Integration Kognitiver Systeme[1]

M. Böhm, G. Klemke, K. v. Luck , B. Owsnicki-Klewe, G. Pfeiffer
Fachhochschule Hamburg
Berliner Tor 3
20099 Hamburg

1. Das Projekt IKS an der FH Hamburg

Das Projekt *Integration Kognitiver Systeme* (IKS) begann Mitte 1995 an der Fachhochschule Hamburg. Es wurde zum einen als Projekt für die Ausbildung in Informatik an der FH Hamburg konzipiert, zum anderen als ein Rahmen für unterschiedliche Untersuchungen von Fragen der Künstlichen Intelligenz in ihrem Zusammenspiel mit anderen Disziplinen. Startpunkt war die - schon oft gemachte - Beobachtung, daß innerhalb der KI viele Komponenten und Systeme vorgeschlagen, realisiert und diskutiert wurden, aber deren Zusammenspiel mit anderen Komponenten und Systemen der KI, aber auch anderer Disziplinen nicht immer berücksichtigt wurde.

Aus diesen Überlegungen heraus entstand an der FH Hamburg der Gedanke, durch eine sorgfältige Wahl eines Szenarios eine Herausforderung zu schaffen, die im Prinzip durch existierende Theorien der KI abgedeckt ist. Innerhalb dieses Szenarios sollen nun in einzelnen Untersuchungen notwendige Bedingungen für die Integration einzelner Systeme vorgenommen, die eine konzeptionelle Evaluation der hinter diesen Systemen stehenden Theorien erlauben.

1.1 Das IKS-Szenario

Aus folgenden Gründen wurden *mobile autonome Roboter* als Szenario des Projekts IKS gewählt:

- reale Welten und reale Agenten (keine Simulationsartefakte),
- durch Beschränkung auf low-cost Roboter kostenkünstige Realisierung verschiedener Varianten,
- hohe Anforderungen an Planungssysteme, die mit unsicheren Effekten und Informationen umgehen müssen,
- Möglichkeiten der sinnvollen Integration approximativer Verfahren wie neuronaler Netze und genetischer Algorithmen,
- Beiträge von anderen Disziplinen der Informatik wie Prozeßsteuerung und -monitoring oder Hardware/ Firmware-Entwurf,
- Beiträge von Nachbardisziplinen der Informatik wie Meß- und Regelungstechnik oder Mechatronik,
- beobachtbarer Erfolg der Integration aller Komponenten in ein jeweiliges Gesamtsystem,
- hohe Potenz des Szenarios für die Untersuchungen der Zielsetzung des IKS-Projekts z.B. in Richtung Mehr-Agenten-Systeme, Mensch-Maschine-Kommunikation, adaptive Systeme oder komplexe Sensorinterpretationssysteme („Robotics is AI complete" [G. Kretschmer 95, pers. comm.])[2],
- hohe Motivation von Studierenden durch den Fun-Faktor dieses Szenarios.

2. IKS in der Informatikausbildung

Nach Vorarbeiten im Wintersemester 1995/96[3] konnten im Sommersemester 1996 die ersten beiden Ausbildungsprojekte mit Studierenden der FH Hamburg durchgeführt werden.

---

[1] Ebenfalls eingereicht für die Zeitschrift „KI".
[2] Für eine Darstellung KI-relevanter Techniken in einem vergleichbaren Projekt s. [Berns 96].
[3] Für die wirklich hervorragende Unterstützung dieser Arbeiten sei an dieser Stelle insb. G. Kretschmer (Uni. Ulm), J. Schneeberger (FORWISS Erlangen), F. Vogt (FH Hamburg) und dem Robot-Lab des MIT (P. K. Oberoi u. a.) gedankt, ohne deren Hilfestellung wir nicht dort wären, wo wir jetzt sind.

2.1 Ein Roboter-Labor der FH Hamburg

Als artifizielle Umgebung für die mobilen Roboter im Rahmen des Ausbildungsprojekts wurde ein Labyrinth in den Abmaßen 240x240 cm gebaut, das weiß lackiert mit schwarzen Markierungen versehen die 'Welt' der Roboter konstituiert. Diese Welt beinhaltet zusätzlich eine Rampe, auf der das Zielgebiet als schwarze Fläche existiert (s. Abb. 1).

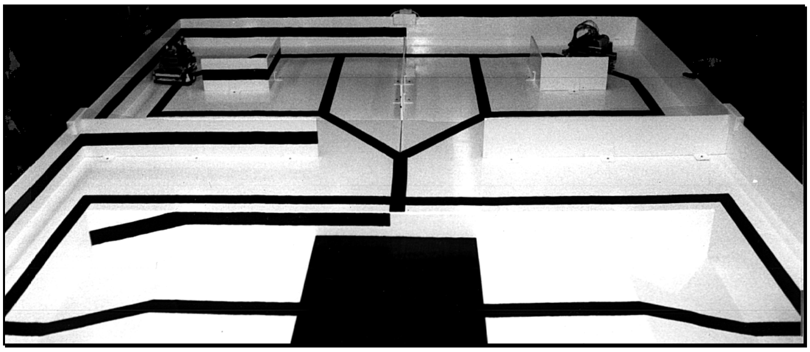

Abb. 1 Die Welt der Roboter

Die Aufgabe dieses Projekts war die Konstruktion von mobilen Roboterplattformen, die bei einem von zwei möglichen Startpunkten (nicht vorher bekannt) in nicht bekannter Orientierung starten, durch das Labyrinth autonom ihren Weg zum Zielgebiet finden müssen, um dort einen Gegenstand einzusammeln und mit diesem Gegenstand zu ihrem ursprünglichen Startpunkt zurückzukehren. Jeweils zwei dieser Roboter treten dabei im Wettbewerb an und können sich daher auch beliebig behindern.

Als Grundlagen werden im Roboter-Labor Bauteile von Lego-Technik benutzt, die durch eine Variante des 6270-Boards des MIT (HC11-basiert) mit 16 analogen und 8 digitalen Eingängen sowie 6 Motortreibern gesteuert werden. Zusätzlich stehen mehrere DC-Motoren ohne Getriebe, ein Servomotor, beliebig viele Photowiderständen, Infrarotsender und -empfänger, Mikroschalter und weitere beliebige Low-Cost Sensoren (Gesamtpreis unter 50 DM) zur Verfügung. Die Programmierung erfolgt mit Hilfe von Interactive-C des MIT (Version 2.2).

Lernziele sind dabei u.a. das Training von Projektarbeit, Team- und Kommunikationsfähigkeit, das Denken in Systemlösungen und insbesondere die Entwicklung von reaktiven Systemen, die sich auch in unvorhergesehenen Situationen angemessen verhalten. Durch Zwischenwettbewerbe konnten die Teams ihre Lösung jeweils überprüfen und schrittweise weiterentwickeln.

Die resultierenden Roboter (s. Abb. 2) unterscheiden sich zwar stark, aber als gemeinsame Strategie wurde von allen Teams eine an Brooks [Brooks 86] orientierte vereinfachte Subsumptions-Architektur benutzt, die in oberster Ebene ein Graphsuchverfahren auf der Basis von Linienverfolgung, als Fallback-Strategie ein „blindes Fahren und Suchen“ und als Notfallstrategie eine Kontaktvermeidungsstrategie beinhaltete.

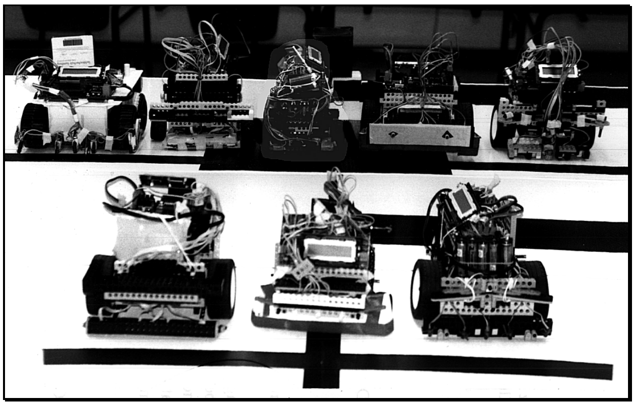

Abb. 2 Der Zoo der Roboter

2.2 High-Level Roboteransteuerung

Parallel zum Aufbau des Roboter-Labors fand im Sommersemester 1996 ein erster Kursus für die high-level Ansteuerung der mobilen Roboter statt. Die Grundkonzeption sieht dabei vor, lediglich die untere Sensorik und Effektorik auf dem 6270-Board (s.o.) zu realisieren. Höhere Funktionen wie etwa Planungsverfahren hingegen sollen in einer objektorientierten Hochsprache realisiert werden. Auf der Basis verschiedener Experimente und Analysen wurde Smalltalk [Lalonde 94] als Hochsprache ausgewählt, da diese eine konsequente Objektorientierung realisiert, KI-relevante Elemente aus Sprachen wie z. B. Scheme beinhaltet, aber zusätzlich auch systemnahe Programmierung erlaubt (s. 3.6).

Da das ausgewählte 6270-Board nicht in der Lage ist, solche Hochsprachen effizient auszuführen, wurden als Rechnerplattform für die Smalltalk-Implementation Standard-PCs ausgewählt. Eine Kopplung zwischen den PCs und dem Roboterboard über eine serielle Leitung wurde durch die Programmierung einer Windows-DLL erreicht. Auf dieser Basis wurden in diesem Kursus einige Experimente erfolgreich durchgeführt, die gezeigt haben, daß es möglich ist, in einer integrierten Entwicklungsumgebung von abstrakten Konzepten bis unmittelbar an die hardwarenahe Realisierung der elementaren Roboterfunktionen zu gelangen.

2.3 Weiteres Vorgehen

Im Wintersemester 1996/1997 werden die beiden beschriebenen Kurse fortgeführt. Hierbei steht für das Roboter-Labor die Entwicklung einer abstrakten Maschine im Vordergrund, die eine wohldefinierte Schnittstelle anbietet, auf der die im Smalltalk-Kursus zu entwickelnden Methoden aufsetzen können. Bei diesen Methoden wird es sich um Portierungsversuche von Planungsverfahren aus der KI handeln, die von Studenten im Rahmen einer Studienarbeit in Prolog bereits implementiert wurden (s. 3.4). Weiterhin sollen zusätzliche Verfahren zur Auswertung der Sensordaten implementiert werden.

3. Forschungsaspekte des IKS-Projekts

Im Rahmen von IKS werden verschiedene Untersuchungen an notwendigen Software- und Hardwarebausteinen durchgeführt, die Aufschluß über die prinzipielle Architektur des Gesamtsystems liefern sollen:

- Entwurf eines Rahmens für abstrakte Planung auf der Basis von „Blackboards“ (s. 3.2),
- Aufbau eines Software-Simulators für die o.g. low-cost Roboter (s. 3.3),
- Untersuchungen über Suchverfahren, nicht-lineare Planung und Realzeitplanung (s. 3.4),
- Realisierung eines leistungsfähigeren Roboterboards (s. 3.5),
- Untersuchungen über eine integrierte SW-Umgebung für Planung, Kontrolle und Ausführung (s. 3.6).

3. 1 Entwicklungsplattformen

Die bisher vorgenommenen Arbeiten wurden auf den Plattformen SWI-Prolog unter Ultrix und Windows sowie DigiTalk Visual Smalltalk unter Windows durchgeführt.

Die Verwendung von Prolog ist historisch begründet aus seinem Einsatz in der Grundausbildung der KI an der FH Hamburg. Prolog eignet sich für den Einsatz als Implementationssprache für Repräsentations- und Planungssysteme wegen seiner effizienten Unifikationsalgorithmen und nicht-deterministischen Interpretation. Schwachstellen sind Schwierigkeiten bei der Gestaltung portabler Benutzerschnittstellen und die mangelnde Integrationsfähigkeit.

Smalltalk-Systeme liefern eine systemübergreifende Möglichkeit des Einsatzes und wesentlich mächtigere Entwicklungsumgebungen. Ferner steht bereits eine große Zahl verwendbarer Klassen zur Behandlung wichtiger Teilprobleme des Projekts zur Verfügung, inbesondere *Graphikklassen* und Klassen zur *Prozeßsteuerung*. Ein Problem entsteht durch fehlende Unterstützung wesentlicher KI-Methoden. Dies soll im Rahmen des Projekts beseitigt werden.

Diese Zweiteilung in Prolog und Smalltalk soll in der nächsten Projektphase endgültig aufgehoben werden. Es wird dann - nach dem augenblicklichen Stand der Planung - eine komplette Migration nach Smalltalk vorgenommen. Dazu ist allerdings eine komplette Sammlung orthogonal einsetzbarer KI-Methoden erforderlich, die entweder beschafft oder neu entwickelt werden muß (s. 3.6).

3.2 Planung mit Blackboards

Einsatzmöglichkeiten von Blackboard-Architekturen zur Lösung komplexer Bewegungsaufgaben mobiler Roboter untersuchte R. Wittwer in [Wittwer 96]. Die Arbeit basiert auf den Untersuchungen in [Hayes-Roth 79], [Hayes-Roth 95] und präzisiert sie für den Aufgabenbereich des IKS-Projekts.

Schwerpunkte der Arbeit sind

- Trennung zwischen Planfindung und -ausführung,
- Planfindung auf der Basis einer Hierarchie von Abstraktionen und Verfeinerungen, die durch das Blackboard koordiniert werden,
- Untersuchungen über Planung bei begrenzten Ressourcen (Zeit),
- symbolische Repräsentation der Umgebung eines mobilen Roboters.

3.3 Softwaresimulation mobiler Roboter

B. Gottfried entwickelt in seiner Diplomarbeit [Gottfried 96] eine universelle Softwareplattform zur Simulation des Verhaltens mobiler Roboter, wie sie im IKS-Projekt eingesetzt werden. Die Motivation hinter dieser Aufgabe ist die geringe Verfügbarkeit solcher Roboter und der relativ hohe Aufwand, die Effekte von Planungs- und Bewegungsalgorithmen in der Realität zu untersuchen.

Das System besteht aus

- Komponenten zur Definition und Modifikation von Robotern, spez. ihrer äußeren Form, ihrer motorischen und sensorischen Ausstattung,
- Komponenten zum Aufbau von Umgebungen, spez. von Wänden und Hindernissen,
- Stochastische Fehlereinstreuung in die Sensordaten und die Umsetzung der Motorikbefehle,
- einer DDE-Anbindung zur Integration mit Planungs- bzw. Steuerungssoftware,
- Visualisierung des resultierenden Roboterverhaltens.

Einen der wesentlichen Punkte stellt dabei die Fehlereinstreuung dar, mit der die eingesetzten Algorithmen auf ihre Robustheit hin untersucht werden können. Das System ist in Smalltalk implementiert. Einen Eindruck von der Oberfläche vermittelt Abb. 3.

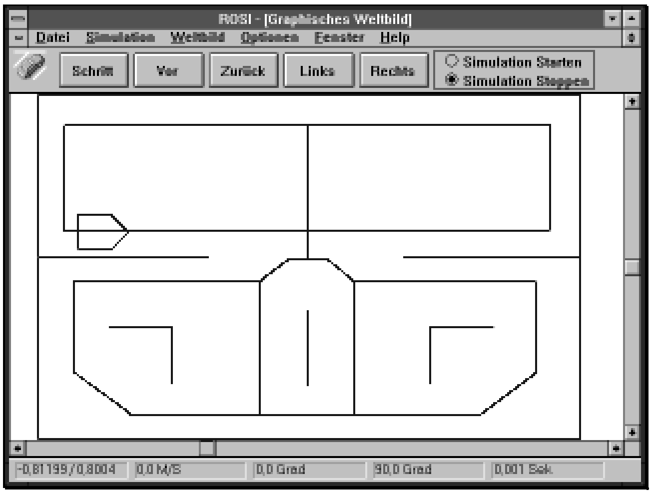

Abb. 3 Die Oberfläche des Roboter-Simulators ROSI

3.4 Planungsalgorithmen

Algorithmen zur nicht-linearen Planung auf der Basis heuristischer Suchverfahren ist das Thema der Studienarbeit von H. Holst und J. Schellenberger. Es wird ein System entwickelt, das domänenunabhängig Planungsprobleme löst, indem durch Heuristiken und Bewertungsfunktionen ein Suchprozeß durch den Lösungsraum gesteuert wird. Ein Strom möglicher Lösungen kann in einem darüberliegenden Algorithmus zur Auswahl aktuell geeigneter Anfangsschritte und Fortsetzungen verwendet werden.

L. Gendner untersucht in seiner Studienarbeit Algorithmen zur Aktionsplanung unter Weg- und Zeitrestriktionen am Beispiel eines „Robotkellners", der in einer nur geringfügig dynamischen Umgebung auf Anfragen (z. B. Bestellungen) reagieren muß. Dabei steht das Problem der Integration neuer Anfragen in einen existierenden Handlungsplan im Vordergrund. Neben dem Einsatz „opportunistischer" KI-Planungsmethoden werden dabei auch Scheduling-Algorithmen untersucht, wie sie in Betriebssystemen Verwendung finden.

Die beiden zuletzt genannten Systeme werden in Prolog implementiert.

3.5 Ein alternatives Board-Design

Aus den Erfahrungen mit dem 6270-Board aus dem Roboter-Labor (s. 2.1) resultierten Überlegungen für ein alternatives Board-Design, das deutlich mehr Prozessorleistung und Speicherkapazität bietet, um unter einem Realzeit-Betriebsystem (Pesos) leistungsfähigere abstrakte Maschinen realisieren zu können. In einer laufenden Diplomarbeit wird gerade ein auf MC68332-Basis konzipiertes Board realisiert, das weniger als 800 DM kosten soll. Durch die Verfügbarkeit von Komponenten des Pesos-Systems, wie Compilern und Entwicklungsumgebungen erwarten wir noch in diesem Jahr erste Ergebnisse von Experimenten mit diesem Board. Insbesondere soll im ersten Schritt eine zum 6270-Board kompatible Bibliothek erstellt werden.

3.6 KI-Methoden in Smalltalk

Im IKS-Projekt steht die Integration verschiedener KI-Methoden im Vordergrund. Als gemeinsame Plattform zur Implementation dieser Methoden wurde Smalltalk ausgewählt (s. o.). Daher besteht einer der nächsten Schritte in der Erstellung einer kohärenten Klassenbibliothek, die folgende Komponenten enthalten soll:

- elementare Bausteine, wie Modelle von Weltobjekten und ihren Eigenschaften, Aktionen, Aktionsfolgen, Constraints, Sensoren, Motoren, Manipulatoren, etc.
- Algorithmen zur Behandlung von Bausteinen und Sammlungen dieser Bausteine, wie z.B. Retrieval, Konsistenzprüfungen, Pattern Matcher, Unifikation,
- abgeleitete Algorithmen z.B. für Lösung von Constraintproblemen, räumlich/zeitlichen Inferenzen, Suche, Planung und Steuerung,
- Kontrollstrukturen zur dynamischen Steuerung solcher Algorithmen, wie die „Subsumptionsarchitektur", Parallelismus und verteilte Umgebungen auf der Basis von CORBA,
- Visualisierungs- und Interaktionsmethoden,
- eine integrierte Entwicklungsumgebung für die Verwaltung und den Test der Systemkomponenten.

Als weiteren zukünftigen Schritt in Richtung auf eine Smalltalk-basierte „Werkbank" soll das Konzept der „Parts" verfolgt werden[4], da sie ein schnelles Komponieren komplexer Systeme erlauben, das - bei geeigneten Entwicklungsumgebungen - auch visuell erfolgen kann.

[4] Parts stellen eine zusätzliche „Black-Box Abstraktion" von Smalltalk-Klassen dar, die sämtliche Implementationsdetails verbirgt. Es handelt sich um Komponent, die etwa über Ereignisse (events) auf einem relativ kleinen Methodenprotokoll kommunizieren. Sie können auf dieser Basis zu großen Applikationen zusammengesetzt werden, bei denen nur ein geringer Teil der Anwendungslogik in Smalltalk implementiert werden muß.

4. Zusammenfassung

Die abgelaufene Phase des IKS-Projekts hat wesentlichen Aufschluß über die Prinzipien mobiler Roboter geliefert. Es hat sich gezeigt, daß der Einsatz von low-cost Robotern ein geeignetes Mittel zur Analyse der entstehenden Probleme darstellt[5] und als Startpunkt für die Integration weiterer Funktionalität dienen kann. Die dadurch entstehenden Probleme sind nicht so gewichtig, daß sie von der letztlichen Zielsetzung ablenken können. Sie sind ausreichend flexibel, um verschiedene Konfigurationen gegeneinanderstellen zu können und erlauben -ausgestattet mit geeigneter Kontrollsoftware - die Lösung nicht-trivialer Bewegungsprobleme.

Das in 2.2 dargestellte Projekt der Robotersteuerung wird es ermöglichen, die von den Robotern gelieferten Sensordaten auf einer konzeptuell höheren Ebene zu interpretieren und die Steuerung auf den verschiedenen Ebenen koordinieren zu können. Damit ist die technische Grundlage für die angestrebte Integration verschiedener Systemkomponenten gelegt.

Die Verwendung von Smalltalk als Basiswerkzeug des IKS-Projekts läßt eine wesentliche Vereinfachung der Integration einzelner Systemkomponenten erwarten. Entwurf und Implementation eines Pakets integrierter KI-Methoden ist u.U. aufwendiger als unter den klassischen KI-Sprachen, da bisher wenig entsprechende Literatur bzw. einschlägige Entwicklungen vorliegen als etwa in Lisp oder Prolog. Es ist aber zu erwarten, daß dieser Aufwand in einer späteren Phase des Projekts kompensiert werden kann.

Neben diesen fachlichen Fragen soll das IKS-Projekt einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Informatik-Studiums an der FH Hamburg in Richtung auf eine projekt-orientierte Ausbildung im Hauptstudium leisten. Aufbauend auf der Grundausbildung soll dabei eine exemplarische Vertiefung im Vordergrund stehen, die neben der Vermittlung von Schlüsselkompetenzen - wie sozialer Kompetenz und Transferkompetenz - die angeleitete eigenverantwortliche Erarbeitung von Fachkompetenz trainiert. Die Vorteile des IKS-Projekts bestehen dabei insbesondere in der Schulung des interdisziplinären und systemischen Denkens.

Literatur

[Berns 96] K. Berns, et. al.: *Laokoon - BMBF Machbarkeitsuntersuchung.* GMD, 1996

[Brooks 86] R. A. Brooks: *A Robust Layered Control System for a Mobile Robot.* IEEE Journal for Robotics and Automation, RA-2(1):14-23, 1986

[Gottfried 96] B. Gottfried: *ROSI - Ein Robotersimulator.* FH Hamburg, Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, Diplomarbeit, 1996

[Hayes-Roth 79] B. Hayes-Roth, F. Hayes-Roth, S. Rosenschein, S. Cammarata: *Modeling Planning as an Incremental Opportunistic Process.* In: Proceedings of the 6th IJCAI, Tokio, pp. 375-383, 1979

[Hayes-Roth 95] B. Hayes-Roth, K. Pfleger, P. Lalanda, P. Morignot, M. Balabanovic: *A Domain-Specific Software Architecture for Adaptive Intelligent Systems.* Knowledge Systems Laboratory, Computer Science Department, Stanford University, 1995

[Lalonde 94] W. Lalonde, J. Pugh: *Smalltalk V - Practice and Experience.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994

[Pfeifer 94] R. Pfeifer: *Cheap Designs: Exploiting the Dynamics of the System-environment Interaction.* AI-Lab, CS Dept., Univ. of Zurich, 1994

[Wittwer 96] R. Wittwer: *An Investigation of the Suitability of the Blackboard Architecture as the Basis for Planning Mobile Robot Movements.* Univ. of. Hertfordshire, Bachelor of Science Thesis, 1996

[5] Für eine entsprechende Diskussion s. a. [Pfeifer 94].

Veröffentlichungen, Vorträge, Studien- und Diplomarbeiten, Gutachten

Eingereichte Veröffentlichungen:

Integration Kognitiver Systeme	für die Zeitschrift KI für den Tagungsband des Mechatronik-Workshops der FH Brandenburg

Vorträge:

10. 9. 96, TU Dresden, Robotik-Woche
27. 9. 96, FH Brandenburg, Workshop 'Mechatronik'
4. 11. 96, FH Hamburg, Tag der Begegnung mit der Industrie

Studien- und Diplomarbeiten:

Gottfried: *ROSI - Ein Robotersimulator.* FH Hamburg, Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, Diplomarbeit, 1996

Wittwer: *An Investigation of the Suitability of the Blackboard Architecture as the Basis for Planning Mobile Robot Movements.* Univ. of. Hertfordshire, Bachelor of Science Thesis, 1996

Schellenberger und Holst: *Nicht-lineare Planung*, Studienarbeit, 1996

Gendner: (Titel steht noch nicht fest), Studienarbeit, 1996

Gutachtertätigkeiten:

Für die Zeitschrift *Computers and Artificial Intelligence*