Schwerpunktprogramm Objektbanken für Experten [HJSE92].

In der Anfangsphase des Projektes wurden weitere Diplom und Studienarbeiten betreut, die die Aufarbeitung von Spezifikationsformalismen [Thu91, Noe91] zur Aufgabe hatten. In den späteren Phasen wurden dann einerseits Fallstudien [Ort94, Ben94, Dix94] (s. o.) und weitere Analysen zur Anwendbarkeit der entwickelten Ansätze durchgeführt [Tan93].

In [Ade92] wurden erweiterte Transaktionsmodelle auf ihre Eignung zur Realisierung objektorientierter Systeme näher untersucht, die Arbeiten [Neu92] und [Web94] betrachteten Implementierungsplattformen, die jedoch nicht im weiteren Verlauf des Projektes Verwendung finden konnten.

3 Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurde eine Reihe von Veröffentlichungen angefertigt, die jeweils speziellen Aspekten der theoretischen und praktischen Ergebnisse der Arbeitsgruppe dokumentieren und im letzten Abschnitt schon detailliert beschrieben wurden. Während zahlreicher Workshops und internationaler Konferenzen wurden diese Arbeiten einer breiten wissenschaftlichen Öffentlichkeit vorgestellt und auch ausgiebig diskutiert.

Besonders hervorzuheben sind die Publikationen in Fachzeitschriften: [SJH93b] (Anwendung der im Projekt erarbeiteten Sprache auf die Remodellierung von Datenbanken in heterogenen Umgebungen) und [SHS94] (Grundlagen der Überwachung von temporalen Objektspezifikationen). Mit [JSHS95] wird die grundlegende Bedeutung einer integrierten objektorientierten Vorgehensweise der konzeptionellen Modellierung von Informationsssystemen dargestellt.

Im einzelnen sind **19** Workshopbeiträge/Berichte, **28** Tagungsbeiträge, **6** Zeitschriftenbeiträge, ein Skriptum, eine Habilitation und eine Dissertation erschienen. Eine weitere Dissertation aus dem Umfeld des Projektes wurde kürzlich abgeschlossen [Har95]. Während des Projektes angefertigte Diplom- und Studienarbeiten werden in einen extra Abschnitt aufgeführt.

[CSSE92] Costa, J.-F.; Sernadas, A.; Sernadas, C.; Ehrich, H.-D.: Object Interaction. In: Havel, I.; Koubek, V. (Hrsg.): *Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS'92)*. Springer Verlag, 1992, S. 200–208.

[DE95] Denker, G.; Ehrich, H.-D.: Action Reification In Object Oriented Specification. In: Wieringa, R. (Hrsg.): *Proc. Intern. Workshop on Information Systems – Correctness and Reusability (IS-CORE'94), Amsterdam, Sept. 1994, Selected Papers*. World Scientific Publishers, 1995. *In Druck*.

[EGS92] Ehrich, H.-D.; Gogolla, M.; Sernadas, A.: Objects and their Specification. In: Bidoit, M.; Choppy, C. (Hrsg.): *Proc. 8th Workshop on Abstract Data Types (ADT'91)*. Springer, Berlin, LNCS 655, 1992, S. 40–65.

[EJD93] Ehrich, H.-D.; Jungclaus, R.; Denker, G.: Object Roles and Phases. In: Lipeck, U.W.; Koschorreck, G. (Hrsg.): *Proc. Intern. Workshop on Information Systems – Correctness and Reusability IS-CORE '93, Technical Report, University of Hannover No. 01/93*, 1993, S. 114–121.

[EJDS94] Ehrich, H.-D.; Jungclaus, R.; Denker, G.; Sernadas, A.: Object-Oriented Design of Information Systems: Theoretical Foundations. In: Paredaens, J.; Tenenbaum, L. (Hrsg.): *Advances in Database Systems, Implementations and Applications*. Springer Verlag, Wien, CISM Courses and Lectures no. 347, 1994, S. 201–218.

[ES91] Ehrich, H.-D.; Sernadas, A.: Fundamental Object Concepts and Constructions. In: Saake, G.; Sernadas, A. (Hrsg.): *Information Systems – Correctness and Reusability*. TU Braunschweig, Informatik Bericht 91-03, 1991, S. 1–24.

[ESS92] Ehrich, H.-D.; Saake, G.; Sernadas, A.: Concepts of Object-Orientation. In: *Proc. of the 2nd Workshop of "Informationssysteme und Künstliche Intelligenz: Modellierung", Ulm (Germany)*. Springer IFB 303, 1992, S. 1–19.

[ESSS94] Ehrich, H.-D.; Sernadas, A.; Saake, G.; Sernadas, C.: Distributed Temporal Logic for Concurrent Object Families. In: Wieringa, R.; Feenstra, R. (Hrsg.): *Working papers of the International Workshop on Information Systems - Correctness and Reusability*. Vrije Universiteit Amsterdam, RapportNr. IR-357, 1994, S. 22–30.

[Har91] Hartmann, T.: Implementierung von Objekten durch aktive Prozesse. In: Scholl, M. (Hrsg.): *Proc. Workshop Grundlagen von Datenbanken*, 1991, S. 33–37. Technischer Bericht ETH Zürich, Departement Informatik, Informationssysteme Nr. 158.

[Har92] Hartmann, T.: Vom konzeptionellen Modell zur Implementierung: Transformation des TROLL Data-Dictionary. In: *Kurzfassungen des 4. GI-Workshops "Grundlagen von Datenbanken", Barsinghausen, 9.-12. Juni 1992*. ECRC, München, technical report ECRC-92-13, 1992, S. 56–60.

[Har93] Hartmann, T.: Operationalisierung von Objektspezifikationen. In: Thalheim, B. (Hrsg.): *Grundlagen von Datenbanken*. Univ. Rostock, Bericht 3-93, 1993, S. 64–68.

[Har94] Hartmann, T.: Spezifikation und Ausführung von Objektinteraktionen in TROLL. In: Lipeck, U.; Vossen, G. (Hrsg.): *Workshop Formale Grundlagen für den Entwurf von Informationssystemen, Tutzing*. Technical Report Univ. Hannover, No. 03/94, 1994, S. 89–95.

[Har95] Hartmann, T.: *Entwurf einer Sprache für die verhaltensorientierte konzeptionelle Modellierung von Informationssystemen*. Dissertation, Universität Magdeburg, 1995. infix-Verlag, *in Druck*.

[HHKS94] Hartel, P.; Hartmann, T.; Kusch, J.; Saake, G.: Specifying Information System Dynamics in TROLL. In: Dubois, E.; Hartel, P.; Saake, G. (Hrsg.): *Proc. Workshop Formal Methods for Information System Dynamics, Utrecht (NL)*. Univ. of Twente, Technical Report, 1994, S. 53–64.

[HJ92] Hartmann, T.; Jungclaus, R.: Abstract Description of Distributed Object Systems. In: Tokoro, M.; Nierstrasz, O.; Wegner, P. (Hrsg.): *Proc. ECOOP'91 Workshop on Object-Based Concurrent Computing. Geneva (CH), 1991*. Springer, LNCS 612, Berlin, 1992, S. 227–244.

[HJ94] Hartel, P.; Jungclaus, R.: Specifying Business Processes over Objects. In: Loucopoulos, P. (Hrsg.): *Proc. 13th Int. Conf. on the Entity-Relationship Approach (ER'94)*. Springer, LNCS 881, Berlin, 1994, S. 10–27.

[HJS92] Hartmann, T.; Jungclaus, R.; Saake, G.: Aggregation in a Behavior Oriented Object Model. In: Lehrmann Madsen, O. (Hrsg.): *Proc. European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP'92)*. Springer, LNCS 615, Berlin, 1992, S. 57–77.

[HJS93a] Hartmann, T.; Jungclaus, R.; Saake, G.: Animation Support for a Conceptual Modelling Language. In: Mařík, V.; Lažanský, J.; Wagner, R.R. (Hrsg.): *Proc. 4th Int. Conf. on Database and Expert Systems Applications (DEXA), Prague*. LNCS 720, Springer, Berlin, 1993, S. 56–67.

[HJS93b] Hartmann, T.; Jungclaus, R.; Saake, G.: Spezifikation von Informationssystemen als Objektsysteme. *EMISA Forum, Mitteilungen der GI-Fachgruppe 2.5.2*, Band 1, 1993, S. 2–18.

[HJSE92] Hartmann, T.; Jungclaus, R.; Saake, G.; Ehrich, H.-D.: Spezifikation von Objektsystemen. In: Bayer, R.; Härder, T.; Lockemann, P.C. (Hrsg.): *Objektbanken für Experten*. Springer, Berlin, Reihe Informatik aktuell, 1992, S. 220–242.

[HKSH94] Hartmann, T.; Kusch, J.; Saake, G.; Hartel, P.: Revised Version of the Conceptual Modeling and Design Language TROLL. In: Wieringa, R.; Feenstra, R. (Hrsg.): *Working papers of the International Workshop on Information Systems - Correctness and Reusability*. Vrije Universiteit Amsterdam, 1994, S. 89–103.

[HS93] Hartmann, T.; Saake, G.: Abstract Specification of Object Interaction. Informatik-Bericht 93–08, Technische Universität Braunschweig, 1993.

[HSJ+94] Hartmann, T.; Saake, G.; Jungclaus, R.; Hartel, P.; Kusch, J.: Revised Version of the Modelling Language TROLL (Version 2.0). Informatik-Bericht 94–03, Technische Universität Braunschweig, 1994.

[JHS93] Jungclaus, R.; Hartmann, T.; Saake, G.: Relationships between Dynamic Objects. In: Kangassalo, H.; Jaakkola, H.; Hori, K.; Kitahashi, T. (Hrsg.): *Information Modelling and Knowledge Bases IV: Concepts, Methods and Systems (Proc. 2nd European-Japanese Seminar, Hotel Ellivuori (SF))*. IOS Press, Amsterdam, 1993, S. 425–438.

[JHSS91] Jungclaus, R.; Hartmann, T.; Saake, G.; Sernadas, C.: Introduction to TROLL – A Language for Object-Oriented Specification of Information Systems. In: Saake, G.; Sernadas, A. (Hrsg.): *Information Systems – Correctness and Reusability*. TU Braunschweig, Informatik Bericht 91-03, 1991, S. 97–128.

[JSH91] Jungclaus, R.; Saake, G.; Hartmann, T.: Language Features for Object-Oriented Conceptual Modeling. In: Teory, T.J. (Hrsg.): *Proc. 10th Int. Conf. on the ER-approach*, San Mateo, 1991. S. 309–324.

[JSHS91] Jungclaus, R.; Saake, G.; Hartmann, T.; Sernadas, C.: Object-Oriented Specification of Information Systems: The TROLL Language. Informatik-Bericht 91-04, TU Braunschweig, 1991.

[JSHS95] Jungclaus, R.; Saake, G.; Hartmann, T.; Sernadas, C.: TROLL – A Language for Object-Oriented Specification of Information Systems. *ACM Transactions on Information Systems*, 1995. *In Druck*.

[JSS91a] Jungclaus, R.; Saake, G.; Sernadas, C.: Formal Specification of Object Systems. In: Abramsky, S.; Maibaum, T. (Hrsg.): *Proc. TAPSOFT'91, Brighton*. Springer, Berlin, LNCS 494, 1991, S. 60–82.

[JSS91b] Jungclaus, R.; Saake, G.; Sernadas, C.: Using Active Objects for Query Processing. In: Meersman, R.; Kent, W.; Khosla, S. (Hrsg.): *Object-Oriented Databases: Analysis, Design and Construction (Proc. 4th IFIP WG 2.6 Working Conference DS-4, Windermere (UK), 1990)*, Amsterdam, 1991. North-Holland, S. 285–304.

[Jun93] Jungclaus, R.: *Modeling of Dynamic Object Systems—A Logic-Based Approach*. Advanced Studies in Computer Science. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1993.

[JWH+94] Jungclaus, R.; Wieringa, R.J.; Hartel, P.; Saake, G.; Hartmann, T.: Combining TROLL with the Object Modeling Technique. In: Wolfinger, B. (Hrsg.): *Innovationen bei Rechen- und Kommunikationssystemen. GI-Fachgespräch FG 1: Integration von semi-formalen und formalen Methoden für die Spezifikation von Software*. Springer, Informatik aktuell, 1994, S. 35–42.

[KHHS95a] Kusch, J.; Hartel, P.; Hartmann, T; Saake, G.: Gaining a Uniform View of Different Integration Aspects in a Prototyping Environment. In: *6th International Conference and Workshop on Database and Expert Systems Applications*. Springer Verlag, 1995. *In Druck*.

[KHHS95b] Kusch, J.; Hartel, P.; Hartmann, T.; Saake, G.: TBench – Integration einer Prototyping-Umgebung durch objektorientierte Spezifikation. Technischer Bericht, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, 1995. Preprint Nr. 5.

[Kus94] Kusch, J.: Ein Ansatz zur Operationalisierung deskriptiver Anfragen durch Anfrageobjekte. In: Conrad, S.; Löhr, P.; Saake, G. (Hrsg.): *Kurzfassungen des 6. GI-Workshops "Grundlagen von Datenbanken", Bad Helmstedt, 19.-22. September 1994*. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Technische Informationssysteme, Bericht 94-01, 1994, S. 92–96.

[Saa91a] Saake, G.: Conceptual Modeling of Database Applications. In: Karagiannis, D. (Hrsg.): *Proc. 1st IS/KI Workshop, Ulm (Germany), 1990*. Springer, Berlin, LNCS 474, 1991, S. 213–232.

[Saa91b] Saake, G.: Descriptive Specification of Database Object Behaviour. *Data & Knowledge Engineering*, Band 6, Nr. 1, 1991, S. 47–74. North-Holland.

[Saa92] Saake, G.: Objektorientierte Modellierung von Informationssystemen. Informatik-Skripten 28, Technische Universität Braunschweig, 1992.

[Saa93] Saake, G.: *Objektorientierte Spezifikation von Informationssystemen*. Teubner, Stuttgart/Leipzig, 1993. Habilitationsschrift.

[SH94] Saake, G.; Hartmann, T.: Modelling Information Systems as Object Societies. In: von Luck, K.; Marburger, H. (Hrsg.): *Management and Processing of Complex Data Structures, Proc. 3rd Workshop on Information Systems and Artificial Intelligence, Hamburg*. Springer, Berlin, LNCS 777, 1994, S. 157–180.

[SHJ93] Saake, G.; Hartmann, T.; Jungclaus, R.: Objektspezifikation von Benutzerschnittstellen in TROLL. In: Mayr, H.C.; Wagner, R. (Hrsg.): *Objektorientierte Methoden für Informationssysteme*. Springer, Berlin, Reihe Informatik aktuell, 1993, S. 173–186.

[SHJ+94] Saake, G.; Hartel, P.; Jungclaus, R.; Wieringa, R.; Feenstra, R.: Inheritance Conditions for Object Life Cycle Diagrams. In: Lipeck, U.; Vossen, G. (Hrsg.): *Workshop Formale Grundlagen für den Entwurf von Informationssystemen, Tutzing*. Technical Report Univ. Hannover, No. 03/94, 1994, S. 79–89.

[SHJE94] Saake, G.; Hartmann, T.; Jungclaus, R.; Ehrich, H.-D.: Object-Oriented Design of Information Systems: TROLL Language Features. In: Paredaens, J.; Tenenbaum, L. (Hrsg.): *Advances in Database Systems, Implementations and Applications*. Springer Verlag, Wien, CISM Courses and Lectures no. 347, 1994, S. 219–245.

[SHS93] Schwiderski, S.; Hartmann, T.; Saake, G.: Monitoring Temporal Preconditions in a Behaviour Oriented Object Model. Informatik-Bericht 93-07, TU Braunschweig, 1993.

[SHS94] Schwiderski, S.; Hartmann, T.; Saake, G.: Monitoring Temporal Preconditions in a Behaviour Oriented Object Model. *Data & Knowledge Engineering*, Band 14, Nr. 2, December 1994, S. 143–186.

[SJ90] Saake, G.; Jungclaus, R.: Information about Objects versus Derived Objects. In: Göers, J.; Heuer, A. (Hrsg.): *Second Workshop on Foundations and Languages for Data and Objects*, Aigen (A), 1990. Informatik-Bericht 90/3, Technische Universität Clausthal, S. 59–70.

[SJ91] Saake, G.; Jungclaus, R.: Konzeptioneller Entwurf von Objektgesellschaften. In: Appelrath, H.-J. (Hrsg.): *Proc. Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft BTW'91*. Informatik-Fachberichte IFB 270, Springer, Berlin, 1991, S. 327–343.

[SJ92a] Saake, G.; Jungclaus, R.: Specification of Database Applications in the TROLL-Language. In: Harper, D.; Norrie, M. (Hrsg.): *Proc. Int. Workshop Specification of Database Systems, Glasgow, July 1991*. Springer, London, 1992, S. 228–245.

[SJ92b] Saake, G.; Jungclaus, R.: Views and Formal Implementation in a Three-Level Schema Architecture for Dynamic Objects. In: Gray, P.M.D.; Lucas, R.J. (Hrsg.): *Advanced Database Systems : Proc. 10th British National Conference on Databases (BNCOD 10), July 6-8, 1992, Aberdeen (Scotland)*. Springer, LNCS 618, Berlin, 1992, S. 78–95.

[SJ93] Saake, G.; Jungclaus, R.: Models and Languages for Abstract Objects. In: Kent, A.; Williams, J. G. (Hrsg.): *Encyclopedia of Microcomputers*, Band 11. Marcel Dekker, Inc., 1993, S. 173–187.

[SJ94] Saake, G.; Jungclaus, R.: Models and Languages for Abstract Objects. In: Kent, A.; Williams, J. G. (Hrsg.): *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, Band 30. Marcel Dekker, Inc., 1994, S. 241–255.

[SJE92] Saake, G.; Jungclaus, R.; Ehrich, H.-D.: Object-Oriented Specification and Stepwise Refinement. In: de Meer, J.; Heymer, V.; Roth, R. (Hrsg.): *Proc. Open Distributed Processing, Berlin (D), 8.-11. Okt. 1991 (IFIP Transactions C: Communication Systems, Vol. 1)*. North-Holland, 1992, S. 99–121.

[SJH93a] Saake, G.; Jungclaus, R.; Hartmann, T.: Application Modelling in Heterogeneous Environments using an Object Specification Language. In: Huhns, M.; Papazoglou, M.P.; Schlageter, G. (Hrsg.): *Int. Conf. on Intelligent & Cooperative Information Systems (ICICIS'93)*. IEEE Computer Society Press, 1993, S. 309–318.

[SJH93b] Saake, G.; Jungclaus, R.; Hartmann, T.: Application Modelling in Heterogeneous Environments using an Object Specification Language. *Int. Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, Band 2, Nr. 4, 1993, S. 425–449.

[SJS91] Saake, G.; Jungclaus, R.; Sernadas, C.: Abstract Data Type Semantics for Many-Sorted Object Query Algebras. In: Thalheim, B.; Demetrovics, J.; Gerhardt, H.-D. (Hrsg.): *Proceedings 3rd. Symp. on Mathematical Fundamentals of Database and Knowledge Base Systems MFDBS-91, Rostock (D).* LNCS 495, Springer, Berlin, 1991, S. 291–307.

[SS93] Schwiderski, S.; Saake, G.: Monitoring Temporal Permissions using Partially Evaluated Transition Graphs. In: Lipeck, U.; Thalheim, B. (Hrsg.): *Proc. 4th International Workshop: Modelling Database Dynamics, Volkse 1992*. Workshops in Computing, Springer, Berlin, 1993, S. 196–217.

[WJH+93] Wieringa, R.; Jungclaus, R.; Hartel, P.; Hartmann, T.; Saake, G.: OMTROLL – Object Modeling in TROLL. In: Lipeck, U.W.; Koschorreck, G. (Hrsg.): *Proc. Intern. Workshop on Information Systems – Correctness and Reusability IS-CORE '93, Technical Report, University of Hannover No. 01/93*, 1993, S. 267–283.

4 Vorträge

In einer Reihe von Vorträgen hatten die Leiter und Mitarbeiter des Projektes Gelegenheit, über die Forschungsvorhaben des Projektes zu referieren. Dabei wurden von den verschiedenen Teilnehmern unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt: Methodische, praktische sowie formale Aspekte des Informationssystementwurfes (Saake), semantische Grundlagen der Objektspezifikation (Ehrich), Abstraktionsmittel für Spezifikationssprachen sowie Objektlogiken (Jungclaus), Aspekte des Sprachentwurfs für Spezifikationssprachen und deren Ausführung (Hartmann) und Konzeption sowie Realisierung einer Entwurfsumgebung für objektorientierte Spezifikationen (Kusch). Die folgende Auflistung wurde zeitlich und nach Vortragenden geordnet:

Gunter Saake

- Abstract Data Type Semantics for Many-Sorted Object Query Algebras, Symposium on Mathematical Fundamentals of Database and Knowledge Base Systems MFDBS-91, Rostock, 8.5.91.
- Objektorientierte Spezifikation von Informationssystemen, Informatikkolloquium, RWTH Aachen, 12.6.91.
- Konzeptionelle Modellierung von Informationssystemen durch Objektgesellschaften, Informatikkolloquium, Universität Ulm, 14.6.91.
- Objektorientierte Spezifikation komplexer Systeme, Informatikkolloquium, Universität Dortmund, 20.6.91.
- Specification of Database Applications in the TROLL– Language, Workshop Specification of Database Systems SODS'91, Glasgow, 4.7.91.
- Objektorientierte Spezifikation von Informationssystemen, Informatikkolloquium, Universität Mannheim, 17.7.91.

- Introduction to TROLL— A Language for Object - Oriented Specification of Information Systems, IS-CORE Workshop, Imperial College London, 16.9.91.
- Object - Oriented Specification and Stepwise Refinement. International IFIP Workshop on Open Distributed Processing, Berlin 8.-11. Okt. 1991, 10.10.91.
- Objektorientierte Spezifikation komplexer Systeme. Kolloquium, Universität Karlsruhe, 3.12.91.
- Language Features for Object-Oriented Specification of Information Systems. Dagstuhl Seminar 'Foundations of Information Systems Specification and Design', Schloß Dagstuhl, 17.3.92.
- Objektorientierte Spezifikation von Informationssystemen. Kolloquium/GI-Regionalgruppe, TU Magdeburg, 27.4.92.
- Objektorientierte Modellierung von Informationssystemen. Kolloquium, TU Cottbus, 15.6.92.
- Modellierung von Informationssystemen durch Objektgesellschaften. Kolloquium, Universität/Gesamthochschule Siegen, 24.6.92.
- Views and Formal Implementation in a Three-Level Schema Architecture for Dynamic Objects. 10th British National Conference on Databases BNCOD-10, Aberdeen (Scotland), 6.7.1992.
- Spezifikation von Objektsystemen. Abschlußkolloquium DFG SPP „Objektbanken für Experten“, Stuttgart, 12.10.1992
- Spezifikation von Informationssystemen als Objektsysteme. Kolloquiumsvortrag, Universität Koblenz-Landau, 16.02.93
- Objektorientierter Entwurf von Informationssystemen, Kurs 2 und 4. Tutorium der Deutschen Informatik Akademie DIA, Braunschweig, 01.03.93
- Aspects of Interaction for Abstract Objects. Workshop "Formal Aspects of Object Base Dynamics", Dagstuhl, 26.04.93
- Spezifikation von Informationssystemen als Objektsysteme. Kolloquiumsvortrag, Universität Freiburg, 30.04.93
- Application Modelling in Heterogeneous Environments using an Object Specification Language. Int. Conf. on Intelligent & Cooperative Information Systems, Rotterdam, 13.05.93
- Spezifikation von Informationssystemen als Objektsysteme. Kolloquiumsvortrag, Univ. Marburg, 17.06.93
- Formalisierung von Abläufen in Informationssystemen durch kommunizierende Objekte. Kolloquiumsvortrag, Univ. Jena, 02.07.93
- Operationalisierung abstrakter Informationsobjekte. Kolloquiumsvortrag, TU Magdeburg, 15.07.93
- Modelling of Information Objects. ModelAge Meeting, Namur, 17.09.93

- Anwendungsentwicklung in einer objektorientierten Spezifikationssprache. Kolloquiumsvortrag, RWTH Aachen, 11.11.93.
- Modelling Database Applications using an Object-Oriented Specification Language. Kolloquiumsvortrag, Univ. Leiden, Niederlande, 29.11.93
- Anwendungsentwicklung in einer objektorientierten Spezifikationssprache. Kolloquiumsvortrag, Erlangen, 17.12.93
- Objektorientierte Spezifikation von Informationssystemen. Kolloquiumsvortrag, Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, 21.01.1994
- Anwendungsentwicklung in der objektorientierten Spezifikationssprache TROLL. Kolloquiumsvortrag, Paderborn, 03.06.94
- Anwendungsentwicklung in der objektorientierten Spezifikationssprache TROLL. Kolloquiumsvortrag, Universität Gesamthochschule Essen, 02.02.1994
- Modelling Information Systems as Object Societies, eingeladener Vortrag, 3. Workshop 'Informationssysteme und Künstliche Intelligenz', Hamburg, 02.03.1994
- Objects and Activity, Teilnahme am Workshop 'Active Databases', Dagstuhl, 21.03.-26.03.1994
- Inheritance Conditions for Object Life Cycle Diagramms, GI-EMISA Workshop „Formale Grundlagen für den Entwurf von Informationssystemen“, Tutzing, 24.5.1994
- Report on the Workshop Formal Methods for Information System Dynamics, Int. Conference on Advanced Information Systems Engineering, Utrecht (NL), 9.6.94
- Inheritance Conditions for Object Life Cycle Diagramms, Dagstuhl Workshop, 22.8.94-26.8.94
- Evolving Object Specifications, 4th IS-CORE Workshop, Amsterdam, Niederlande, 27.09.-30.09.1994

H.-D. Ehrich

- Specifying and Implementing Object Communities. Software - Institut, Academia Sinica, Beijing, 18.4.91
- A Semantic Basis for Object - Oriented Approaches. Software-Institut, Academia Sinica, Beijing, 22.4.91
- Formal Specification of Object Systems. People's University, Beijing, 25.4.91
- Object - Oriented Concepts - Wrestling with Confusion. 2nd COMPASS Subgroup Meeting, Braunschweig, 27.6.91
- Objects and Their Specification. ADT/COMPASS Workshop, Dourdan, 28.8.91
- Fundamental Object Concepts and Constructions. 2nd IS-CORE Workshop, London, 16.9.91

- Fundamental Object Concepts and Constructions. Oxford University, Oxford, 19.9.91
- Objekt-Orientierte Entwicklung von Informationssystemen. Universität Halle, 18.10.91
- Objekt-Orientierte Entwicklung von Informationssystemen. Universität Freiburg, 15.11.91
- Begriffe und Konstruktionen für Objekt-Orientierte Informationssysteme. Kolloquium, TH Darmstadt 7.2.92
- Fundamental Object Concepts and Constructions. Kolloquium, Leiden University 17.2.92
- Konzepte der Objekt-Orientierung. 2. Workshop Informationssysteme und Künstliche Intelligenz, FAW Ulm, 24.2.92
- Fundamental Object Concepts and Constructions. Seminar 9212, Schloss Dagstuhl 16.3.92
- Begriffe und Konstruktionen für Objekt-Orientierte Informationssysteme. Kolloquium, Humboldt-Universität, Berlin 14.5.92
- Begriffe und Konstruktionen für Objekt-Orientierte Informationssysteme. Kolloquium, TU München 21.7.92
- Designing Information Systems as Communities of Objects. Hauptvortrag auf der 3rd Int. Conf. on Database and Expert Systems Applications DEXA'92, Valencia, 2.9.92
- Daten und Objekte. 20. Jahrestag des Lehrstuhls I, Universität Dortmund, 26.11.92
- Objektorientierter Entwurf von Informationssystemen, Kurs 1: Evolution von Datenmodellen; Kurs 3: Basiskonzepte des Objektorientierten Entwurfs. Tutorium der Deutschen Informatik Akademie DIA, Braunschweig, 01.03.93
- Specifying Information Systems as Object Communities. Leibniz Workshop on Specification Technology and Information Systems, The Hebrew University, Jerusalem, 22.03.93
- Information Systems Specification and Semantics. ISCORE SG1 Working Meeting, Oxford University, 30.03.93
- Constructing Systems as Object Communities. TAPSOFT'93 (Invited Lecture), Paris-Orsay, 14.04.93
- Object Roles and Phases. Dagstuhl Seminar 9321 "Specification and Semantics", Schloß Dagstuhl, 27.05.93
- Object Roles and Phases. ISCORE Workshop '93, Hannover, 27.09.93
- Fundamentals of Object-Oriented Information Systems Specification and Design: The OBLOG/TROLL Approach (Invited Lecture). Int. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, ICALEPCS'93, Berlin, 22.10.93

- Formale Spezifikation von Informationssystemen. Kolloquium, Universität Bremen, 15.12.93
- Modules à la Mode, Paris, Frankreich, Joint IS-CORE and COMPASS MEETING on Modularisation, 07.04.-08.04.1994
- Modular Semantics for Concurrent Families of Sequential Objects (short version), St. Margherita Ligure, Italien, Joint 10th WADT, 6th COMPASS Meeting, 30.05.-03.06.1994
- Distribution and Concurrency without Tears, Workshop 'Fundamentals of Object-oriented Languages, Systems, and Methods', Dagstuhl, 22.08.-26.08.1994
- Modulare Semantik für nebenläufige Familien sequentieller Objekte, GI-Workshop 'Grundlagen von Datenbanken', Bad Helmstedt, 19.09.1994
- Distributed Temporal Logic for Concurrent Object Families, 4th IS-CORE Workshop, Amsterdam, Niederlande, 27.09.-30.09.1994
- Spezifikation verteilter Objektsystem, Fraunhofer-Einrichtung für Software- und Systemtechnik, Berlin, 07.11.1994

Ralf Jungclaus

- Formal Specification of Object Systems. Conf. on Theory and Practice of Software Engineering TAPSOFT'91, Brighton, 8.4.91.
- Von abstrakten zu operationalen Objektspezifikationen (Teil 1). Treffen des DFG-Schwerpunktprogramms "Objektbanken für Experten", Oldenburg, 2.7.91.
- Abstract Description of Federated Information Systems. IFIP WG 2.6 Technical Meeting, Wien, 27.9.91.
- Abstract Description of Distributed Object Systems. International Computer Science Institute, Berkeley, 18.10.91.
- A Language for Behavior-Oriented Abstract Modeling of Information Systems. Computer Science Lab Seminar, SRI International, Menlo Park, 21.10.91.
- A Language for Behavior-Oriented Abstract Modeling of Information Systems. Database Seminar, Dept. of Comp. Science, Stanford University, 22.10.91.
- Language Features for Object - Oriented Conceptual Modeling. 10th Int. Conference on the Entity-Relationship Approach, San Mateo (CA), 24.10.91.
- A Language for Behavior-Oriented Abstract Modeling of Information Systems. CS Seminar, Arizona State University, Tempe (AZ), 28.10.91.
- A Language for Behavior-Oriented Abstract Modeling of Information Systems. CS Seminar, State University of Colorado at Boulder, Boulder (CO), 30.10.91.
- A Language for Behavior-Oriented Abstract Modeling of Information Systems. CSE Seminar, The University of Texas at Arlington, Arlington (TX), 1.11.91.
- Abstract Behavior-Oriented Modeling of Information Systems. Kolloquium, Facultés Universitaires Namur, Namur (B), 2.4.92.

- Relationships between Dynamic Objects. 2nd European-Japanese Seminar on Information Modelling and Knowledge Bases, Ellivuori (SF), 12.6.92.
- Specification of Dynamic Object Systems. Estonian Academy of Sciences, Tallinn (Estland). 15.6.92
- Relationships between Dynamic Objects. IS-CORE SG5 Meeting, Amsterdam, 22.6.1992
- Introduction to TROLL. Espirito Santo Data Informatica S.A., Lissabon (P), 21.7.1992
- Modellierung von Objektsystemen. IBM Wissenschaftliches Zentrum Heidelberg, 01.02.93
- Logic-Based Description of Object Dynamics. Dagstuhl-Seminar "Formal Aspects of Object Base Dynamics", Dagstuhl, 27.04.93
- Eine Objektlogik für die Sprache `TROLL`. GI–Workshop "Grundlagen von Datenbanken", Graal–Müritz, 03.06.93
- Object Behavior Specification. ECOOP'93 Workshop on the Application of Object-Oriented Foraml Methods, Kaiserslautern, 27.07.93
- Object-Oriented Design of Information Systems. CISM-UNESCO Int. School on Advances in Database Systems, Udine, 15.09.93

Thorsten Hartmann

- Implementierung abstrakter Objekte durch aktive Prozesse, Workshop Grundlagen von Datenbanken, Volkse 21.-24.5.1991.
- Von abstrakten zu operationalen Objektspezifikationen (Teil 2). Treffen des DFG-Schwerpunktprogramms "Objektbanken für Experten", Oldenburg, 2.7.91.
- Abstract Description of Distributed Object Systems, Workshop Object-Based Concurrent Computing, European Conference on Object-Oriented Programming ECOOP'91, Genf, 15.7.1991.
- Vom konzeptionellen Modell zur Implementierung: Transformation des `TROLL` Data Dictionary. Workshop Grundlagen von Datenbanken, Barsinghausen, 9.6.92.
- Transformation of Conceptual Schemata. IS-CORE SG5 Meeting, Amsterdam, 22.6.92
- Aggregation in a Behavior Oriented Object Model. European Conference on Object-Oriented Programming ECOOP'92, Utrecht (NL), 1.7.92.
- Operationalisierung von Objektspezifikationen. GI–Workshop "Grundlagen von Datenbanken", Graal–Müritz, 03.06.93
- Objektspezifikation von Benutzerschnittstellen in `TROLL`. GI-Fachtagung *Objektorientierte Methoden für Informationssysteme (EMISA'93)*, Klagenfurt, 08.06.93
- Animation Support for a Conceptual Modelling Language. Int. Conf. Database and Expert Systems Applications, Prag, 07.09.93

– Interaction Specification in TROLL, Lissabon, Portugal, Joint IS-CORE and COMPASS MEETING on Object-Orientation and Concurrency, 21.02.-23.02.1994

– Revised Version of the Modeling Language TROLL, OBLOG Software/SA Lissabon, 24.02.1994

– Spezifikation und Ausführung von Objektinteraktionen in TROLL. GI-EMISA Workshop „Formale Grundlagen für den Entwurf von Informationssystemen“, Tutzing, 24.5.1994

– Prototypische Ausführung von Objektinteraktionen für die Spezifikationssprache TROLL, Workshop 'Deklarative Programmierung und Spezifikation', Bad Honnef, 10.05.1994

– Revised Version of the Conceptual Modeling and Design Language TROLL, 4th IS-CORE Workshop, Amsterdam, Niederlande, 27.09.1994

– Die Sprache TROLL: Konzeptionelle Modellierung von Informationssystemen, Spezialseminar Universität Magdeburg, 25.10.1994

– Operationalisierung von Objektspezifikationen, Universität Hannover, 7.2.1995

Jan Kusch

– TBENCH – A Distributed Integrated Prototyping Environment based on TROLL, Namur (B), IS-CORE SG5/SG6 Meeting, 13.01.94

– Modularization of Object Societies supported by TROLL, Paris, Frankreich, Joint IS-CORE and COMPASS MEETING on Modularization, 07.04.1994

– Ein Ansatz zur Operationalisierung deskriptiver Anfragen durch Anfrageobjekte, Bad Helmstedt, 19.09.-22.09.1994

– Integration einer Prototyping-Umgebung durch objektorientierte Spezifikation, Spezialseminar Universität Magdeburg, 01.11.1994

5 Studentische Arbeiten

Zur Erreichung von Projektzielen wurden 27 Diplom- und 9 Studienarbeiten betreut, deren Ausrichtung von Literaturrecherchen und Bewertungen bis zur Konzeption und Implementierung von Werkzeugen reicht. Einzelergebnisse wurden bereits in Abschnitt 2 näher erläutert.

5.1 Diplomarbeiten

[Ade92] Adelmann, C.: Erweiterte Transaktionsmodelle und ihre Eignung zur Realisierung objektorientierter Systeme. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Ahl94] Ahlemeyer, P.: Rechtevergabe und Kontrolle in Objektsystemen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Alm94] Almgren, G.: TBench Graphical Specification Manager - Ein Werkzeug zur grafischen Darstellung von Objektgesellschaften. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Ben94] Benzel, B.: Entwurf eines Informationsmodells für ein Ortungssystem der Bahn mit den Methoden der Objektorientierten Analyse. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Dix94] Dix, O.: Eine Umsetzung von TROLL Sprachmerkmalen in TROLL*light*. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Emb94] Embshoff, U.: Ein sprachsensitiver Editor fuer objektorientierte Spezifikationen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Fal92] Faller, O.: Ansätze zur Beschreibung und Manipulation komplexer Strukturen mit Hilfe von Graphersetzungssystemen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Har91] Hartmann, T.: Formale Implementierung von Objektgesellschaften durch SMALLTALK-80 Objekte. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1991.

[Hüs95] Hüsemann, F.: Transformation vergangenheitsgerichteter temporallogischer Formeln in TROLL Monitorobjekte. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1995.

[Hux93] Huxol, C.: Operationale Auswertung von Anfragen an Objektgesellschaften durch Anfrageobjekte. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1993.

[Kle94] Klein, S.: TBench Integration Manager – Ein Integrationsrahmen für eine verteilte Prototyping-Umgebung. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Kus93] Kusch, J.: Prototypimplementierung eines Animationssystems für objektorientierte Spezifikationen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1993.

[Lan95] Langendörfer, P.: Evaluierung von Systemen persistenter Objekte zur Animation von objektorientierten Spezifikationen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1995.

[Li92] Li, Lin: Definition einer Anfragesprache fuer das Troll-Objektmodell. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[LW94] Lohoff-Werner, J.: Vergleich von Standardplattformen für verteilte Umgebungen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Noe91] Noelke, A.: Eignung von Prozeßmodellen fuer die Implementierung dynamischer Objekte. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1991.

[Ort94] Ortiz, C.: Anwendung, Analyse und Bewertung der Modellierungssprache TROLL. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Sch92a] Scholz, S.: Ausnahmebehandlung in Informationssystemen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Sch92b] Schulze, J.: Vereinfachung von dynamischen Objektspezifikationen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Sch92c] Schwiderski, S.: Realisation von Objekten in einem Relationalen Datenbanksystem. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Sch94] Scholz, T.: Ansätze zur Implementierung von TROLL Objektinteraktionen in C++. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Ste92] Stein, A.: Implementierung eines Parsers für eine objektorientierte Spezifikationssprache für Informationssysteme. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Stö93] Stöcker, R.: Implementierung der kontextsensitive Analyse für eine objektorientierte Spezifikationssprache für Informationssysteme. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1993.

[Tan93] Tan, I.: Anwendbarkeit objektorientierter Entwurfsmethoden fuer TROLL-Spezifikationen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1993.

[Thu91] Thulke, M.: Spezifikationssprachen für verteilte Systeme im Vergleich mit objekt-orientierten Ansätzen für die Spezifikation von Informationssystemen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1991.

[Woy95] Woyde, J.: Konflikterkennung in TROLL Spezifikationen. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1995.

[Zei93] Zeidler, F.: Vergleich von graphischen Sprachen für objektorientierte Ansätze. Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1993.

5.2 Studienarbeiten

[BP94] Bunge, L.; Probst, M.: Entwurf und Implementierung des TBench-Repositories (TREP). Studienarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Fis95] Fischer, G.: Modellierung von Fallbeispielen mit der Modellierungssprache TROLL. Studienarbeit, TU Braunschweig, 1995.

[GB93] Gaidatzi, F.; Battikh, M.: Vergleich von Vorgangsmodellierungen in TROLL und im ConTract-Modell. Studienarbeit, TU Braunschweig, 1993.

[Läs95] Lässig, D.: Abbildung objektorientierter Spezifikationen auf das Relationenmodell. Studienarbeit, TU Braunschweig, 1995.

[LZ92] Lippe, T; Zimmermann, O.: Konzepte zur Realisierung von TROLL Objektgesellschaften. Studienarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Mer94] Mertens, M.: TEA – Ein Werkzeug zur Analyse von TROLL-Ausdruecken. Studienarbeit, TU Braunschweig, 1994.

[Mue95] Mueller, M.: Fallstudien zur objektorientierten Modellierung von ausgewählten Problemstellungen mit TROLL. Studienarbeit, TU Braunschweig, 1995.

[Neu92] Neumann, J.: Analyse des verteilten objekt-orientierten Programmiersystems Emerald. Studienarbeit, TU Braunschweig, 1992.

[Web94] Weber, S.: Das Logikprogrammiersystem ECLiPSe (Einblick in Funktionalitaeten eines PROLOG-Compilersystems). Studienarbeit, TU Braunschweig, 1994.

6 Schlußbemerkungen

Die Modellierung und Spezifikation von Software speziell für verteilte Informationssysteme ist mit traditionellen Entwurfsparadigmen nicht ausreichend präzise darstellbar. Auch neuere objektorientierte Verfahren stoßen schnell an ihre Grenzen, da sie den *technischen* Aspekt der Implementierung in den Vordergrund stellen. So wird nicht die *logische Strukturierung der Anwendungswelt* und deren Darstellung mit abstrakten Mitteln verfolgt, sondern die *Realisierung* strukturiert. Eine *Modellierung* auf abstraktem Niveau, die zunächst den relevanten Weltausschnitt präzise abbildet, kann mit diesen Formalismen kaum stattfinden. Sie ist aber für komplexe verteilte Systeme definitiv notwendig, um adäquate, verläßliche und effiziente Anwendungen zu erhalten.

Die in den Projekten *Objektorientierte Informationssysteme* und *Implementierung von Informationssystemen* erarbeitete Sprache TROLL integriert verschiedene Entwurfsparadigmen und ermöglicht eine abstrakte, weitestgehend realisierungsunabhängige Modellierung. TROLL basiert auf einem formalen, prozeßorientierten Objektmodell, das als Grundlage für einen weiten Bereich des Informationssystementwurfs — von der Anforderungsanalyse bis zum Design — dienen kann. Es wurde eine Sprachstruktur gewählt, die flexibel und in verschiedene Richtung erweiterbar und anpaßbar ist. Für sehr frühe Phasen des Entwurfes können z. B. deklarative Temporallogikspezifikationen zur Anwendung kommen, für spätere Phasen z. B. explizite Operationsabläufe unter Nutzung von Prozeßspezifikationsformalismen. Durch Wahl der Sprachmittel kann außerdem eine partielle Ausführbarkeit erreicht werden, um einen prototypbasierten Validierungsprozeß durchzuführen.

Die gewählte Sprachstruktur ermöglicht die zukünftige Entwicklung und Integration von weitergehenden Konstrukten wie etwa Modularisierung, Verfeinerung und Verteilung. Modularisierung ist für realistische Fallbeispiele notwendig, da die bisherigen Abstraktionsmittel nur auf der Basis von überschaubaren Anwendungswelten entworfen wurden. Die Formalisierung von Verfeinerungsschritten wird dagegen für eine präzise Darstellung von Implementierungen abstrakter Spezifikationen auf Basisdiensten benötigt, die dann auch den Verteilungsaspekt konkretisieren. Die Aufgabenbereiche sind durch die bisherigen Arbeiten innerhalb des Projektes vorbereitet und sollen in Zukunft weiter verfolgt werden. Die am Ende des Projektes entstandene Entwicklungsumgebung kann durch ihre offene Struktur als Grundlage für zukünftige Werkzeugentwicklungen dienen.