

Modulare Wissensbasen
für die
Hypertonie-Konsultation

Projekt HYPERCON – Abschlußbericht

Prof. Dr. Ipke Wachsmuth
Barbara Heller, Josef Meyer-Fujara, Sonja Schlegelmilch

Arbeitsgruppe Wissensbasierte Systeme
(Künstliche Intelligenz)
Technische Fakultät
Universität Bielefeld
Universitätsstr. 25
33615 Bielefeld

Das Projekt HYPERCON wurde von 7/92 – 6/95 vom Ministerium für Wissenschaft und Forschung Nordrhein-Westfalen unter der Fördernummer IVA6-400 015 92 unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Projektverlauf	3
1.1 Phase 1: Wissensakquisition	3
1.2 Phase 2: Spezifikation der Anforderungen	4
1.3 Phase 3: Konzeption eines prototypischen Systems	6
1.4 Phase 4: Implementation und Test	8
1.5 Phase 5: Evaluation	9
2 Ergebnisse	9
2.1 Entwicklung des Modells des diagnostischen Schlußfolgerns	10
2.2 Modulare Systemarchitektur	12
2.3 Modularisierungskriterien	16
2.4 Konzeption der wissensbezogenen Komponenten	17
2.4.1 Konzeptuelles Modell für die Modulkoordination	20
2.4.2 Modulinternes konzeptuelles Modell	21
2.5 Flexible Koordination der Wissensmodule	22
2.5.1 Modulare Planungstrukturen	23
2.5.2 Globales Fokussierungsvorgehen	25
2.6 Modulinterne Organisation von Wissenseinheiten	27
2.6.1 Modulinterne Organisationsstrukturen	28
2.6.2 Basissicht und alternative Sichten	30
2.6.3 Fokussierungsalgorithmus	30
2.6.4 Kontextbezogene Regelkoordination	32
2.7 Diskussion der gewählten Konzepte	34
2.7.1 Lokalität und Erweiterbarkeit	35
2.7.2 Entwickelbarkeit im Team	36
2.8 Diskussion der Evaluationsergebnisse	37
3 Ausblick und weiterführende Aktivitäten	38
4 Veröffentlichungen	39
5 Vorträge und Systemdemonstrationen	42

Zusammenfassung

Im Projekt HYPERCON wurde im Zeitraum von 7/92 – 6/95 die Modularisierbarkeit großer Wissensbasen am Gegenstandsbereich einer komplexen medizinischen Domäne, den nierenbedingten Bluthochdruckerkrankungen, untersucht. Das Ziel war es, Grundlagen für die Konzeptualisierung und Strukturierung schwer überschaubarer Wissensdomänen zu gewinnen. Dazu wurde ein ganzheitlicher Verarbeitungsansatz realisiert, der Vorgehensweisen für eine problemlösungsorientierte, top-down-gerichtete Wissensorganisation (KADS) mit einem in der Bielefelder Arbeitsgruppe Wissensbasierte Systeme entwickelten bottom-up-Vorgehen zur bereichsbezogenen Wissensorganisation (DOKS) integriert. Die Forschungsarbeiten wurden in Kooperation mit mehreren medizinischen Partnern: dem Deutschen Institut für Bluthochdruckforschung in Heidelberg, dem Max-Delbrück-Centrum für molekulare Medizin und der Franz-Volhardt-Klinik in Berlin-Buch sowie einem in Bielefeld niedergelassenen Arzt für Innere Medizin (Dr. U. Müller-Kolck) durchgeführt.

Im Rahmen des Projekts ist dabei ein umfangreiches und komplexes wissensbasiertes System zur Hypertoniekonsultation mit transparenter, erweiterbarer Modulstruktur entwickelt worden. Aus Gründen der Flexibilität und Erweiterbarkeit wurde der Aufbau der hierarchischen Strukturen innerhalb der Module dynamisch organisiert. Die realisierte modulare Wissensbasis enthält mehr als 1100 Bereichsobjekte, über 1700 statische und mehr als 12000 situationsbezogen dynamisch erzeugbare Bereichsregeln. Die Systemarchitektur mit standardisierten Schnittstellen und modularen Planstrukturen unterstützt die Erweiterbarkeit der modularen Wissensbasis und die Flexibilität des Schlußfolgerungsprozesses. Modulmodifikationen sind auf globaler und lokaler Ebene möglich; sie erlauben beispielsweise das Separieren bzw. Assemblieren bereits realisierter Module, das Erweitern von Wissensmodulen um neues Wissen sowie das Reduzieren der Wissensinhalte von Modulen um bereits integriertes Wissen.

Die modulare Wissensstrukturierung wird bereits bei der Wissensakquisition – im vorliegenden Fall mit mehreren Experten durchgeführt – berücksichtigt und erfordert ein gegenüber Standardansätzen flexibilisiertes Vorgehensmodell für den entsprechend vielschichtigen Schlußfolgerungsprozeß. Hierfür wurde zusammen mit den beteiligten medizinischen Experten ein konzeptuelles Modell des diagnostischen Schlußfolgerungsprozesses entwickelt, das eine Abgrenzung von Wissensmodulen erlaubt. Des weiteren wurden inhalts- und strukturbezogene Kriterien für die modulinterne Wissensorganisation aufgestellt und ein bereichs-unabhängiger Fokussierungsalgorithmus entwickelt, welcher situationsbezogen relevante Wissenseinheiten dynamisch auswählt.

Das hierzu entwickelte Instrument sind sog. *Kompetenzeinheiten*, das sind modulare, strukturierte Wissenseinheiten mit lokal zugeordneter Problemlösungsfähigkeit, die mit anderen solchen Kompetenzeinheiten lokal und global koordiniert zusammenarbeiten; sie unterliegen

fallspezifisch wechselnden Zugriffsbedingungen (Erreichbarkeit, Sichtbarkeit). Die Integration von (lokalen) Bereichs- und von Koordinationskompetenzen erfolgt über die wichtige *Taktikebene*, wobei koordinatorisches Wissen über sog. Rahmenfundi bereitgestellt und den Kompetenzeinheiten erst während des Problemlösungsprozesses situationsabhängig zugewiesen wird. Die Motivation für die Kompetenzeinheiten ergibt sich daraus, daß die Nutzung bereichsspezifischen Wissens häufig an – wechselnde – problemspezifische Einsatzformen gekoppelt ist. Aus diesem Grunde stellt die Taktikebene, welche die Inferenzebene des "klassischen" KADS-Ansatzes ablöst, Methoden bereit, die nicht unmittelbar von der übergeordneten allgemeinen Problemlösungsaufgabe vorgegeben sind, sondern die innerhalb einer Wissenseinheit über Regeln und Regelgruppen den Bezug von der lokal auszuführenden aktuellen Aufgabe zu den bereichsspezifischen Wissenselementen herstellen. Auf der anderen Seite wird im Rahmen des DOKS-Ansatzes die Sichtbarkeit auf das unmittelbar zugeordnete Wissen eingeschränkt zugunsten der Verwendbarkeit lokaler Inferenzstrukturen, den Taktiken. Dadurch gelingt es, die Wissensverarbeitung lokal zu halten, was die entscheidende Voraussetzung für eine echte Modulkapselung (von Bereichs- und Verarbeitungswissen) bildet. Auf strategischer Ebene können nun verschiedene globale und lokale Strategien im Wechsel mit entsprechenden Taktiken zur Aufgabenausführung abgewickelt werden.

Aus informatischer Sicht sind im HYPERCON-Projekt grundlegende Konzepte für den Aufbau großer wissensbasierter Systeme geschaffen und realisiert worden, die nicht nur durch die Verwaltung von um Größenordnungen umfangreicheren Wissensbasen, sondern auch die Notwendigkeit flexiblen Abrufes heterogener Schlußfolgerungstechniken im Verlauf einer Problemlösekonsultation gekennzeichnet sind.

Das erstellte System wurde den medizinischen Partnern in der Franz-Volhard-Klinik in Berlin-Buch zur Evaluation vorgestellt. Hierbei fanden insbesondere der große und breite Umfang der in das diagnostische Systemvorgehen einbezogenen klinischen Daten und Befunde, sowie die modellierten pathophysiologischen und biochemischen Zusammenhänge Beachtung. Ein wesentliches Interesse zeigten die Experten hinsichtlich der Identifikation prägnanter medizinischer Sachzusammenhänge, der differentialdiagnostischen Entscheidungen und deren differenzierter Einschätzung während der Diagnosefindung. Die Experten begrüßten gleichfalls die hohe Benutzerfreundlichkeit des Systems; die bereitgestellte Konsultationsform wurde als für den Einsatz im ärztlichen Kontext angemessen erachtet.

Aus medizinischer Sicht tragen die im HYPERCON-Projekt erzielten Forschungsergebnisse somit zur Qualitätssicherung durch Entscheidungsbasierung auf umfassenderem Wissen und verbesserte zeitliche und inhaltliche Organisation der Diagnose chronischer multifaktorieller Erkrankungen bei. In einer abschließenden Diskussion motivierten die Experten als weiterführende Projektaktivitäten u.a. die Integration des Systems in eine klinische Umgebung sowie eine Anbindung an umfangreiche Datenbanken als wichtige Grundlage für einen späteren Einsatz.

1 Projektverlauf

1.1 Phase 1: Wissensakquisition

Die Akquirierung des notwendigen medizinischen Wissens erstreckte sich über einen Zeitraum von eineinhalb Jahren, wobei das Vorgehen durch nachfolgende drei Phasen gekennzeichnet war:

- Abgrenzung des zu modellierenden Gegenstandsbereichs
- Spezifikation eines konzeptuellen Modells
- Validierung des akquirierten Wissens

Die Wissensakquisition wurde in Zusammenarbeit mit verschiedenen medizinischen Experten aus der Klinik, Theorie und Praxis durchgeführt:

- Prof. Dr. H.-D. Faulhaber, Franz-Volhard-Klinik in Berlin-Buch
- Prof. Dr. F. Luft, Franz-Volhard-Klinik in Berlin-Buch
- Prof. Dr. K. Kauffmann, Deutsches Institut für Bluthochdruckforschung in Heidelberg
- Dr. U. Müller-Kolck, praktizierender Internist in Bielefeld

Abgrenzung des zu modellierenden Gegenstandsbereichs

In der ersten Wissensakquisitionsphase wurde zunächst in Zusammenarbeit mit den verschiedenen medizinischen Experten der abzubildende Gegenstandsbereich festgelegt und auf seine Eignung im Hinblick auf die Modularisierung des Wissens untersucht. Die hierzu geführten Interviews führten zur Auswahl der Domäne des nierenbedingten Bluthochdrucks, eines Teilgebietes der Hypertonie, als geeignetem Gegenstandsbereich für die wissensbezogene Modularisierung. Dieser zeichnet sich zum einen durch seine Abgrenzbarkeit gegenüber benachbarten Teilgebieten und zum anderen durch seine gut verstandenen kausal-physiologischen Zusammenhänge aus.

Spezifikation eines konzeptuellen Modells

In der zweiten Phase der Wissensakquisition wurden vermehrt strukturierte und fokussierte Interviews anhand authentischer Patientenfälle durchgeführt. Hierbei wurde insbesondere das diagnostische Vorgehen aller beteiligten medizinischen Experten beim Lösen dieser Fälle untersucht. Die Interviews wurden größtenteils mit Video und Audio aufgezeichnet und anschließend vollständig transkribiert. Die Analyse der schriftlich aufbereiteten Interviews führte bei dem hier abzubildenden Gegenstandsbereich der nierenbedingten Hypertonie zu dem konzeptuellen Modell des diagnostischen Schlußfolgerungsprozesses. Das Schluß-

folgerungsmodell war einerseits maßgebend, um die größten abgrenzbaren Wissenseinheiten – die Wissensmodule – zu bestimmen, andererseits bildete es die Grundlage für die Modellierung der planbasierten Koordination der eruierten Wissensmodule im Verlauf des diagnostischen Schlußfolgerns.

Validierung des akquirierten Wissens

In der dritten Phase der Wissensakquisition wurden in Kooperation mit den medizinischen Experten weitere Patientenfälle auf der Basis des vorliegenden konzeptuellen Modells aufbereitet. Hierzu wurden Fallbeispiele herangezogen, die entsprechenden Falldaten zeitbezogen in das Schlußfolgerungsmodell eingeordnet und inhaltlich zu den einzelnen Phasen des Modells in Bezug gesetzt. Die Ergebnisse bestanden zum einen in der Identifikation verschiedener Wissensqualitäten und deren zeitbezogener Verwendung im Schlußfolgerungsprozeß. Zum anderen konnte hierdurch eine kontinuierliche Verfeinerung des diagnostischen Schlußfolgerungsvorgehens sowie eine fortwährende Anreicherung des medizinischen Wissens erreicht werden.

1.2 Phase 2: Spezifikation der Anforderungen

Mit Blick auf die Zielsetzung des Vorhabens, der Modularisierung von Wissen auf Wissensebene, dessen Erweiterbarkeit und der teamorientierten Entwicklung komplexer Wissensbasen, wurden im Anschluß an die Wissenserhebungsphase Anforderungen an eine angemessene Wissensmodellierung sowie das Modellierungsvorgehen selbst aufgestellt. Sie basierten auf der Motivation, Wissen in der Art eines Baukastens zu organisieren, welcher in jeder Hinsicht eine maximale Flexibilität des Problemlösungsverhaltens gestattet. Einer der Gründe hierfür beruhte u.a. auf der Intention, Wissen verschiedener Experten und deren unterschiedliches Vorgehen zur Problemlösung auch im Detail modellieren zu können.

Vor diesem Hintergrund wurden zuerst Anforderungen an die Wissenspartitionierung, an die Organisation modularen Wissens und schließlich an dessen Fokussierung formuliert, welche den Prinzipien der Erweiterbarkeit, Flexibilität und Transparenz gerecht werden.

Wissenspartitionierung

Hierfür wurden zunächst inhalts-, kontext- und strukturbezogene Kriterien analysiert, welche zur Partitionierung von Wissen herangezogen werden konnten. Insbesondere die kontextbezogenen Kriterien führten zur Synthese verschiedener relevanter Sichten, unter denen das Wissen des abzubildenden Gegenstandsbereichs betrachtet und zerlegt werden konnte, und welche neben den inhalts- und strukturbezogenen Kriterien der Assemblierung von Wissenselementen zu Wissenseinheiten zugrundegelegt wurden.

Wissensorganisation/Erweiterbarkeit

Des weiteren wurden Anforderungen hinsichtlich der Organisation partitionierten Wissens und dessen Erweiterbarkeit auf allen Ebenen spezifiziert. In diesem Zusammenhang bestand eine grundlegende Anforderung in der Einhaltung der Lokalität des abgegrenzten Wissens. Mit Blick auf die Modularisierungskriterien wurde hierbei auch gefordert, daß Wissenselemente, wie beispielsweise Konzepte, Objekte, Relationen und Regeln, unter verschiedenen Gesichtspunkten in unterschiedlichen Wissenseinheiten zusammengefaßt werden können und das Einbeziehen von konkurrierendem Wissen erlauben. Hieraus ergab sich letztendlich die Notwendigkeit eines dynamischen und flexiblen strukturellen Aufbaus von Wissenseinheiten.

Vor dem Hintergrund der Erweiterbarkeit und der Entwickelbarkeit einer Wissensbasis im Team war, neben einer strukturbbezogenen modularen Organisation von Bereichswissen, ebenfalls die Organisation des Koordinationswissens gefordert. Die Modularität von Bereichs- und Koordinationswissen bildete die Basis für eine weitere Anforderung, der Lokalität des Problemlösungsverhaltens von Wissenseinheiten.

Wissensfokussierung

Schließlich wurden Anforderungen an ein Fokussierungsvorgehen zur Koordination einerseits der Wissensmodule sowie der Wissenseinheiten innerhalb der Module aufgestellt. Mit Blick auf die Erweiterbarkeit des Wissens der Wissensbasis stand die Forderung nach Unabhängigkeit des Koordinationsvorgehens vom abgebildeten Gegenstandsbereich im Vordergrund. Des weiteren sollte das Fokussierungsvorgehen selbst erweiterbar sein, um die Integration verschiedener Koordinationsverfahren zu gewährleisten. Eine weitere Forderung zielt auf die Flexibilität der Fokussierung, welche insbesondere für eine situationsbezogenen adäquaten, wissensbezogene Koordination relevant war.

Im Anschluß an die Spezifikation der wissensbezogenen Anforderungen wurden die Anforderungen an ein systematisches modularisierungsgerichtetes Vorgehen zur Wissensmodellierung formuliert. Hierfür wurde ein allgemeines Modell der Expertise, welches die methodische Konzeptualisierung von Wissen aller identifizierten Wissenstypen gleichermaßen unterstützt, sowie die hierzu jeweils relevanten Modellkonzepte in einem geordneten und integrierten Schema bereitstellt, gefordert.

Systemtechnik

Ergänzend zu den wissensbezogenen und das Modellierungsvorgehen betreffenden Anforderungen wurden entsprechende Forderungen an die technische Umsetzung beschrieben. Diese äußerten sich insbesondere in der durchgängigen Trennung technischer von wissensbezogener Zuständigkeiten innerhalb des Systems, sowie der Standardisierung von Kommu-

nikationsschnittstellen, wobei beide Anforderungen hinsichtlich Struktur und Verhalten des Systems in der Systemarchitektur zum Ausdruck kommen sollten.

1.3 Phase 3: Konzeption eines prototypischen Systems

Ausgehend von den spezifizierten Anforderungen an die Modularisierung des gewählten Domänenausschnittes und dem zuvor erstellten diagnostischen Schlußfolgerungsmodell wurde zunächst eine modulare Systemarchitektur mit standardisierten Schnittstellen zwischen den Systemkomponenten erstellt. Hierbei wurde eine klare Trennung zwischen wissensbezogenen und technischen Komponenten vorgenommen.

Im Vordergrund der Konzeption des prototypischen Systems stand die Modellierung der wissensbezogenen Komponenten, welcher ein für die Wissensmodularisierung erstelltes allgemeines konzeptuelles Modell der Expertise zugrundegelegt wurde. Für die wissensbezogene Konzeption des prototypischen Systems war es hierbei erforderlich, die zuvor motivierte strategische Flexibilität und die situationsbezogene Reaktivität des bereichsspezifischen Schlußfolgerungswissens in Abhängigkeit von allgemeinen aktuell vorliegenden Strategien und Aufgaben zu gewährleisten. Hierfür wurde der koordinationsbezogene Wissens- typ der Taktik eingeführt und in das konzeptuelle Modell der Expertise integriert.

Darauf aufbauend wurde zunächst eine konzeptionelle Differenzierung des Gegenstandsbe- reichs in eine globale Ebene der Wissensmodule und eine lokale Ebene von Wissensein- heiten innerhalb der Module vorgenommen. Die jeweilige Auslegung des koordinations- wie auch des bereichsspezifischen Wissens führte zu nachfolgend angeführtem Komponenten- design.

Anhand des diagnostischen Schlußfolgerungsmodells wurden zunächst die größten abgrenzbaren Wissenseinheiten, die Wissensmodule der Wissensbasis, sowie das globale Vorgehen des diagnostischen Schlußfolgerns identifiziert. Während die inhaltsbezogene Zuständigkeit der Wissensmodule, nicht jedoch deren internes Wissen, der Konzeption des bereichsspezi- fischen Wissens auf globaler Ebene zugrundegelegt wurde, konnte aus dem diagnostischen Schlußfolgerungsvorgehen das Wissen zur Koordination der Wissensmodule abgeleitet werden. Hierfür wurde eine globale Fokussierungskomponente konzipiert, welche in einem planbasierten situationsbezogenen Entscheidungsvorgehen das zu aktivierende Wissensmo- dul der Wissensbasis bestimmt. Die globale Fokussierungskomponente wurde hierbei als Baukasten modularer Pläne entworfen, und ermöglichte in Abhängigkeit von der aktuell ge- gebenen Situation, sowie der daraus resultierenden strategischen Anforderungen an den diagnostischen Schlußfolgerungsprozeß, die flexible und dynamische Integration des koor- dinatorischen Wissens verschiedener Teilpläne und Pläne.

Das anschließend auf lokaler Ebene vorgenommene modulinterne Design berücksichtigt die Lokalitätsanforderungen an kleinste Wissenseinheiten, sowie deren spezifisches Problemlösungsverhalten. Hierzu wurde zunächst das unter inhalts- und kontextbezogenen Kriterien partitionierte bereichsspezifische Wissen zu Wissenseinheiten assembliert, deren dynamische Organisation auf der Basis strukturbezogener Kriterien konzipiert wurde.

Anschließend wurde das modulinterne koordinationsspezifische Wissen konzeptionell aufbereitet. Der Intention, jeder Wissenseinheit ein lokales Problemlösungsverhalten zuzuschreiben, welches deren eigene situationsbezogene Problemlösungsfähigkeit unter Berücksichtigung ihrer maximalen strategischen Flexibilität wiedergibt, wurde mit Einführung des Konzepts der Kompetenzeinheit Rechnung getragen. Eine Kompetenzeinheit definiert hierbei die allgemeine Organisation einer Wissenseinheit, welche das separat konzeptualisierte lokale bereichsspezifische und koordinationsspezifische Wissen in Bezug zueinander setzt.

Im Anschluß an die modulinterne, auf Kompetenzeinheiten basierende, Wissensorganisation erfolgte das Design der lokalen Fokussierungskomponente unter Zugrundelegung eines domänenunabhängigen phasenorientierten Verfahrens zur modulinternen Koordination der Kompetenzeinheiten in Abhängigkeit der aktuell vorliegenden Situation. Die Konzeption des zugrundegelegten Fokussierungsalgorithmus beruht im Kern auf Suchverfahren sowie Berechnungs- und Einschätzfungsfunktionen zur sukzessiven Auswahl der aufgrund ihrer Problemlösungsfähigkeit situativ geeigneten Kompetenzeinheiten.

Die Integration der wissensbezogenen Komponenten wurde auf der Basis einer situationsbeschreibenden Schnittstelle zwischen der globalen und der lokalen Fokussierungskomponente konzipiert. Hierbei übernimmt die lokale Fokussierungskomponente die interne Koordination des Wissensmoduls, das von der globalen Fokussierungskomponente ausgewählt wurde, und übergibt dieser nach Beendigung des Fokussierungsverfahrens die relevanten modulinternen Ergebnisse.

Die Berücksichtigung der Trennung von technischen und wissensbezogenen Aufgaben führte des weiteren zur Konzeption einer technischen Kontrollkomponente, welche die Verwaltung von Daten, sowie die Kontrolle des Datentransfers zwischen den einzelnen Systemkomponenten über eine nachrichtenbasierte einheitliche Schnittstelle übernimmt.

Schließlich wurde das Design des graphischen interaktiven Dialogs mit dem Benutzer entwickelt. Hierzu wurden zum einen Komponenten für den Konsultationsdialog zur Diagnosefindung und zum anderen für einen Informationsdialog über die Planungsentscheidungen der globalen Fokussierungskomponente entworfen.

In der Implementations- und Testphase wurden, wie nachfolgend ausgeführt, die zuvor besprochenen Konzepte zur Modularisierung umfangreicher Wissensbestände in einem prototypischen System realisiert.

1.4 Phase 4: Implementation und Test

Mit Blick auf die prototypische Realisierung umfangreicher modularer Wissensbestände wurde in einer frühen Projektphase ein Kriterienkatalog als Grundlage für die Auswahl eines geeigneten markteingeführten Entwicklungswerkzeuges aufgestellt. Die Entscheidung wurde schließlich zugunsten des Expertensystem-Entwicklungswerkzeug Knowledge Craft getroffen, welches auf der symbolorientierten Sprache Lisp basiert und sich aufgrund verschiedenster Repräsentationsformalismen und Verarbeitungsmechanismen zur Wissensbasiskonstruktion als das geeignetste unter mehreren untersuchten Werkzeugen darstellte.

Im Verlauf erster Realisierungsschritte wurde festgestellt, daß das Entwicklungswerkzeug um erweiternde technische Hilfsmittel zu ergänzen war, um dem neuen Konzept der Wissensmodularisierung gerecht zu werden. Darauf aufbauend wurden die jeweiligen Systemkomponenten, wie für die Phase der Konzeption beschrieben, implementiert.

Die Implementation der einzelnen Wissensmodule der Wissensbasis wurde von verschiedenen Personen separat durchgeführt. Des weiteren wurden auch personelle Wechsel zur Realisierung von Wissensauschnitten innerhalb einzelner Module vorgenommen. Beide Erfahrungen mit der teamorientierten Entwicklung der Wissensbasis bestätigten die Tragfähigkeit des modularen Ansatzes der Wissensmodule als auch desjenigen der Organisation modulintern abgeschlossener Wissenseinheiten als Kompetenzeinheiten. Schließlich wurden die globale wie auch die lokale Fokussierungskomponente unabhängig von der bereichsbezogenen Wissensimplementation realisiert.

Die Implementation des prototypischen Systems wurde durch verschiedene, den jeweiligen Realisierungsstadien angemessene, Tests begleitet. Diese betrafen nicht allein die jeweiligen Systemkomponenten, sondern vor allem die systematische Überprüfung der Wissensbasis. So wurden zunächst die Kompetenzeinheiten hinsichtlich ihrer inhaltlichen Konsistenz und Problemlösungsfähigkeit separat überprüft. Des weiteren wurde eine Testumgebung realisiert, die inhaltsbezogene Tests der einzelnen Module unterstützte. Schließlich wurden die einzelnen Module sukzessive in die Wissensbasis integriert; hierbei wurde der Status der Systemintegration fortwährend durch weiterführende Tests kontrolliert. Vor dem Hintergrund der Anwendungsumgebung, und unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit der Konzepte für den gewählten Gegenstandsbereich, wurden allen Tests der Wissensbasis, der Wissensmodule und der modulinternen Kompetenzeinheiten Daten realistischer Patientenfälle zugrundegelegt. Mit der Implementations- und Testphase gingen auch Erweiterungen der Wissensbasis um zusätzliches bereichs- und koordinationsspezifisches Wissen einher.

Im Hinblick auf die Evaluation wurde das prototypische System zudem um medizinische Informationstexte und Hinweise sowie um weiteres bereichsspezifisches Wissen ergänzt und hinsichtlich seiner inhaltlichen Konsistenz überprüft. Hierfür wurden verschiedene Testfälle erstellt, die Normal- und Extremwerte sowie seltene Ausprägungen und Kombinationen von hypertonierelevanten Patientendaten berücksichtigten. Entsprechend der Ergebnisse, welche

anhand der Testfälle gewonnen wurden, konnte das bisher abgebildete Hypertoniewissen angepaßt und um neue Objekte und Regeln erweitert werden.

1.5 Phase 5: Evaluation

Nachdem eine letzte Testphase abgeschlossen war, wurde das Gesamtsystem in der Franz-Volhard-Klinik in Berlin-Buch unseren Experten Prof. Dr. Faulhaber und Prof. Dr. Luft zur Evaluation vorgestellt. Im Fokus der in einem Zeitrahmen von zwei Tagen stattgefundenen Evaluation stand die Einsetzbarkeit des Gesamtsystems in einer klinischen Umgebung unter Zugrundelegung authentischer Patientenfälle. In diesem Zusammenhang interessierten sich die Experten insbesondere für das diagnostische Vorgehen und Verhalten des Systems. Eine herausragende Beachtung fand hierbei der Verlauf konkurrierender diagnostischer Entscheidungen des Systems und deren differenzierte Einschätzung. Des weiteren begrüßten die Experten den großen Umfang der vom System in die Diagnosefindung einbezogenen klinischen Daten und Befunde (z.B. Anamnese, klinische Untersuchung, Laborparameter und Funktionsdiagnostik) sowie durch die Wissensbasis abgebildeten pathophysiologischen und biochemischen Zusammenhänge. Gleichfalls wurde die differenzierte Erklärung, nicht nur durch medizinische Hilfetexte, sondern vor allem der Zwischen- sowie Enddiagnosen, und deren Entstehungsbegründung beachtet. Auch die für den Benutzerdialog realisierte graphische Dialogkomponente wurde hinsichtlich der menübasierten Organisation der Oberfläche und der Benutzerfreundlichkeit diskutiert und als eine für einen Arzt angemessene Konsultationsform erachtet.

Eine die Systemevaluierung abschließende Diskussion betraf insbesondere Integrationsmöglichkeiten des Systems in der klinischen Umgebung sowie über das Projektziel hinausreichende Erweiterungswünsche der Experten, welche im berichtsabschließenden Abschnitt über die Diskussion der Evaluationsergebnisse ausgeführt werden.

2 Ergebnisse

Mit Blick auf die Thematik der Modularisierung von Wissen auf Wissensebene konnten in jeder Phase der Entwicklungsarbeiten, von der Wissensakquisition bis hin zur Evaluation des realisierten HYPERCON-Systems, Ergebnisse erzielt werden, welche zur Modularität von Wissensbeständen hinführen und der getrennten Entwicklung einer Wissensbasis im Team Rechnung tragen.

2.1 Entwicklung des Modells des diagnostischen Schlußfolgerens

Bei der Aufbereitung der Wissensdomäne kam dem konzeptuellen Modell in Bezug auf die Entwicklung von wissensbasierten Systemen eine zentrale Rolle zu. Es war daher wichtig, das zugrundegelegte konzeptuelle Modell transparent zu machen, damit es in weiteren Wissensakquisitionssitzungen zusammen mit dem Experten verfeinert bzw. revidiert werden konnte.

Das in Abb. 2.1 dargestellte konzeptuelle Modell des diagnostischen Schlußfolgerungsprozesses ist das Ergebnis der in mehrfacher Iteration erarbeiteten und durch verschiedene Experten verifizierten Vorgehensweise des diagnostischen Schlußfolgerens.

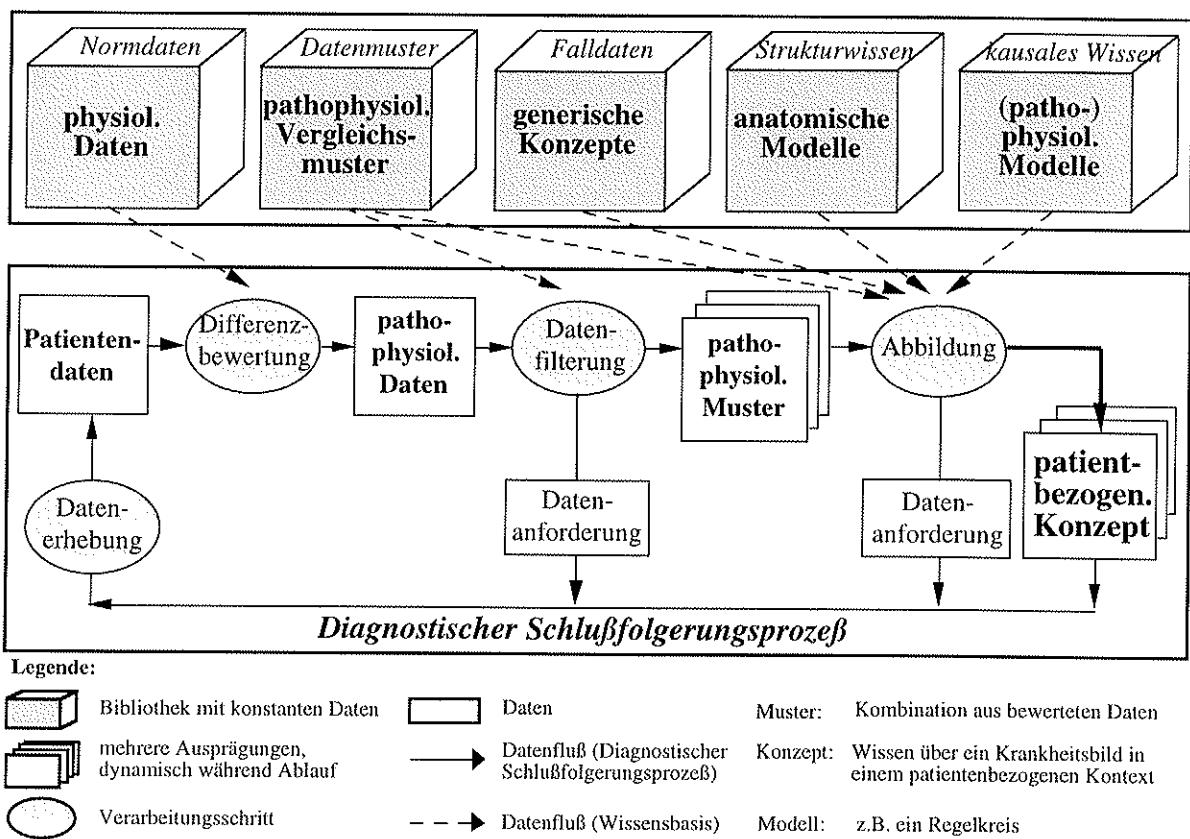


Abb. 2.1: Konzeptuelles Modell des diagnostischen Schlußfolgerungsprozesses

Im oberen Teil der Abbildung ist die Bibliothek mit konstanten Daten dargestellt, auf die in Abhängigkeit vom jeweiligen Verarbeitungsschritt zugegriffen wird. Das eigentliche Schlußfolgerungsvorgehen ist im unteren Teil der Abbildung skizziert. Dabei sind die einzelnen Verarbeitungsschritte und die Ergebnisse aus diesen Schritten ohne ihre Zuordnung zu den Modulen hervorgehoben.

Das Modell lässt sich in Anlehnung an die Verarbeitungsschritte in verschiedene Phasen unterteilen. In der ersten Phase, Datenerhebungsphase, werden Patientendaten erhoben, die

dann anschließend in der Datenbewertungsphase durch *Differenzbewertung* mit den Normwerten (*physiologische Daten*) verglichen und als physiologisch bzw. pathologisch klassifiziert werden.

Das Ergebnis aus diesem ersten Verarbeitungsschritt sind *pathophysiologische Daten*. Es ist wichtig, Daten im Normbereich nicht einfach zu ignorieren, da gerade die Kombination aus physiologischen und pathologischen Patientendaten aufschlußreich sein kann. Die pathophysiologischen Daten werden anschließend mit bekannten Symptommustern von Krankheiten (*pathophysiologische Vergleichsmuster*) verglichen; aus der Menge dieser Muster werden durch *Datenfilterung* die wiedererkannten Muster herausgefiltert. Das Ergebnis hieraus sind *pathophysiologische Muster*. Anschließend werden die Krankheiten, auf welche die erkannten Muster hinweisen, näher betrachtet.

Die den Krankheiten zugehörigen Symptommuster, Krankheitskonzepte (*generische Konzepte*) und, falls erforderlich, Modelle pathologisch veränderter Körperstrukturen, Zustände, Vorgänge und Regelungen (*anatomische, pathophysiologische Modelle*) werden für den speziellen Patienten angepaßt und ergeben zusammen *patientenbezogene Konzepte*.

An mehreren Stellen des diagnostischen Schlußfolgerungsprozesses kann eine *Datenanforderung* erzeugt werden, die zur Erhebung weiterer Daten führt. Beispielsweise werden beim Vorliegen eines unvollständigen oder widersprüchlichen Musters häufig weitere Daten zur Komplettierung des Musters angefordert. Die Ergebnisse aus diesen Daten können dann das vorliegende Muster entweder vervollständigen und damit bestätigen oder es abschwächen und damit widerlegen.

Sowohl die Sicht auf den Gesamtbereich als auch der Problemtyp floßen in das konzeptuelle Modell der Expertise ein, das die globalen inhaltlichen Zusammenhänge im Schlußfolgerungsprozeß repräsentiert und hiermit eine Einordnung von Modulen in Modultypen erlaubt. Mit Blick auf das hier zugrundeliegende konzeptuelle diagnostische Schlußfolgerungsmodell konnten insgesamt zehn verschiedene Module identifiziert werden, welche die Grundlage des modularen Aufbaus einer Wissensbasis darstellten. Davon ausgehend wurde die umfangreiche Wissensbasis zunächst in die größten voneinander abgrenzbaren inhaltlichen Wissenseinheiten, die Wissensmodule, partitioniert.

Hinsichtlich ihrer globalen inhaltlichen Zusammenhänge im diagnostischen Schlußfolgerungsprozeß wurden hierbei drei Typen von Modulen unterschieden:

- *Typ Akquisitionsmodul*
- *Typ Diagnosemodul*
- *Typ Bibliotheksmodul*

Module vom Typ Akquisitionsmodul enthalten das gesamte Wissen über die akquirierten Patientendaten und entsprechen dem Ausgangspunkt "Patientendaten" zu Beginn des diagnostischen Schlußfolgerungsprozesses. Die Patientendaten ließen sich sowohl nach Zusammengehörigkeit und inhaltlichen Kriterien als auch nach dem zeitlichen Ablauf ihrer Erhebung innerhalb des Schlußfolgerungsprozesses folgenden Modulen zuordnen:

- Modul Anamnese (M_A)
- Modul Klinische Untersuchung (M_{KU})
- Modul Labor (M_L)
- Modul Diagnostische Verfahren (M_{DV})

Module vom Typ Diagnosemodul beinhalten das Wissen zur Identifikation von Mustern sowie zur Generierung und Verifikation von Hypothesen, wobei der Begriff Hypothese darauf hinweisen soll, daß die letztendliche Diagnoseentscheidung dem Benutzer obliegt. Im Hinblick auf die verschiedenen Vorgehensweisen bei der Erkennung von Mustern im Vergleich zur Bildung von Hypothesen bzw. bei der Generierung von Hypothesen im Vergleich zu deren Verifikation sowie mit Blick darauf, daß sich ebenfalls das relevante Wissen stark unterscheidet, waren hierfür drei unterschiedliche Module erforderlich:

- Modul Mustererkennung (M_{ME})
- Modul Hypothesengenerierung (M_{HG})
- Modul Hypothesenverifikation (M_{HV})

Module vom Typ Bibliotheksmodul enthalten verschiedenartiges Wissen, wie z.B. Wissen über pathophysiologische bzw. anatomische Modelle oder die Nosologie. Art und Anzahl der Bibliotheksmodule sind variabel und stehen in direktem Bezug zur Ausrichtung des Systems. Das bedeutet, daß letztendlich die Verteilung des Wissens auf die Module sehr stark von der Gewichtung innerhalb des Systems abhängt. Die auf der Basis des zugrundegelegten konzeptuellen Modells (s. Abb. 2.1) gebildeten Bibliotheksmodule umfassen folgende Module:

- Modul Nosologie (M_{NO})
- Modul Pathophysiologische Modelle (M_{PPM})
- Modul Anatomische Modelle (M_{AM})

2.2 Modulare Systemarchitektur

Ausgehend von dem diagnostischen Schlußfolgerungsmodell erforderte das modulare wissensbasierte System eine Systemarchitektur, deren Struktur und Verhalten die Lokalität und Erweiterbarkeit der Wissensmodule und ihrer modulinternen Wissenseinheiten unterstützt. Voraussetzung hierfür war u.a. eine Trennung zwischen technischen und wissensbezogenen Aufgaben, weshalb in der Architektur des wissensbasierten Systems eine klare

Trennung zwischen wissensbezogenen und technischen Komponenten, die nur über einheitliche schmale Schnittstellen miteinander kommunizieren können, vorgenommen wurde (s. Abb. 2.2).

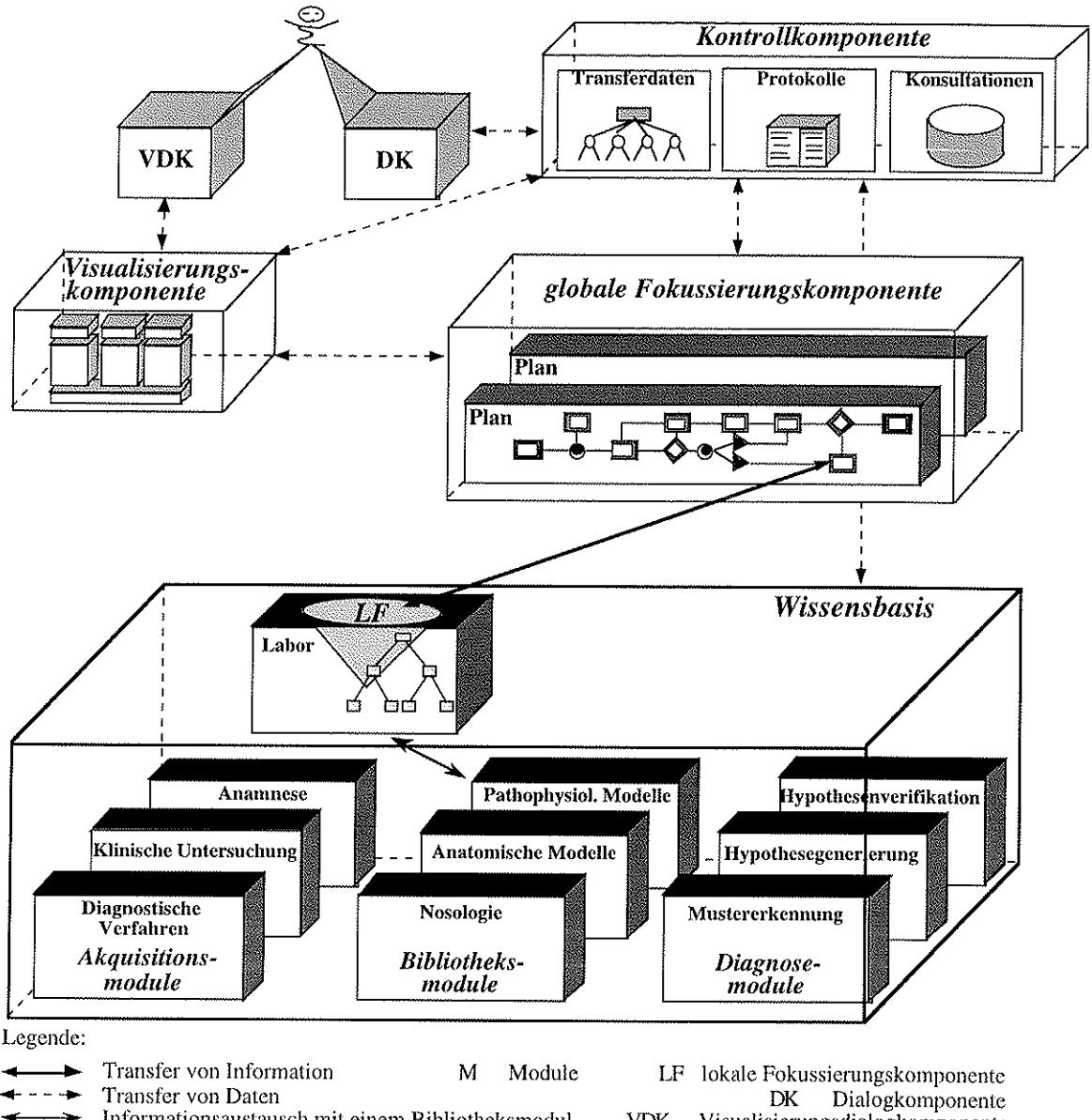


Abb. 2.2: Modulare Rahmenarchitektur

Die graphischen Komponenten für den Benutzerdialog (VDK, DK, Visualisierungskomponente) und die Kontrollkomponente sind den technischen Komponenten zugeordnet, während die wissensbezogene Zuständigkeit der globalen Fokussierungskomponente, der lokalen Fokussierungskomponente (LF) sowie den Wissensmodulen der Wissensbasis obliegt.

Die den wissensbezogenen Komponenten zugehörige globale Fokussierungskomponente koordiniert die situationsbezogene dynamische Integration der Wissensmodule im diagnosti-

schen Schlußfolgerungsprozeß und bestimmt somit das globale strategische Vorgehen der Diagnosefindung. Hierbei basiert die globale Fokussierungskomponente auf Rahmenplänen, die wiederum aus Teilplänen aufgebaut und in Abhängigkeit der aktuellen Situation des Schlußfolgerungsprozesses konstruiert und aktiviert werden. Durch den generischen Aufbau der globalen Pläne wurde eine Anpassung an unterschiedliche strategische und aufgaben-spezifische Abläufe ermöglicht.

Die Wissensmodule beinhalten abgrenzbare Wissenseinheiten, die aufgrund ihrer inhaltlichen Lokalität und ihrer Unabhängigkeit von technischen Anforderungen erweiterbar sind und deren dynamische Fokussierung auf dem methodischen domänenunabhängigen Algorithmus der lokalen Fokussierungskomponente beruht. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, die lokalen Wissenseinheiten an eine veränderte Einsatzumgebung (z.B. Funktionsbereiche einer Klinik) anzupassen.

Die den wissensbezogenen Komponenten zugrundeliegenden Konzepte werden mit Blick auf ihre Relevanz für die Modularisierung von Wissen auf Wissensebene und dessen Erweiterbarkeit in nachfolgenden Abschnitten des Ergebnisberichtes weitergehend ausgeführt.

Benutzerdialog und technische Kontrollkomponente

Der Benutzerdialog wurde hinsichtlich des Dialogs zur Diagnosefindung und eines Informationsdialogs über die Planungsentscheidungen der globalen Fokussierungskomponente (GF) in verschiedenen Komponenten (s. DK, VDK und Visualisierungskomponente in Abb. 2.2) ausgelegt.

Die Dialogkomponente (DK) realisiert die Konsultationskommunikation mit dem Benutzer auf der Basis einer flexiblen fensterbasierten Oberfläche, welche eine freie Eingabe von Patientendaten unterschiedlicher Teilbereiche und die situationsangemessene Ausgabe von Symptomen und Hypothesen sowie Erklärungen hierzu erlaubt. Die DK basiert hierbei auf frei definierbaren Konzepten zur dynamischen Integration neuer Menüs in deren bestehende Struktur, welche eine einfache Erweiterung der DK um neue Patientendaten ermöglichte.

Die Visualisierungs- sowie die Visualisierungsdialogkomponente VDK wurden mit Blick darauf, das koordinatorische Vorgehen der GF gegenüber dem Benutzer transparent zu gestalten, realisiert. Hierzu wurde ein Interpreter der von der GF bereitgestellten Rahmen- und Teilpläne geschaffen, welcher in eigens erweiterte graphische Repräsentationsformen überführt wird. Die Erweiterbarkeit der Visualisierungskomponente erlaubt die Darstellung der flexibel konfigurierbaren globalen Pläne.

Die technische Kontrollkomponente kontrolliert den Benutzerdialog sowie den Zugriff der Module auf Patientendaten. Hierzu wurde eine in Abhängigkeit vom Verlauf der Konsultation dynamisch aufgebaute Transferdatenstruktur vorgesehen, welche die vom Benutzer

eingegebenen als auch die von den Modulen bearbeiteten und übergebenen Daten strukturiert und einen gleichberechtigten Datentransfer der Module unterstützt.

Des weiteren übernimmt die Kontrollkomponente die Verwaltung bekannter und neuer Patientendaten, indem sie deren konsultationsübergreifende Organisation unter Berücksichtigung der Datenherkunft unterstützt.

Schließlich werden von der technischen Kontrollkomponente Protokolle, welche ihr von der globalen und lokalen Fokussierungskomponente als Berichte über Situationen des Schlußfolgerungsprozesses übergeben werden, verwaltet.

Standardisierte Komponentenkommunikation

Ein weiterer, modularisierungsunterstützender Aspekt bestand in der Bereitstellung schmaler standardisierter Wissens- und Datentransferschnittstellen zwischen den Systemkomponenten.

Dabei wurde, ausgehend von der Zuständigkeit der Systemkomponenten (wissensbezogene bzw. technische Zuständigkeit) und der Art der auszutauschenden Information (wissensbezogene bzw. datenbezogene Information) eine Schnittstelle für den Wissenstransfer sowie eine Schnittstelle für den Datentransfer konzipiert.

Die *Schnittstelle für den Datentransfer* beruht auf einer einheitlichen Kommunikationsstruktur, welche auf dem Konzept der Nachrichtenübermittlung basiert und den Austausch von Informationen über Daten und von Daten selbst übernimmt. Diese betreffen sowohl Patientendaten als auch Berichte über situationsbezogene Informationen. Die Datentransferschnittstelle wurde jeweils zwischen der technisch ausgelegten Kontrollkomponente und den wissensbezogenen Komponenten – der globalen und der lokalen Fokussierungskomponente sowie den Wissensmodulen – eingerichtet. Der nachrichtenbasierte Datentransfer ist um neue zu integrierende Nachrichten zwischen den Komponenten erweiterbar, wobei seine Kontrolle hierbei immer der Kontrollkomponente unterliegt.

Die *Schnittstelle für den Wissenstransfer* ist demgegenüber allein zwischen der globalen Fokussierungskomponente (GF) und der lokalen Fokussierungskomponente (LF) etabliert. Ihr liegt das Konzept des Wissenstransfers zugrunde, welches den bidirektionalen Austausch von situationsbezogen relevanten Informationen über Wissen in einer für die GF und LF gleichermaßen semantisch interpretierbaren, informationsverdichtenden Definition, der aktuellen Situation, festlegt. Das Übergabeverfahren erstellt zudem einen Bericht über die aktuelle Situation, um die GF zu einem späteren Zeitpunkt bei der Koordination bekannter Patientenfälle zu unterstützen. Das wissensbezogene Schnittstellenkonzept ist hierbei in Zusammenhang mit der Koordinationsaufgabe der GF zu sehen.

Im folgenden Abschnitt werden die Kriterien, die zur Modularisierung der umfangreichen Wissensbasis angewendet wurden, aufgeführt und hinsichtlich ihrer Verwendung im Partitionierungsprozeß kurz skizziert.

2.3 Modularisierungskriterien

Für die Partitionierung einer umfangreichen Wissensbasis in überschaubare Wissenseinheiten konnten Vorgehensweisen des Software Engineering nicht einfach übertragen werden, sondern sie mußten entsprechend rekonstruiert oder zumindest entsprechend angepaßt werden, um eine Modularisierung von Wissen auf Wissensebene zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang wurde zwischen einer Modularisierung auf globaler und einer auf lokaler Ebene unterschieden. Die *Modularisierung auf globaler Ebene* berücksichtigt die inhaltsbezogene Partitionierung eines zugrundeliegenden Gegenstandsbereichs zu größtmöglichen in Betracht kommenden Wissensmodulen, wohingegen die *Modularisierung auf lokaler Ebene* die inhaltsbezogene Partitionierung des modulinternen Wissens betrachtet.

Die aus der Analyse des zugrundeliegenden Wissensbereichs abgeleiteten Kriterien, welche hier für die Modularisierung von Wissen auf Wissensebene herangezogen wurden, sind global betrachtet, der Klasse der

- *inhaltsbezogenen Kriterien*
- *kontextbezogenen Kriterien*
- *strukturbbezogenen Kriterien*

zuzuordnen.

Inhaltsbezogene Kriterien

Das wichtigste Kriterium zur Abgrenzung von Wissen in einem wissensbasierten System war analog zur Kohäsion im klassischen Software Engineering deren inhaltlicher Zusammenhang. Dieser ist, sowohl von den Wissenselementen selbst, d.h. den Konzepten, Objekten, logischen Ausdrücken und Regeln, als auch von den Kontexten, unter denen diese betrachtet werden können, stark abhängig. Beim Abgrenzungsvorgang sollte daher Klarheit darüber bestehen, in welchem Kontext die Wissenselemente betrachtet werden und welche Prüfkriterien für den inhaltlichen Zusammenhang hierbei herangezogen werden können. Als allgemeine Prüfkriterien für den inhaltlichen Zusammenhang von Wissen wurden hierbei *zeitliche Verwendung*, *Spezifitäts-/Abstraktionsgrad*, *Detaillierungsgrad*, *Prägnanz* und *Ge-sichtsfeld* in Betracht gezogen.

Kontextbezogene Kriterien

Ein komplexer Wissensbereich zeichnet sich u.a. durch verschiedene Kontexte und den hieraus resultierenden Sichten auf die Wissenselemente eines Wissensbereichs, unter denen die Wissenselemente selektiv und in Abhängigkeit des Kontexts in unterschiedlicher Grup-

pierung betrachtet werden können, aus. Die Abhängigkeit der Wissensmodularisierung von den Sichten auf den Wissensbereich bedingte zum einen die genaue Analyse der Wissenselemente in unterschiedlichen Kontexten und zum anderen, im Hinblick auf den hier erforschten Ansatz der Wissenspartitionierung und Wissensorganisation, neben anderen Sichten, die Etablierung einer Basissicht. Die Etablierung einer Basissicht bezieht sich hier auf ein Modul, wobei der gesamte Wissensbereich in der Regel mehrere Basissichten enthält, deren maximale Anzahl derjenigen von Modulen des Wissensbereichs entspricht.

Zu Beginn der Wissenspartitionierung stand zunächst die Analyse der für einen zu partitionierenden Wissensbereich relevanten Kontexte, ferner der Kontextbezug von Wissenselementen des zugrundegelegten Wissensbereichs. Als kontextbezogene Kriterien wurden hierbei Thematik, Funktionalität, Modelltyp, Motivation und Problemlösungsverhalten bei der Partitionierung von Wissen berücksichtigt.

Strukturbezogene Kriterien

Als Ergebnis aus der Anwendung inhalts- und kontextbezogener Kriterien wurden inhaltlich zusammengehörige Wissenselemente, sogenannte Wissenseinheiten, gewonnen, welche aber strukturell gesehen für sich alleine stehen. Das bedeutet, daß die strukturelle Anordnung der Wissenseinheiten innerhalb eines Moduls und der Module selbst bisher noch nicht erfolgt ist. Hierfür können strukturbezogene Kriterien herangezogen werden, die, unter Berücksichtigung u.a. des Abstraktions- und des Spezifitätsgrads sowie der zeitlichen Verwendung von abgrenzbaren Wissenseinheiten, diese in eine strukturelle Anordnung zueinander stellen. Als allgemeine Prüfkriterien für die Anordnung von Modulen und von modulinternen Wissenspartitionen wurden Stabilität, Flexibilität und Balance von Wissenspartitionen innerhalb einer Hierarchie von Wissenseinheiten angesehen.

Es stellte sich dabei heraus, daß das Heranziehen der Kriterien zur inhaltlichen Abgrenzung von Wissen unter Berücksichtigung kontextspezifischer Kriterien und die sich daran anschließenden strukturellen Kriterien zur Anordnung von Wissenseinheiten die Voraussetzung für eine systematische Vorgehensweise bei der Modularisierung des zugrundeliegenden Wissensbereichs bilden.

2.4 Konzeption der wissensbezogenen Komponenten

Für die Konzeption modularen Wissens war ein konzeptuelles Modell der Expertise erforderlich, welches eine systematische Vorgehensweise in der Wissensmodellierung erlaubt und dabei sowohl die Abbildung von planbasiertem Wissen zur Koordination der Wissensmodule als auch die Modellierung lokal abgegrenzter kleinsten Wissenseinheiten inner-

halb dieser Module unterstützt. Eine der Voraussetzungen hierfür war die Differenzierung von Wissenstypen.

Die Kategorien, in denen eine Expertise analysiert und beschrieben wird, basieren auf erkenntnistheoretischen Unterscheidungen und beinhalten unterschiedliche Typen von Wissen. In dieser Hinsicht wurden folgende Wissenstypen unterschieden:

- a) Drei verschiedene Typen von Koordinations-/Kontrollwissen:
 - Strategisches Wissen über die globalen Schlußfolgerungsprozesse unter Berücksichtigung des Problemtyps, der Problemlösungstypen und -methoden
 - Wissen zur Darstellung elementarer Aufgabenklassen und -strukturen
 - Taktikbezogenes Wissen zur Abbildung von Vorgehensweisen über die aufgabenbezogene Integration elementarer Inferenzen
- b) Zwei verschiedene Typen von Bereichswissen:
 - Inferentielles Wissen über die Domäne (dynamischer Teil)
 - Konzeptuelles Wissen über die Domäne (statischer Teil)

Mit Blick auf die hier geforderte Modellierung umfangreicher modularer wie auch erweiterbarer Wissensbestände sowie unter Berücksichtigung der o.g. Wissenstypen, welche eine Betrachtung und Anwendung von Wissen unter verschiedenen Aspekten erlauben, wurde ein allgemeines konzeptuelles Modell erstellt, durch welches die Darstellung der Wissenstypen auf fünf separaten, inhaltlich aufeinander aufbauenden Ebenen zum Ausdruck gebracht werden konnten. Das konzeptuelle Modell, welches sowohl die Darstellung der Wissenstypen reflektierte als auch der externen Modulkoordination und der Koordination von modulinternen Wissenseinheiten zugrundegelegt werden konnte, weist folgende Struktur auf:

Strategieebene	Problemtypen Pläne	Problemlösungstypen Strategien	Problemlösungsmethoden
Aufgabenebene	Klassen und Strukturen von Aufgaben		
Taktikebene	Vorgehenswissen über die aufgabenbezogene Integration elementarer Inferenzen		
Bereichsebene Regeln/Relationen	domänenbezogenes inferentielles Wissen		
Bereichsebene Konzepte/Objekte	domänenbezogenes konzeptuelles Wissen		

Abb. 2.3: Konzept des Ebenenmodells für die Konzeptualisierung modularen Wissens

Die mit einer komplexen und umfangreichen Wissensdomäne einhergehenden Anforderungen an eine flexible Strategieführung legten eine *Strategieebene* nahe, welche Konzepte zur Beschreibung von Problemtypen, Problemlösungstypen und -methoden wie auch von Plänen, die Problemlösungsmethoden abbilden, beinhaltet.

Im Hinblick auf eine größtmögliche Flexibilität im Schlußfolgerungsprozeß wurde eine neue Wissenstyp eingeführt, welcher taktikspezifisches Wissen charakterisiert und im konzeptuellen Modell separat von anderen Wissenstypen abgebildet wurde. Durch die Erweiterung des konzeptuellen Modells um eine neue Ebene, die Taktikebene, wurde der direkte Bezug aufgabenspezifischer Inhalte zu inferenzspezifischen Wissensinhalten geschaffen.

Der Wissenstyp der Taktik setzt hierbei die aktuelle Aufgabe und die mit ihr verbundenen Ziele in Bezug zu dem bereichsspezifischen Wissen von Wissenseinheiten. Eine Taktik ist somit nicht von der übergeordneten Strategie oder einer allgemeinen Aufgabe abhängig. Sie ermöglicht eine selektive Differenzierung verschiedenster Vorgehensweisen in der Abarbeitung von Aufgaben. Entsprechend der aktiven Taktik hat sie eine Fokussierung von Inferenzschritten zur Folge, welche auf den Wissenselementen, den Konzepten und den Objekten der Bereichsebene operieren. Hierdurch wird eine direkte Interpretation unterschiedlicher aufgabenspezifischer Vorgehensweisen über das Inferenzwissen zum Bereichswissen ermöglicht.

Aufgrund der geforderten Erweiterbarkeit von bereichsspezifischem Wissen sowie der vorliegenden komplexen und umfangreichen Wissensdomäne war ein flexibler Einsatz verschiedener, das Bereichswissen berücksichtigender Vorgehensweisen im Schlußfolgern auf der Basis von Taktiken notwendig. Damit die benötigte Flexibilität im Problemlösungsvorgehen jederzeit gewährleistet wird, ist eine direkte Interpretation unterschiedlicher aufgabenspezifischer Vorgehensweisen vornehmlich über das bereichsbezogene inferentielle Wissen erforderlich. Hierzu ist ein direkter Zugriff auf bereichsbezogenes inferentielles Wissen notwendig, welcher eine Trennung des Bereichswissens in zwei Ebenen nahelegt: eine *Ebene für Konzepte und Objekte* und eine dieser Ebene übergeordneten *Ebene für Regeln und Relationen*.

Eine Trennung der Bereichsebene unterstützt wesentlich die Taktiken der Taktikebene in ihrer Funktion als Bindeglied zwischen aufgabenbezogenem und bereichsbezogenem inferentiellen Wissen. Umgekehrt wird über die Taktikebene die Transparenz der Inhalte der Aufgabenebene wie auch derjenigen der Bereichsebene für Regeln und Relationen unterstützt. Aufgrund der separaten Abbildung von inferentiellm und konzeptuellem Wissen ist gleichfalls die Transparenz bereichsspezifischen Wissens gegeben.

Die aufgezeigte Erweiterung auf Strategieebene, die von der Taktikebene bereitgestellte und zuvor beschriebene Funktion sowie die Trennung des inferentiellen von dem konzeptuellen

Bereichswissen erlauben eine kontrollierte Erweiterbarkeit von der Strategieebene bis hin zur Bereichsebene der Konzepte und Objekte.

2.4.1 Konzeptuelles Modell für die Modulkoordination

Die Koordination von Modulen im Schlußfolgerungsprozeß wird durch die globale Fokussierungskomponente (GF) realisiert (s. Abb. 2.2). Dem Auswahlprozeß der Module liegt hierbei die Interpretation einer aktuell vorliegenden Situation durch die GF zugrunde. Der Aufbau der GF basiert auf dem vorgestellten abstrakten konzeptuellen Modell, wobei die Unterschiede zwischen den Ebeneninhalten des abstrakten Modells zu denen des Ebenenmodells der GF aus deren Anforderungen an eine Modulkoordination resultieren. Diese bestehen vor allem darin, daß die für die Modulkoordination relevanten Informationen durch die Konzepte der Strategie-, Aufgaben- und Taktikebene konzeptualisiert sind, welche wie folgt ausgelegt werden.

Strategieebene:

Auf der Strategieebene sind Konzepte für die Auswahl verschiedener Problemtypen und zugehöriger Problemlösungstypen und Problemlösungsmethoden repräsentiert. Aufgrund des abzubildenden Wissensbereichs wird der Problemtyp *Diagnose*, der Problemlösungstyp *Klassifikation* und die Problemlösungsmethode *heuristische Klassifikation* a priori ausgewählt.

Im Hinblick auf eine effiziente Fokussierung von Wissensmodulen werden globale Strategien durch globale Rahmenpläne beschrieben. Diese sind an die jeweiligen Spezialisierungen der Problemlösungsmethoden (z.B. heuristische, fallvergleichende, modellbasierte Klassifikation) angelehnt und definieren das globale Vorgehen im vorliegenden diagnostischen Schlußfolgerungsprozeß, welches einer Abstraktion des diagnostischen Schlußfolgerungsmodells (s. Abb. 2.1) entspricht. Auf der Strategieebene sind verschiedene Repräsentationsformalismen vorgesehen, um unterschiedliche Planqualitäten, wie beispielsweise "konkurrierende Pläne" oder "alternative Pläne", als in sich abgeschlossene Pläne zu definieren, welche als Teilpläne in einen globalen Plan integriert werden können. Durch die situationsbezogene Integration von Teilplänen in den globalen Plan wird der diagnostische Schlußfolgerungsprozeß als Ganzes beschrieben.

Aufgabenebene:

Die Aufgabenebene stellt Konzepte zur Repräsentation von Aufgabenstrukturen als Hierarchien und Heterarchien bereit. Hierarchien strukturieren dabei Aufgabensequenzen, während auf der Basis von Heterarchien parallelisierbare Aufgaben beschrieben werden können.

Beispielhaft sind für sequentielle Aufgaben des Problemtyps Diagnose die "Mustererkennung", die "Hypothesengenerierung" und die "Hypothesenverifikation" (in aufsteigender Folge) anzuführen, die ihrerseits wiederum in Teilaufgaben und Unteraufgaben gegliedert sein können.

Taktikebene:

Die Taktikebene stellt einerseits Konzepte zur Repräsentation von Taktiken und andererseits spezifische Methoden zur Beschreibung des situationsbezogenen inferentiellen Vorgehens unter Berücksichtigung der aktuellen globalen Aufgabe bereit. Hierbei werden verschiedene Taktikqualitäten nach Situationsbezug (z.B. akutgesteuertes Vorgehen) und Aufgabenbezug (z. B. therapiegesteuertes Vorgehen) bereitgestellt. Taktiken können aufgrund ihrer Signifikanz für den Schlußfolgerungsprozeß verschiedene Prioritäten zugewiesen bekommen. Neben Taktikqualitäten können auch Taktikvarianten, wie z.B. alternative Taktiken oder konkurrierende Taktiken repräsentiert werden. Für alternative Taktiken sind beispielhaft ein systemgesteuertes oder benutzergesteuertes Vorgehen bei Planungsbeginn zu nennen. Dagegen verhält sich während des Planungsverlaufs und in Abhängigkeit von vorliegenden Situationen die benutzergesteuerte Taktik als eine konkurrierende zur hypothesengesteuerten Taktik.

Ausgehend von aktuellen Inhalten auf der Strategieebene und des instantiierten globalen Planes werden die Inhalte der Aufgaben- und Taktikebene sowie der Bereichsebene der Regeln/Relationen und derjenigen der Konzepte/Objekte sukzessive aufgebaut.

2.4.2 Modulinternes konzeptuelles Modell

Im Vergleich zur oben vorgestellten Ebeneninterpretation zur Modulkoordination sind für die modulinterne Koordination von Wissenseinheiten insbesondere die Inhalte der unteren drei Ebenen – der Taktik-, der Bereichsebene der Regeln/Relationen sowie der Bereichsebene der Konzepte/Objekte – relevant, welche nachfolgend erläutert werden.

Taktikebene:

Die Taktikebene stellt, wie auf globaler Ebene, einerseits Konzepte zur Repräsentation von Taktiken und andererseits spezifische Methoden zur Beschreibung des situationsbezogenen inferentiellen Vorgehens unter Berücksichtigung der aktuellen lokalen Aufgabe bereit. Da im Vergleich zur globalen Bereichsebene der Regeln/Relationen hier eine bedeutend höhere Komplexität des inferentiellen Wissens vorliegt, ist die konzeptuelle Auslegung der Taktikbeschreibung entsprechend mächtiger. Neben unterschiedlichen taxonomischen Ordnungen von Taktiken, können diese ebenfalls mit Gewichtung und Spezialisierung repräsentiert

werden. Aufgrund des zwischen mehreren Taktiken bestehenden Bezugs werden durch weitere Taktikqualitäten Taktikkombinationen von *sequentiellen*, *parallelen* und *konkurrierenden* Taktiken unterschieden. In der Taktikkonzeption sind ebenfalls schlüsselwortgesteuerte Vorgehenskriterien berücksichtigt.

Bereichsebene (Regeln/Relationen):

Auf dieser Bereichsebene werden Funktionen, Metaregeln und elementare Inferenzschritte zur Lösung bereichsspezifischer Inhalte beschrieben. Des weiteren werden unter Berücksichtigung verschiedener Taktikqualitäten konfigurierte Regelgruppen ebenso wie aus Einzelregeln konstruierte Regelgruppen modelliert, welche unterschiedliche Taktiken und Taktikgruppen zur Ausführung zu bringen. Die inhaltliche Zusammengehörigkeit von Regelgruppen und Einzelregeln aufgrund der zugrundegelegten Taktiken kann durch deren hierarchische Anordnungen zum Ausdruck gebracht werden.

Bereichsebene (Konzepte/Objekte):

Die Bereichsebene der Konzepte/Objekte beschreibt die Objekte, ihre Attribute und Werte des Gegenstandsbereichs, Relationen zwischen ihnen und Metakonzepte über den Objektbereich. Hierbei werden verschiedene Typen von Relationen, mit ihrer jeweils eigenen Semantik unterschieden. Neben den üblichen Relationen *sub-class* und *part-of*, die mehr die inhaltlichen Beziehungen zwischen Objekten ausdrücken, können ebenfalls Relationen, wie beispielsweise *basiert-auf*, *gehoert-zu-sicht*, die mehr die strukturellen Beziehungen zwischen Ordnungen von Objekten und Einzelobjekten beschreiben, repräsentiert werden. Verschiedene Typen kausaler Relationen, wie z.B. *wird-verursacht-durch*, *ist-symptomatisch-fuer*, sind in der Konzeption der Bereichsebene ebenfalls berücksichtigt.

2.5 Flexible Koordination der Wissensmodule

Für die flexible wissensbezogene Koordination zwischen den Modulen der Wissensbasis wurde die globale Fokussierungskomponente (GF) konzipiert. Des weiteren übernimmt und interpretiert die GF technische Berichte der Kontrollkomponente und überführt sie in wissensbezogene Situationen. Die GF ist demnach dafür verantwortlich, die Module der Wissensbasis situationsbezogen und in Abhängigkeit von dem ihr aktuell zugrundegelegten globalen Rahmenplan zu koordinieren. Hierzu gehört auch die Aufbereitung und Übergabe aller relevanten Inhalte an ein Modul sowie die Übernahme und Interpretation der Inhalte der lokalen Fokussierungskomponente eines Moduls.

Da die GF diejenige Komponente ist, die als Bindeglied zwischen den Wissensmodulen und den vom Benutzer vorgegebenen Anforderungen fungiert, müssen die Kriterien der Flexibilität und Erweiterbarkeit ebenfalls an diese Komponente gebunden sein, damit die geforderte dynamische Modulkoordination gewährleistet werden kann. Hierfür wurde das im vorangehenden Abschnitt vorgestellte Konzept des Ebenenmodells für die Modulkoordination entsprechend umgesetzt. Für die Flexibilität im situationsbezogenen Modulauswahlprozeß sind hinsichtlich der modulunabhängigen Koordination des Schlußfolgerungsprozesses insbesondere die oberen drei Ebenen – Strategie-, Aufgaben- und Taktikebene – zuständig. Dagegen wird die Flexibilität auf der unteren Bereichsebene durch das Auswahlverfahren einzelner konkreter Module maßgeblich bestimmt.

2.5.1 Modulare Planungsstrukturen

Um eine größtmögliche Flexibilität auf der Strategieebene zu erhalten, ist die globale Strategie (z.B. heuristische Klassifikation) durch einen globalen Rahmenplan beschrieben. In diesen sind verschiedene Teilpläne (Plan für heuristische Klassifikation, Alternativpläne für Standard- und Akuttherapie) integriert. Die Inhalte der Aufgabenebene (z.B. Hypothesengenerierung, -verifikation) sind als Ablaufsequenzen innerhalb der Teilpläne realisiert. Eine flexible Ablaufsteuerung der Rahmenpläne wie auch innerhalb der Teilpläne wird durch die Integration von globalen Taktiken ermöglicht. In der GF werden drei unterschiedliche Taktikqualitäten mit insgesamt sieben Taktiken unterschieden:

- basisgesteuerte Taktikqualität:* system- und benutzergesteuerte Taktik
- datengesteuerte Taktikqualität:* symptom-, muster- und hypothesengesteuerte Taktik
- therapiegesteuerte Taktikqualität:* akut- und therapiegesteuerte Taktik

Die Integration der Wissensmodule im zeitlichen Prozeß ist durch globale Rahmenpläne gegeben und basiert auf einer Spezifikation des Ablaufverhaltens bzgl. des vorliegenden Schlußfolgerungsmodells. Die Art der Integration wird maßgeblich vom Typ eines Moduls (Akquisitions- oder Diagnosemodul) bestimmt und variiert in Abhängigkeit von lokalen Mодулерезультатах und von Benutzereingaben, deren Einfluß auf den Schlußfolgerungsprozeß durch eine der o.g. Taktiken realisiert wird.

Die Modulkoordination der globalen Fokussierungskomponente, deren Steuerung durch Rahmenpläne vorgenommen wird, berücksichtigt die Koordination aller Akquisitionsmodule (hier: M_A , M_{KU} , M_L , M_{DV}) und die Koordination der Diagnosemodule (hier: M_{ME} , M_{HG} , M_{HV}).

Alle globalen Strategien, hier die Problemlösungstypen und -methoden betreffend, werden im vorgestellten Plankonzept durch Rahmenpläne beschrieben, welche situationsbezogen eine Spezifikation des Ablaufverhaltens bezüglich des zugrundeliegenden Schlußfolgerungs-

modells in Form von Planskeletten integrieren. Bevor ein Rahmenplan aktiviert wird, werden Problemtyp, Strategie und Datenbasisstatus analysiert. Das Ergebnis hieraus ist die Auswahl und Aktivierung eines geeigneten Rahmenplans.

Beispielhaft für einen Rahmenplan ist der in Abb. 2.4 vereinfacht dargestellte Ablauf für die heuristische Klassifikation. Die Skizze des Rahmenplans veranschaulicht, daß neben einer definierten Standardabfolge von Teilplänen (durchgezogene Pfeile) auf horizontaler Ebene unterschiedliche Varianten im Wechsel von Teilplänen (gestrichelte Pfeile) möglich sind. Für den Ablauf in einem Rahmenplan bedeutet dies, daß die Abfolge von Teilplänen nicht festgelegt ist, sondern in Abhängigkeit von der aktuell vorliegenden Situation durch Taktiken bestimmt wird.

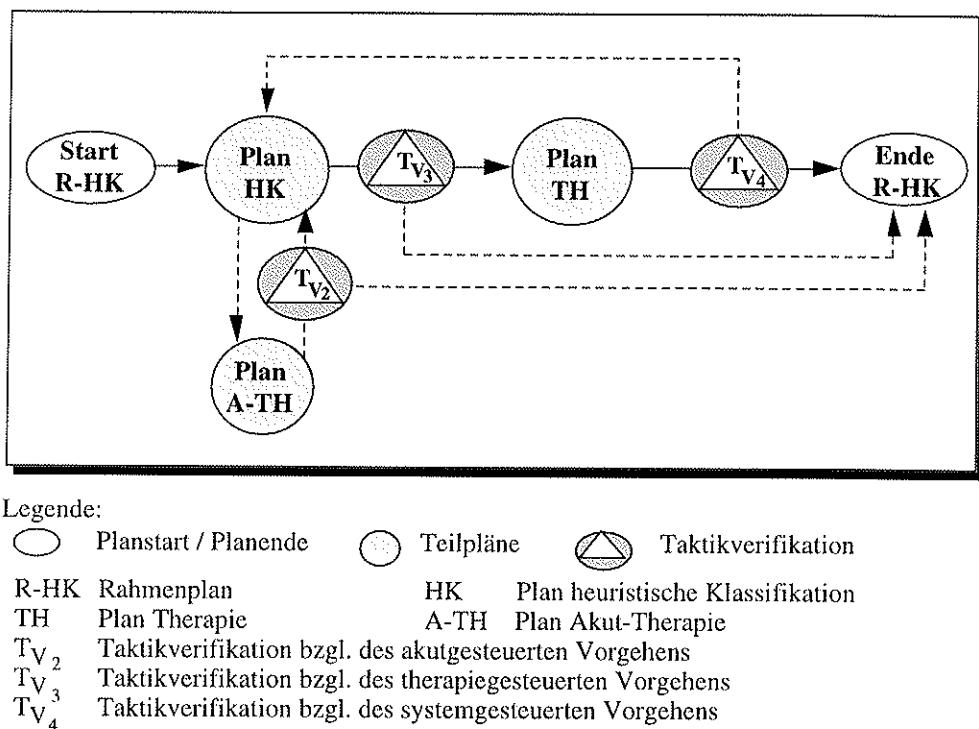


Abb. 2.4: Rahmenplan für die heuristische Klassifikation

Ein Rahmenplan beinhaltet verschiedene Teilpläne unterschiedlicher Qualität. Für den Rahmenplan der heuristischen Klassifikation beispielsweise (s. Abb. 2.4) gibt es den hierzu charakteristischen Basisteilplan (Plan HK) sowie alternative Teilpläne für die Therapie, namentlich die Akut-Therapie (Plan A-TH) und die standardmäßig durchgeführte Therapie (Plan TH).

Informationen können dabei sowohl zwischen Teilplänen auf gleicher Abstraktionsebene als auch zwischen verschiedenen Abstraktionsebenen (globale Ebene ↔ lokale Ebene) ausgetauscht werden. Die Wechsel zwischen Teilplänen auf horizontaler Ebene basieren auf Taktiken, die in Abhängigkeit von der aktuell vorliegenden Situation bestimmt werden, wo-

hingegen ein vertikaler Ebenenwechsel durch Übergabe des Fokus an ein von einem Teilplan bestimmtes Modul gekennzeichnet ist.

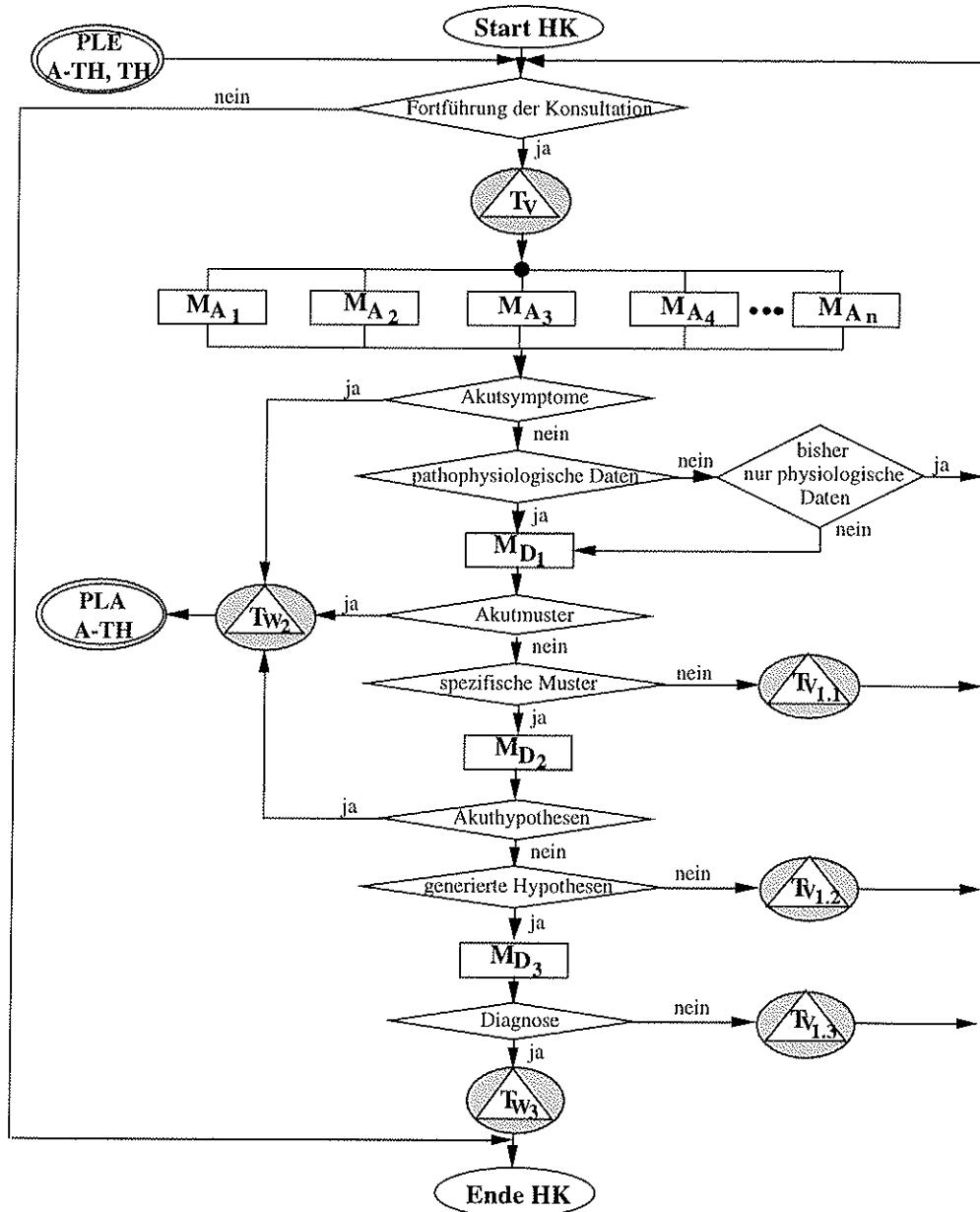
Im folgenden soll am Beispiel (s. Abb. 2.5) des Ablaufs des Teilplans *heuristische Klassifikation* (hier: heuristische-klassifikation) das globale Fokussierungsvorgehen illustriert werden.

2.5.2 Globales Fokussierungsvorgehen

In Abhängigkeit vom gewählten Plan werden die aus dem Schlußfolgerungsmodell abgeleiteten Akquisitionsmodule (hier: $M_{A_1} - M_{A_4}$) und Diagnosemodule (hier: $M_{D_1} - M_{D_3}$) bei Planbeginn instantiiert, wobei die Namen der einzelnen Module und deren Inhalte für die globale Fokussierungskomponente auf der Strategieebene keine Rolle spielen.

Im Planablauf für die heuristische Klassifikation (Plan HK) stehen verschiedene Qualitäten von Taktiken bereit, deren Ausführung zwischen Taktikwechsel (T_W) und Taktikverifikation (T_V) unterscheidet. Ein Taktikwechsel wird inhaltsorientiert durchgeführt und dann vorgenommen, wenn neue bzw. veränderte Situationen im Plan auftreten und die zuvor aktive Taktik diesen Situationen nicht mehr gerecht wird. Die Taktikverifikation wird ablauforientiert durchgeführt und bewertet eine vorliegende Taktik im Hinblick auf ihre Auswirkung sowohl in den Teilplänen (hier: Plan HK) als auch in den Rahmenplänen für die heuristische Klassifikation (hier: R-HK s. Abb. 2.4).

Des Weiteren sieht das Modell des Planungsablaufs (hier: Plan HK) in horizontaler Ebene einen Planwechsel zum Akutplan und in vertikaler Ebene die Fokussierung von Wissensmodulen vor. Eine Fokusabgabe an ein Modul der Wissensbasis ist hierbei immer gleichzusetzen mit der Aktivierung der lokalen Fokussierungskomponente (LF) auf der Wissensebene. Die lokalen Ergebnisse des fokussierten Wissensmoduls werden der globalen Fokussierungskomponente (GF) übergeben. Das Modul gibt seinen Fokus wieder an die GF und wird dabei inaktiv. Die GF interpretiert die Ergebnisse des Moduls und arbeitet den Plan weiter ab. Interessant sind dabei die unterschiedlichen Qualitäten von Planaktivitäten. Einerseits werden Planwechsel zwischen Teilplänen vorgenommen, andererseits sind innerhalb von Plänen Übergänge zwischen der GF und der lokalen Fokussierungskomponente integriert.



Legende:

○ Planstart / Planende	○ Planeinstieg / Planausstieg	△ Taktikverifikation / Taktikwechsel
MA ₁ – MA ₄ Module aus dem Akquisitionsbereich	MD ₁ – MD ₃ Module aus dem Diag. Bereich	
PLE/PLA Planeinstieg / Planausstieg		
TV steuerungsbezogene Taktikverifikation		
TV _{1,1} Taktikverifikation bzgl. des symptomgesteuerten Vorgehens		
TV _{1,2} Taktikverifikation bzgl. des mustergesteuerten Vorgehens		
TV _{1,3} Taktikverifikation bzgl. des hypothesengesteuerten Vorgehens		
TW ₂ Taktikwechsel bzgl. des akutgesteuerten Vorgehens		
TW ₃ Taktikwechsel bzgl. des hypothesengesteuerten Vorgehens		

Abb. 2.5: Modell des Planungsablaufs für heuristische Klassifikation

2.6 Modulinterne Organisation von Wissenseinheiten

Die Entwicklung von modularen Wissensbasen im Team besteht nicht nur darin, die Gesamtdomäne in grobe abgrenzbare Einheiten – Module – zu zerlegen; vielmehr sollte jedes Modul wiederum aus kleineren, voneinander abgrenzbaren Wissenseinheiten aufgebaut sein. Dies erlaubt zunächst eine getrennte Entwicklung von überschaubaren Wissenseinheiten. Des weiteren lässt sich eine modulinterne Struktur auf der Basis von kleinsten Wissenseinheiten, wie sie in dieser Arbeit vorgestellt wird, erweitern und bietet daher dem Knowledge Engineer bei der Modellierung von Wissen eine größere Flexibilität. Der Vorteil der Flexibilität, der sich aus der Modellierung von Wissen in kleineren Wissenseinheiten ergibt, kann sich nachteilig auf die Koordination derselben auswirken. Vor diesem Hintergrund ist es um so bedeutender, das konzeptuelle Ebenenmodell für die modulinterne Wissensstrukturierung so umzusetzen, daß es folgenden Anforderungen genügt:

- Erweiterbarkeit von Bereichs- und Koordinationswissen (strategisches, aufgabenbezogenes und taktikspezifisches Wissen) auf der Basis von kleinsten Wissenseinheiten eines jeden Moduls
- Situationsbezogener Zugriff auf Bereichswissen innerhalb einer Wissenseinheit eines jeden Moduls
- Dynamischer Aufbau der Basisstruktur von Wissenseinheiten eines jeden Moduls
- Alternative Sichten auf die Basisstruktur von Wissenseinheiten eines Moduls
- Dynamischer Aufbau alternativer Strukturen von Wissenseinheiten, die sich aus den alternativen Sichten auf die Basisstruktur von Wissenseinheiten ergeben können

Mit Blick auf eine erweiterbare modulare Wissensbasis und ihre Fokussierung soll die lokale Fokussierungskomponente den situativen Zugriff auf kleinste Wissensbestände innerhalb einer modulinternen Wissenseinheit ermöglichen und koordinieren. Dabei sind folgende Anforderungen an sie zu stellen:

- Domänenunabhängigkeit
- Erweiterbarkeit einer modularen Wissensbasis um bereichs- und koordinationsbezogenes Wissen
- heuristische Effizienz des Problemlösungsvorgehens

Damit die lokale Fokussierungskomponente den o.g. Anforderungen entsprechen kann, ist eine modulinterne Umsetzung des hier zugrundegelegten konzeptuellen Modells auf der Basis sich dynamisch aufbauender Wissenseinheiten notwendig, die situationsbezogen fokussiert werden können.

2.6.1 Modulinterne Organisationsstrukturen

Eine Wissenseinheit assembliert aus der modulinternen, gemäß den vorgestellten Modularisierungskriterien vorgenommenen, Wissensabgrenzung extrahiertes Wissen unterschiedlicher Qualität und ist als abstrakter Begriff zu verstehen, der keinerlei Aussage über die interne Organisation von Wissen trifft. Mit Blick auf die geforderte Erweiterbarkeit einer modularen Wissensbasis auf allen Ebenen des konzeptuellen Modells ist jedoch eine explizite Differenzierung und Strukturierung verschiedener Wissensqualitäten notwendig. Hierfür werden Wissensqualitäten in einem ersten Schritt unter Berücksichtigung bereichs- und koordinationsbezogener Wissensmerkmale unterschieden.

Eine weitergehende Differenzierung von bereichs- und koordinationsbezogenem Wissen führt zu einer spezifischeren Untergliederung von Wissen einer Wissenseinheit und erlaubt eine eindeutige Zuordnung von Wissen zu den Wissensinhalten der Ebenen des konzeptuellen Expertisemodells. Die hierfür notwendige konzeptuelle Umsetzung des Modells in den modulinternen Wissenseinheiten erfolgt durch das in dieser Arbeit eingeführte Konzept der Kompetenzeinheiten. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine vereinfachte Darstellung des strukturellen Aufbaus exemplarisch an einer Kompetenzeinheit (hier: KE₂); jede Kompetenzeinheit in der modularen Wissensbasis ist durch den gleichen strukturellen Aufbau gekennzeichnet.

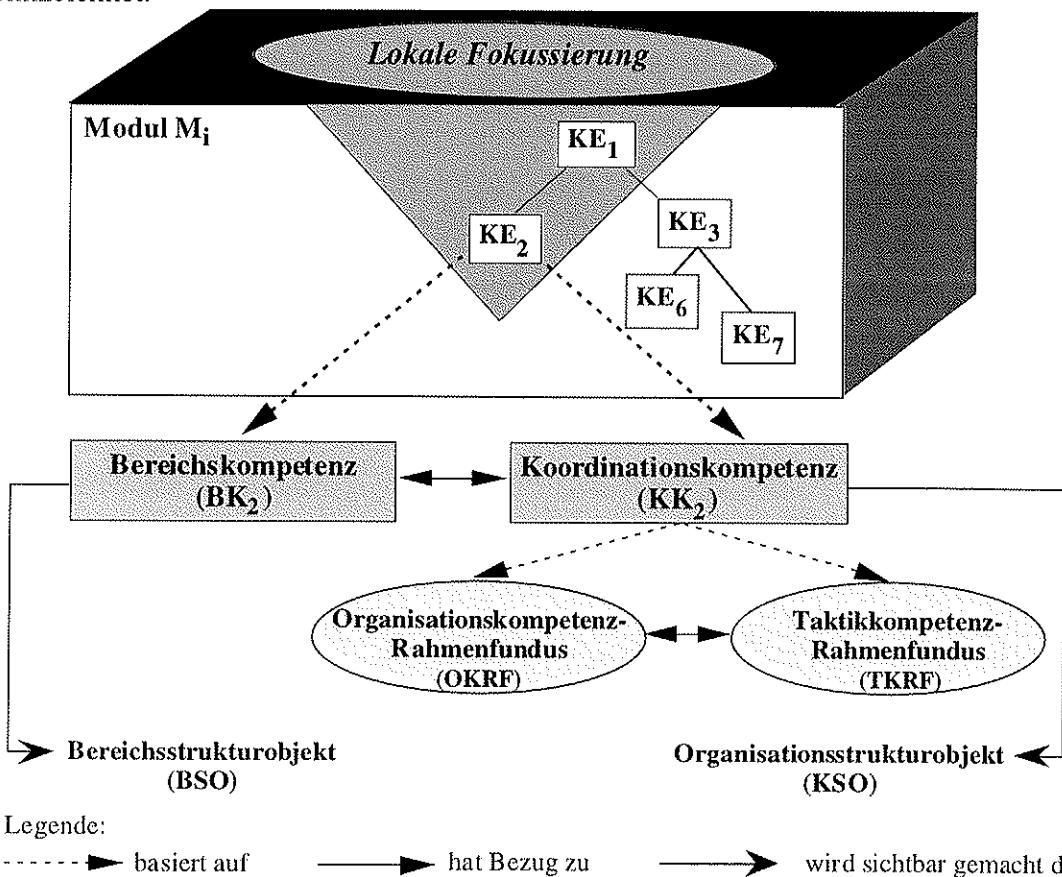


Abb. 2.6: Skizze des strukturellen Aufbaus einer Kompetenzeinheit

Eine Kompetenzeinheit (KE) stellt den Bezug zwischen einer bereichsspezifischen Einheit (BK) und einer koordinationsspezifischen Einheit (KK) einer modulinternen Wissenseinheit (z.B. im Modul Labor die Wissenseinheit **differenzierung-proteine**) in folgender Weise her:

- Eine *bereichsspezifische Einheit* eines Moduls M_i beinhaltet Konzepte und Objekte, Relationen zwischen diesen, Regeln und Funktionen über diesen Objekten in Abhängigkeit vom vorliegenden Bereich (z.B. Wissen über die Differenzierung von Proteinen im Modul Labor für die Bereichsstruktureinheit **differenzierung-proteine**). Sie referenziert auf das Wissen der Bereichsebene für Regeln/Relationen und Objekte/Konzepte des konzeptuellen Modells und wird als Bereichskompetenz (BK) bezeichnet. Eine Erläuterung bereichsspezifischer Wissenseinheiten wird in Abschnitt 7.3 vorgenommen.
- Eine *koordinationsspezifische Einheit* eines Moduls M_i referenziert auf das Wissen der Strategie-, Aufgaben- und Taktikebene des konzeptuellen Ebenenmodells der Expertise und wird als Koordinationskompetenz (KK) bezeichnet. Hierzu steht eine Koordinationskompetenz in Relation zu den beiden Rahmenfundi – Organisationskompetenz-Rahmenfundus (OKRF) und Taktikkompetenz-Rahmenfundus (TKRF) – eines Moduls M_i . Ein *Rahmenfundus* beschreibt in Zusammenhang mit der in dieser Arbeit vorgestellten Organisation modularen Wissens zweierlei: zum einen den Rahmen für das modulinterne Problemlösungsverhalten, d.h. das innerhalb eines Moduls M_i zulässige Problemlösungsverhalten, zum anderen den Fundus an möglichen modulinternen Vorgehensweisen bei der Problemlösung.
- Das gesamte strategische und das gesamte aufgabenbezogene Wissen eines Moduls M_i , respektive deren Beziehung zueinander, werden durch Konzepte des mit dem Modul M_i korrespondierenden *Organisationskompetenz-Rahmenfundus* repräsentiert.
- Der *Taktikkompetenz-Rahmenfundus* eines Moduls M_i beinhaltet Konzepte zur Präsentation von Wissen über unterschiedliche Qualitäten von Taktiken und deren Beziehung zueinander.
- Beide Rahmenfundi (OKRF, TKRF) definieren die Möglichkeiten eines Moduls, die Reihenfolge der Anwendung modulspezifischer Aufgaben unter Zugrundelegung einer Strategie zu planen. Des weiteren definieren Rahmenfundi unterschiedliche lokale Vorgehensweisen – Taktiken – zur Lösung einer Aufgabe im Hinblick auf die bereichsspezifischen Gegebenheiten.
- Der Aufbau und die Inhalte von Bereichs- und Koordinationskompetenzen werden dynamisch durch die jeweiligen Strukturobjekte – Bereichsstrukturobjekte (BSO) und Koordinationsstrukturobjekte (KSO) – sichtbar gemacht.

Im nachfolgenden Abschnitt sind die verschiedenen Möglichkeiten der strukturellen Ordnung von Bereichskompetenzen Gegenstand der Betrachtung.

2.6.2 Basissicht und alternative Sichten

Die Bereichskompetenzen stehen innerhalb eines Moduls M_i durch die hierarchische Anordnung derselben in Bezug zueinander, wobei verschiedene strukturelle Ordnungen von Bereichskompetenzen (BK'en) unterschieden werden können, welche als

- *Basisstruktur (BSSBK (M_i))*
- *alternative Sichtenstruktur (BSSBK (M_i))*

bezeichnet werden.

Aus den verschiedenen Sichten, die ein Knowledge Engineer bei der Modellierung eines Modulbereichs zugrundelegen kann, wurde diejenige Sicht, die sich bezüglich einer inhaltsbezogenen Abgrenzung des gesamten Modulbereichs als geeignet erwies als *Basissicht* etabliert. Eine auf einer Basissicht begründete strukturelle Anordnung von Bereichskompetenzen eines Moduls M_i wird als *Basisstruktur (BSSBK (M_i))* bezeichnet.

Neben der als Basissicht ausgezeichneten Sicht auf den Bereich eines Moduls M_i existieren, wie oben angeführt, weitere Sichten auf den Bereich, welche als *alternative Sichten* auf die Objekte der Basisstruktur zu weiteren strukturellen Anordnungen von Bereichskompetenzen führen.

Die Basisstruktur von Bereichskompetenzen spiegelt nur annähernd die Sicht auf den Bereich, die der Knowledge Engineer der Modellierung zugrundegelegt hat, wider. In diesem Zusammenhang bedeutet "annähernd", daß die Gewährleistung des *Balance-Kriteriums* das Einbeziehen zusätzlicher Bereichskompetenzen in eine Hierarchie von Bereichskompetenzen erfordert. Virtuelle Bereichskompetenzen sind dadurch gekennzeichnet, daß sie kein wesentliches domänenspezifisches Wissen, sondern mehr strukturgebende inhaltsbezogene Wissenselemente (z.B. Oberbegriffe) beinhalten.

2.6.3 Fokussierungsalgorithmus

Die Koordination von Wissensmodulen auf der globalen Ebene wird von einer wissensbezogenen Planungskomponente – globale Fokussierungskomponente (GF) – vorgenommen. Die Koordination auf lokaler Ebene hingegen, d.h., die situative Auswahl von Kompetenz-einheiten KE'en innerhalb eines Moduls M_i , übernimmt die lokale Fokussierungskomponente (LF).

Das koordinatorische Vorgehen der lokalen Fokussierungskomponente zur situativen Auswahl von Kompetenz-einheiten wird durch einen Fokussierungsalgorithmus (FOA) realisiert,

welcher in sechs Phasen gegliedert ist, wobei die beiden wichtigsten Phasen des FOA die Auswahlphase und die Spezifikations-/Abstraktionsphase darstellen. In der Auswahlphase werden auf der Basis von zwei Suchverfahren diejenigen Kompetenzeinheiten (KE'en) eines Moduls M_i ausgewählt und fokussiert, die sich als kompetent für die Anforderungen einer gegebenen Situation erweisen.

Die Auswahl und Fokussierung von Kompetenzeinheiten erforderte zunächst eine auf Suchverfahren basierende Selektion möglicher auszuwählender Kompetenzeinheiten, welches folgende folgende Aspekte berücksichtigt:

- die Komplexität des Suchraumes, welche durch die unterschiedlichen Möglichkeiten der inhaltsbezogen strukturellen Ordnung von Kompetenzeinheiten innerhalb eines Moduls M_i vorliegt
- die Lokalisation der durchschnittlich erwarteten Konzentration von zu verarbeitenden Daten bezogen auf die gegebene strukturelle Ordnung von Kompetenzeinheiten innerhalb eines Moduls M_i

Mit Blick auf die verschiedenen Möglichkeiten der strukturellen Ordnung von Kompetenzeinheiten (Basisstruktur, alternative Sichtenstrukturen) innerhalb eines Moduls M_i sowie der Konzentration von etwa 90%¹ der zu verarbeitenden Daten auf den ersten drei Hierarchieebenen der strukturellen Ordnungen von Kompetenzeinheiten erwiesen sich zwei verschiedene Suchverfahren als geeignet:

- eine kombinierte Breiten-/Tiefensuche, die zunächst standardmäßig eingesetzt wird, um die auf den ersten drei Ebenen erwartete Datenkonzentration durch die dort auswählbaren Kompetenzeinheiten zu verarbeiten
- eine Tiefensuche, die als spezifische Suche dann eingesetzt wird, wenn die kombinierte Breiten-/Tiefensuche nicht zum Erfolg führt

Für die Auswahl von Kompetenzeinheiten ist im Anschluß an deren datenbezogene Vor selektion anhand geeigneter Suchverfahren die Einschätzung und Bewertung hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Problemlösungsfähigkeiten erforderlich, welche in den der Auswahlphase untergeordneten Phasen, der Einschätzungs- und der Bewertungsphase, vorgenommen werden. Beide Phasen haben die Synthese der situativen Problemlösungsfähigkeit jeder einzelnen im Fokus stehenden Bereichskompetenz ($BK_j(KE_j(M_i))$) zum Ziel.

Die zweite wichtige Phase des Fokussierungsalgoritmus, die Spezifikations-/Abstraktionsphase hat zum Ziel, die durch die aktuelle Situation geforderten und im Organisationskompe

¹ Diese Angabe basiert auf einer Analyse authentischer Fälle hinsichtlich der zu verarbeitenden Daten im Vergleich mit der Problemlösungsfähigkeit von Kompetenzeinheiten.

tenz-Rahmenfundus² (OKRF) beschriebenen Aufgaben auszuführen. Die fokussierte Kompetenzeinheit (KE_{fok}) referenziert auf den OKRF des aktiven Moduls M_i, so daß die auszuführenden Aufgaben (A) in KE_{fok} bekannt sind. Dabei soll berücksichtigt sein, daß eine Hierarchie von Aufgaben vorliegen kann. Diese Hierarchie wird durch eine im FOA definierte Bearbeitungsvorschrift abgearbeitet. Das durch diese Vorschrift charakterisierte Vorgehen setzt sich aus Spezifikations- und nachfolgenden Abstraktionsschritten zusammen. Die Abfolge der Spezifikations- und Abstraktionsphasen basiert auf der Annahme, daß die Ausführung einer Aufgabe A_k eine ausgeführte Aufgabe A_{k+1} voraussetzt. Dabei ist A_k die abstraktere und A_{k+1} die spezifischere Aufgabe von KE_{fok}.

Nach Abschluß der Spezifikations-/Abstraktionsphase setzt der FOA seinen Fokus auf diejenige KE(M_i), welche nun die höchste Kompetenz aufweist (s. Auswahlphase).

2.6.1 Kontextbezogene Regelkoordination

Bei einer komplexen, größtenteils assoziativen Wissensbasis ist das Problemlösungsverhalten, bezogen auf eine Aufgabe, von unterschiedlichster Ausprägung. Einerseits bedingen die unterschiedlichen inhaltsbezogenen Ausrichtungen der Module (z.B. basierend auf funktionale oder krankheitsbezogene Aspekte) eine Flexibilisierung des inferentiellen Vorgehens. Andererseits erfordern verschiedene Sichten auf modulinterne Wissensinhalte eine dynamische, inhaltliche und strukturelle Organisation sowohl von bereichsspezifischem als auch von inferentiell Wissen. Die Handhabbarkeit der Komplexität der zugrundeliegenden modularen Wissensbasis erfordert nicht nur eine flexible Organisation von inferentiell Wissen aufgrund inhaltlicher Gegebenheiten, sondern auch im Hinblick auf die Erweiterbarkeit desselben.

Assoziatives Schlußfolgerungswissen wird im allgemeinen, wie auch in dem hier zugrundeliegenden Gegenstandsbereich, in Form von Regeln repräsentiert; diese können nach unterschiedlichen Kriterien gruppiert werden. Damit den oben genannten Anforderungen an eine flexible Organisation von inferentiell Wissen entsprochen werden kann, wurde eine situationsbezogene dynamische Gruppierung von Regeln bzw. Regelgruppen konzipiert unter welchen die *taktikgesteuerte Regelgruppierung* und die *schlüsselwortgetriebene Regelkomposition*.

Die *taktikgesteuerte Regelgruppierung* betrachtet die inhaltliche Zusammengehörigkeit von Regeln. Diese basiert auf der situationsbezogenen Auswahl von lokalen Vorgehensweisen (Taktiken), welche die Anwendung inferentiellen Wissens aufgrund einer gegebenen Auf-

² Ein Organisationskompetenz-Rahmenfundus eines Moduls M_i beinhaltet die Konzepte zur Beschreibung von organisatorischem und aufgabenbezogenem Wissen eines Moduls M_i. Eine genaue Beschreibung der inhaltlichen Struktur eines Organisationskompetenz-Rahmenfundus ist dem Abschnitt 7.3.2 zu entnehmen.

gabe bestimmen. Einerseits kann die situationsbezogene Zusammengehörigkeit von Inferenzen, welche durch Taktiken beschrieben werden, auf der technischen Seite durch Gruppierung von Regeln gelöst werden. Andererseits sollte eine Regelgruppierung aufgrund der lokalen Situationsbezogenheit von Taktiken nicht statischer Natur sein, sondern eine neue Regelgruppierung zur Laufzeit erlauben.

Durch die taktikgesteuerte Regelgruppierung besteht aufgrund lokaler Vorgehensweisen und verfügbarer Regeln sowie Bereichsobjekten die Möglichkeit, diejenigen Regelgruppierungen auszuführen, welche für eine gegebene Aufgabe eine gute Lösung finden können. Bei der Beurteilung, wie gut eine Taktik eine Aufgabe lösen kann, wird deren Taktikqualität und deren Einschätzung im Vergleich zu anderen möglichen Taktiken berücksichtigt.

Bei der *schlüsselwortgetriebenen Regelkomposition* ist neben der Gruppierung von Einzelregeln ebenfalls eine Erweiterung von Regelgruppen um Einzelregeln möglich. Die hier beschriebene schlüsselwortgetriebene Regelkomposition bezieht sich immer auf die bereichsspezifischen Regeln einer Kompetenzeinheit. Regeln, die auf strategische und aufgabenbezogene Wissensinhalte einer Kompetenzeinheit referenzieren, werden von der schlüsselwortgetriebenen Regelkomposition nicht berücksichtigt. Hierbei können Einzelregeln und Regelgruppen innerhalb eines modulinternen Wissensausschnitts (hier: Kompetenzeinheit) durch signifikante Begriffswörter, die mit diesen assoziiert sind, neu zusammengesetzt werden. Die maximale Anzahl der Regeln bei einer schlüsselwortgetriebenen Regelkomposition entspricht der maximalen Anzahl von Regeln einer Kompetenzeinheit. In den meisten Fällen wird durch den Einsatz von Begriffswörtern ein Filter über die Gesamtanzahl der bereichsspezifischen Regeln in einer Kompetenzeinheit gelegt, wodurch diese auf die relevante Regelmenge reduziert werden kann.

Die schlüsselwortgetriebene Regelkomposition wird nicht zur Auswahl von abgegrenzten Wissensausschnitten, sondern innerhalb eines Wissensausschnitts zur situativen Auswahl von Regeln hinsichtlich einer Komposition von aktuellen Regelgruppen, bezogen auf eine zu lösende Aufgabe, eingesetzt.

Abbildung 2.7 veranschaulicht einen Ausschnitt aus der Regelbasis einer Bereichskompetenz BK_j eines Moduls M_i und den Effekt der verschiedenen Gruppierungsmaßnahmen von Regeln, wobei hier:

- (1) die dynamische Regelgruppierung auf der Basis von Schlüsselwörtern
- (2) die dynamische Regelgruppierung unter Berücksichtigung von Aufgaben und Taktiken einer Koordinationskompetenz KK_j
- (3) die dynamische Regelgruppierung auf der Basis von Schlüsselwörtern und unter Berücksichtigung von Aufgaben und Taktiken einer Koordinationskompetenz KK_j

unterschieden werden.

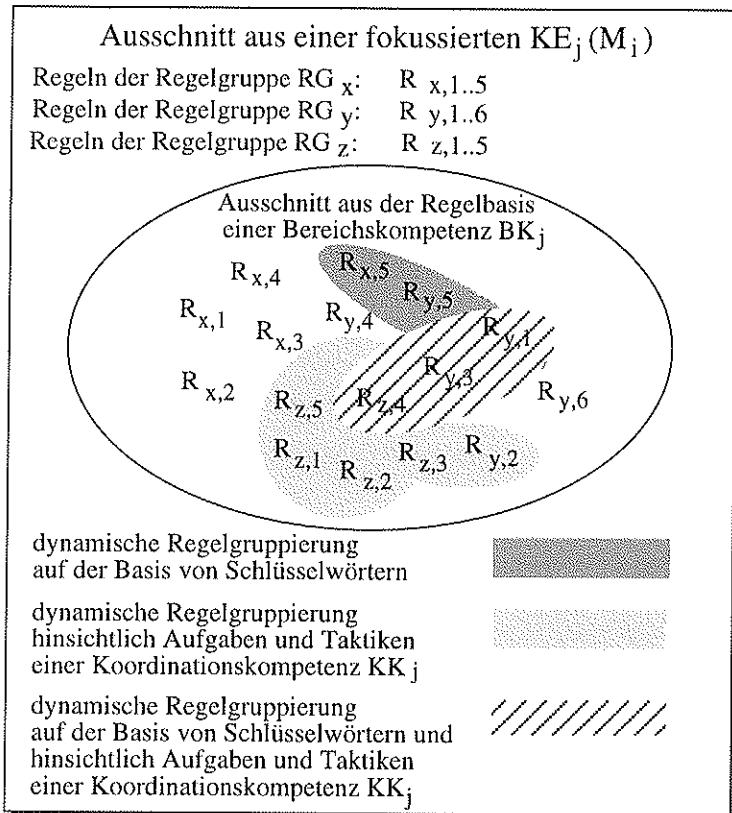


Abb. 2.7: Skizze der taktik- und schlüsselwortgesteuerten Regelgruppierung in einer fokussierten Kompetenzeinheit

Die im folgenden geführte Diskussion der gewählten Konzepte zur Modularisierung von Wissen auf Wissensebene berücksichtigt vordergründig deren Tragfähigkeit im realisierten prototypischen System hinsichtlich der Lokalität des repräsentierten Wissens und des Problemlösungsverhaltens der Kompetenzeinheiten als auch deren Erweiterbarkeit um bereichs- und koordinationsspezifisches Wissen. Weiterhin werden die angestrebte Entwickelbarkeit der Wissensbasis im Team und hierbei gewonnene Erfahrungen besprochen.

2.7 Diskussion der gewählten Konzepte

Das vordringlichste Ziel bestand in der Modularisierung und Organisation umfangreicher Wissensbestände und deren Entwicklung im Team. Die hierbei gewonnenen Erfahrungen zeigten, daß sich das Vorgehen in folgenden Punkten bewährte.

Aus der modularisierungsgerichteten Wissensakquisition wurde ein Schlußfolgerungsmodell gewonnen, welches als Richtlinie für die Modularisierung im Großen, d.h. die Identifikation der größten, inhaltlich abgrenzbaren Wissenseinheiten, der Wissensmodule, diente. Des weiteren erwies sich die fallbasierte Vorgehensweise am Modell als Grundlage für eine, simultan zur Wissenserhebung umgesetzte Zuordnung des erhobenen Wissens zu Modulen

durch die Experten selbst. Ebenfalls unterstützte diese Vorgehensweise das sukzessive Verfeinern des Schlußfolgerungsmodells und erlaubte parallel dessen frühzeitige Validierung durch die Experten. Es wurde festgestellt, daß die Phase der Wissensakquisition bereits zu einem früheren Zeitpunkt der alleinigen Zuständigkeit des Knowledge Engineers hätte übergeben werden können. Dieser Zeitpunkt erscheint, retrospektiv betrachtet, dann erreicht, wenn das Schlußfolgerungsmodell sich in mehreren Akquisitionssitzungen bewährt hat und bereits einige Zuordnungskriterien hinsichtlich einer inhaltlichen Partitionierung gefunden wurden.

Einer der Schwerpunkte bestand in der Aufstellung von Kriterien, die einer wissensbezogenen Modularisierung zugrundegelegt werden sollten. Eine hierbei aufgetretene Problematik lag zunächst darin, Kriterien, welche das Software Engineering als maßgebend bezeichnet, hinsichtlich ihrer Relevanz für die hier beabsichtigte Modularisierung auf Wissensebene einzuschätzen und wenn möglich zu adaptieren oder, vor dem Hintergrund der konventionellen prozeßorientierten Sicht, zu verwerfen. Ebenfalls wurde festgestellt, daß eine Priorität hinsichtlich der Reihenfolge der Anwendung aufgestellter Modularisierungskriterien bei der Wissensstrukturierung und -partitionierung sehr schwer festzulegen war. Ein zusätzliches Erschwernis bzgl. der Prioritätenvergabe an Kriterien bildeten hierbei die verschiedenen Sichten mehrerer Experten. Des weiteren schien eine allgemeine Handhabung der gegenseitigen Abhängigkeiten strukturbezogener, kontextorientierter und inhaltsbezogener Kriterien bisher nicht möglich.

Ein großer Vorteil, der mit dem erstellten Ebenenmodell zur Wissenskonzeptualisierung, insbesondere jedoch mit der eingeführten Taktikebene, verbunden ist, liegt in der Möglichkeit, sowohl "top-down" als auch "bottom-up" vorgehen zu können. Unter dem Prinzip "top-down" wird das Definieren von Strategien, Aufgaben und Unteraufgaben verstanden, während das Prinzip "bottom-up" die Aufbereitung als auch Erweiterung von bereichsspezifischem Wissen auf beiden Bereichsebenen umfaßt. Die Ergebnisse beider Vorgehensweisen werden über die Taktikebene zusammengesetzt und integriert. Die Integration von neuem oder Kombination mit bereits vorhandenem inferentiellen Wissen kann über die Einführung einer weiteren Taktik oder über eine bereits bekannte Taktik realisiert werden, womit die Transparenz des Schlußfolgerns gewährleistet ist.

2.7.1 Lokalität und Erweiterbarkeit

Eine weitere Erfahrung mit der Einführung der Taktikebene ist in Zusammenhang mit der Wissenslokalität zu betrachten und zeigte, daß sowohl lokal verschiedene Vorgehensweisen unterschiedlicher Experten modelliert, als auch eine Erweiterung um weitere Regeln und Regelgruppen ohne größeren Aufwand umgesetzt werden konnte. Des weiteren konnte neues

aufgabenbezogenes Wissen ohne wesentliche Einflußnahme auf bestehendes inferentielles Wissen integriert werden.

Des weiteren gewährleistete die Wissensmodellierung unter Zugrundelegung des Konzepts der Kompetenzeinheit die ganzheitliche Realisierung einzelner modulinterner Wissenseinheiten: von der Wissenserhebung bis hin zur integrierbaren lauffähigen Wissenseinheit. Die Erfahrungen haben gleichfalls gezeigt, daß während der Wissensbasisentwicklung die modulinternen Wissenseinheiten um bereichs- und koordinationsspezifisches Wissen erweitert werden konnten, ohne daß es hierbei zu großen Auswirkungen auf bereits vorhandenes Wissen kam.

Die Tragfähigkeit des Konzepts der Kompetenzeinheit erwies sich des weiteren im Rahmen der Partitionierung eines sehr großen zu ca. 70% implementierten Wissensmoduls in zwei Module. Aufgrund der Lokalität des bereichs- als auch koordinationsspezifischen Wissens, als auch der flexiblen Selbstorganisation des strukturellen Aufbaus durch die Kompetenzeinheiten war es innerhalb von 36 Std. möglich, zwei getestete Module in den diagnostischen Schlußfolgerungsprozeß zu integrieren, welche daraufaufbauend jeweils erweitert wurden.

Das Fokussierungsverfahren wurde domänenunabhängig realisiert, wodurch die Erweiterung des modulinternen Wissens einerseits und in Zusammenarbeit mit der globalen Fokussierungskomponente ein zügiges Integrieren der separat implementierten Module andererseits unterstützt wurde. Die im Fokussierungsalgorithmus realisierten Suchverfahren, die Breitensuche bis zur dritten Ebene in der Hierarchie der Kompetenzeinheiten und die systematische Tiefensuche, welche nach Mißerfolg einer so beschränkten Breitensuche angewendet wird, wurden aufgrund von empirischen Erfahrungen an repräsentativen Fällen ausgewählt. Im Hinblick auf die Breitensuche hat sich gezeigt, daß auf den ersten drei Ebenen der Hierarchie von Kompetenzeinheiten die meisten Wissenselemente (hier: Patientendaten) für die getesteten Fälle erkannt und entsprechend in den Schlußfolgerungsprozeß integriert werden konnten. Dennoch ist hinsichtlich der Effizienz des Fokussierungsalgorithmus zu bemerken, daß eine Nutzung der mit der Einführung der Taktiken verbundenen Möglichkeiten angestrebt werden sollte, um einerseits eine Effizienzsteigerung und andererseits eine höhere Flexibilität im realisierten Fokussierungsverfahren zu erzielen.

2.7.2 Entwickelbarkeit im Team

Die Entwicklung des prototypischen Systems wurde im Team vorgenommen, indem nicht allein die Systemkomponenten sondern vor allem die einzelnen Wissensmodule der Wissensbasis von verschiedenen Personen separat entwickelt und gepflegt. Des weiteren wurden zur Realisierung von Wissensauschnitten einzelner Wissensmodule Wechsel zwischen den an der Entwicklung der Wissensbasis beteiligten Personen vorgenommen. Die team-

orientierte Wissensbasisentwicklung bewährte sich auch in der zügigen Durchführung umfangreicher Tests. Hierbei wurden mehrere verschiedene Personen mit der Überprüfung auch kleinstter Kompetenzeinheiten beauftragt.

Die vor dem Hintergrund der Modularisierung erwünschte Entwicklung im Team wurde einerseits maßgeblich durch die Taktiken, andererseits durch das Konzept der Kompetenz-einheit ermöglicht. Der zunächst hohe Aufwand für das Aufstellen der Modularisierungskriterien und die Durchführung der inhaltlichen Wissenspartitionierung auf der Basis des vorgestellten konzeptuellen Modells war durch die anschließende getrennte Entwicklung und den hieraus resultierenden schnellen Wissensbasisaufbau gerechtfertigt.

Resümierend kann abschließend auf die erfolgreiche Entwicklung einer umfangreichen modularen Wissensbasis im Team verwiesen werden, welche auf dem vorgestellten Modularisierungsvorgehen und den hieraus gewonnenen Konzepten für die Organisation und Koordination modularer Wissensbestände basierte. Die modularisierungsgerichtete Vorgehensweise ermöglichte in einem akzeptablen Zeitraum einen Prototypen zu realisieren, der ohne eine entsprechende Modularisierung und eine darauf aufbauende getrennte Entwicklung von Wissensmodulen im Team nicht in diesem Umfang hätte entstehen können.

2.8 Diskussion der Evaluationsergebnisse

Im Rahmen der Evaluation des Gesamtsystems mit unseren Experten, Prof. Dr. Luft und Prof. Dr. Faulhaber in der Franz-Volhard-Klinik in Berlin-Buch war insbesondere die Einsetzbarkeit des wissensbasierten Systems zur Hypertoniekonsultation in einer klinischen Umgebung unter Zugrundelegung authentischer Patientenfälle Gegenstand der Diskussion. Hierbei wurde der große Umfang der Wissensbasis und die zur Bewertung hinzugezogenen klinischen Daten und Befunde begrüßt. Des weiteren fand das differenzierte und von vielfältige Hinweisen begleitete Vorgehen zur Diagnosefindung sowie der konsultationsbegleitende differentialdiagnostische Abgleich möglicher auch konkurrierender Diagnosen eine herausragende Beachtung. Ein besonderes Augenmerk fand gleichfalls die dem ärztlichen Vorgehen angemessene Konsultationsform, sowie die Benutzerfreundlichkeit der ihr zugrundegelegten graphisch interaktiven Dialogschnittstelle, welche umfangreiche Informationen zu medizinischen Begriffen wie auch zu den aktuellen diagnostischen Status betreffenden Sachverhalten.

Die Experten äußerten in einer sich der Systemdemonstration anschließenden Diskussion den Wunsch, das wissensbasierte System zur computerassistierten Unterstützung von Ärzten für die differentialdiagnostische Abklärung und eine Prognoseeinschätzung in die klinischen Umgebung zu integrieren. Des weiteren könnte das System für die kontinuierliche Bewertung von Befunden und deren Konstellationen sowie der Identifikation patientengefährdenter Situationen genutzt werden.

Schließlich sprachen die Experten weiterführende Maßnahmen an, die in der Anbindung an eine Datenbank bzw. Integration in das klinische Informationssystem bestanden. In Zusammenhang mit der Wissensbasiserweiterung um zusätzliches Wissen über beispielsweise biochemische oder pathophysiologische Zusammenhänge bekundeten die Experten ihre Bereitschaft eine medizinische Fachkraft zur Unterstützung bereitzustellen.

3 Ausblick und weiterführende Aktivitäten

Im folgenden sollen Überlegungen zu weiterführenden Arbeiten vorgestellt werden, die den vorgenannten Aspekt der Effizienzsteigerung aufgreifen.

Ein im Zusammenhang mit einem flexibleren Verhalten des Fokussierungsalgorithmus einhergehender Vorschlag besteht darin, die unterschiedlichen Taktiken hinsichtlich ihrer Qualität für den Schlußfolgerungsprozeß und ihres Bezugs zu korrelierenden Taktiken zu gewichten. Hiermit könnte das situationsbezogene Verhalten des Fokussierungsalgorithmus verstärkt werden.

Ein Aspekt, der in weiteren Arbeiten Beachtung finden sollte, ist darin zu sehen, die direkte Erreichbarkeit von Kompetenzeinheiten zu erweitern. Die Erreichbarkeit von Kompetenzeinheiten ist zunächst mehr zugriffsgerichtet zu sehen, sollte jedoch mit der Sicht einer Kompetenzeinheit, die inhaltlicher Natur ist, einhergehen. Aufgrund der strengen Anforderungen an die Lokalität von Wissenseinheiten ist die Sicht einer fokussierten Kompetenzeinheit zunächst auf eine Ebene nach oben und eine Ebene nach unten beschränkt worden. Die erzielte Lokalität von Wissenselementen unter Zugrundelegung der direkten Erreichbarkeit bewährte sich im Hinblick auf die Wissensbasisentwicklung im Team und die Erweiterung von Kompetenzeinheiten sowohl um bereichs- als auch koordinationsspezifisches Wissen. Jedoch hat sich nach Abschluß der Wissensmodularisierung vor allem für die Module vom Typ Diagnose herausgestellt, daß eine Erweiterung der Sicht von Kompetenzeinheiten aufgrund eines schwierigen Umgangs mit einer minimalen taxonomischen Auslegung der Objektstrukturen einer Kompetenzeinheit erforderlich ist. Die Erweiterung der Sichtbarkeit aller Kompetenzeinheiten über mehrere Ebenen würde der unterschiedlichen inhaltlichen Komplexität von Kompetenzeinheiten nicht gerecht werden. Ein Vorschlag für die Erweiterung der Sichtbarkeit von Kompetenzeinheiten besteht beispielsweise darin, deren Sichtbarkeit semantisch zu interpretieren, das bedeutet, diese Abhängigkeit von der Aussagekraft und inhaltlichen Qualität der modulinternen Wissenselemente situationsbezogen auszulegen.

Eine notwendige Erweiterung der inhaltlichen Wissensaufbereitung, besonders im Hinblick auf diffuse Gegenstandsbereiche, wie z.B. der Medizin, liegt in der Integration von standardisierten begrifflichen Ordnungssystemen. Für den Bereich der Medizin existieren mehr-

rere standardisierte Klassifikationen und Nomenklaturen, welche größtenteils auf Datenbanken gespeichert sind und zur Verfügung stehen. Denkbar wäre für eine Integration begrifflicher Standards die Anbindung an eine breit eingesetzte Datenbank, die beispielsweise den ICD-10 (International Classification of Disease) als Klassifikationssystem bereitstellt. Mit Blick auf die modulare Wissensbasis wäre, in Abhängigkeit von der jeweils aktiven Kompetenzeinheit, ein sichtenbezogener Zugriff auf eine entsprechende Datenbank in Betracht zu ziehen.

Wie bereits bei der Diskussion der Erfahrungen mit dem Fokussierungsalgorithmus ange deutet, sind aufgrund des Gesamtumfangs eines Moduls und letztendlich der Wissensbasis selbst, Einbußen im Laufzeitverhalten in Kauf zu nehmen. Dies konnte zum einen auf die Komplexität der Entwicklungsumgebung, zum anderen auf die nicht verfügbare Leistung mehrerer Prozessoren zurückgeführt werden. Vor dem Hintergrund des durchgängig modularen Wissensbasisaufbaus, des domänenunabhängigen Fokussierungsverfahrens und einer modularen Planungskomponente zur Koordination der Wissensmodule, sowie der standardisierten Schnittstellen zur nachrichtenbasierten Komponentenkommunikation ist die Verteilung des vorgestellten Gesamtkonzeptes mit dem Ziel der Parallelisierung des Schlußfolgerungsprozesses unter Berücksichtigung entsprechender Planungsansätze von weiterem Forschungsinteresse.

4 Veröffentlichungen

Wachsmuth, I., Heller, B. & Meyer-Fujara, J. (1992). *HYPERCON: Modulare Wissensbasen für Hypertonie-Konsultation*. MOSYS Report 10, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Schlegelmilch, S. & Heller, B. (1993). Kompetenzorientierte Adaption des Modularisierungsprinzips. *Proc. XPS'93 Workshop "Querbezüge des Knowledge Engineering zu Methoden des Software Engineering und der Entwicklung von Informationssystemen"*, pp. 32–35.

Schlegelmilch, S., Heller, B., Linke, T. & Meyer-Fujara, J. (1993). *Evaluation hybrider Expertensystemtools*. MOSYS Report 13, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Heller, B. & Schlegelmilch, S. (1993a). Modularization of Knowledge: A Competence-Oriented Approach. *Proc. AAAI'93 Workshop "Modelling in the Large"*; ebenfalls MOSYS Report 12, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Heller, B. & Schlegelmilch, S. (1993b). HYPERCON - A Framework of Modular Knowledge Bases for HYPERtension CONsultation. *Proc. EUFIT'93*, Vol. 1, pp. 415–419.

Heller, B. & Schlegelmilch, S. (1993c). HYPERCON - A Framework of Modular Knowledge Bases in the Domain of Hypertension Diaseases. *Artificial Intelligence in Medicine*, Vol. 10, pp. 406–416. Amsterdam: IOS Press.

Heller, B., Schlegelmilch, S. & Wachsmuth, I. (Hrsg.). *Proc. Bielefelder Workshop Problemadäquanz und Systemtechnik – Eine interdisziplinäre Betrachtung von Expertensystemtools*; MOSYS Report 15, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Heller, B. (1993). Aspekte der Problemadäquanz. *Proc. Bielefelder Workshop Problemadäquanz und Systemtechnik – Eine interdisziplinäre Betrachtung von Expertensystemtools*, S. 7–17; MOSYS Report 15, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Schlegelmilch, S. (1993). Systemtechnische Betrachtung von Entwicklungswerkzeugen. *Proc. Bielefelder Workshop Problemadäquanz und Systemtechnik – Eine interdisziplinäre Betrachtung von Expertensystemtools*, S. 19–24; MOSYS Report 15, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Meyer-Fujara, J. (1993). Aspekte von Granularität bei der Modellierung einer medizinischen Domäne für ein wissensbasiertes System. In Heller, B., Schlegelmilch, S., Wachsmuth, I. (Hrsg.): *Proc. Bielefelder Workshop Problemadäquanz und Systemtechnik – Eine interdisziplinäre Betrachtung von Expertensystemtools*, S. 87–99; MOSYS Report 15, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Heller, B. (1994a). *Spezifikation und Konzeption einer lokalen Fokussierungskomponente für modulare Wissensbasen*. MOSYS Report 21, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Heller, B. (1994b). *Eine planbasierte globale Fokussierungskomponente für die flexible situationsbezogene Koordination von Wissensmodulen*. MOSYS Report 20, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Schlegelmilch, S. (1994). *Standardisierte Kommunikation in einem modularen wissensbasierten System*. MOSYS Report 19, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Meyer-Fujara, J. (1994a). *Objekte und Grenzen bei unterschiedlicher Auflösung (abstract)*. 1. Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft, Universität Freiburg.

Meyer-Fujara, J. (1994a). *Granularitätsbezogene Analyse von Bluthochdruckwissen – eine Vorstudie zur Wissensmodellierung im Projekt HYPERCON*. MOSYS Report 18, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Meyer-Fujara, J., Heller, B., Schlegelmilch, S. & Wachsmuth, I. (1994). Knowledge-Level Modularization of a Complex Knowledge Base. *Proc. KI-94 Advances in Artificial Intelligence*, pp. 214–225. Berlin: Springer.

Heller, B., Meyer-Fujara, J., Schlegelmilch, S. & Wachsmuth, I. (1994). Ein Konsultationssystem zur Hypertonie auf der Basis modular organisierter Wissensbestände. *Proc. KI-94 Anwendungen der Künstlichen Intelligenz*, S. 155–169. Berlin: Springer.

Heller, B., Meyer-Fujara, J., Schlegelmilch, S., Wachsmuth, I. & Wetter, T. (1994). Workshop: Modularisierung großer Wissensbasen. *Proc. KI-94 Workshops*, S. 321. Berlin: Springer.

Müller, H. (1994). Ein erweiterter Regelmechanismus zur lokalen Fokussierung von großen Wissensdomänen. *Proc. KI-94 Workshops*, S. 339–340. Berlin: Springer.

Schlegelmilch, S., Heller, B. & Meyer-Fujara, J. (1994a). Modularisierung vor dem Hintergrund eines Modells des diagnostischen Schlußfolgerns. *Proc. KI-94 Workshops*, S. 327–328. Berlin: Springer.

Schlegelmilch, S., Heller, B. & Meyer-Fujara, J. (1994b). Evaluation hybrider Expertensystemtools. *Informatik-Spektrum* 17(6). Berlin: Springer.

Schlegelmilch, S., Heller, B., Meyer-Fujara, J., Müller, H. & Schlüpmann, M. (1995) "Keine Angst vor Knowledge Craft". Einführung in das Expertensystemwerkzeug Knowledge Craft. Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Heller, B. & Meyer-Fujara, J. (1995). *Knowledge Engineering*. Kursunterlagen auf der Künstlichen Intelligenz Frühjahrsschule.

Schlegelmilch, S. (1995). *Eine angepaßte Regelerweiterung für modulare Wissensbasen*. MOSYS Report 22, Technische Fakultät, Universität Bielefeld.

Heller, B. & Schlegelmilch, S. (1995). Modularisierung großer medizinischer Wissensbasen zur Unterstützung des Patientenmanagement. *Proc. KI-95 Workshops*. Berlin: Springer.

Schlegelmilch, S., Heller, B., Meyer-Fujara, J. & Wachsmuth, I. (1995). Koordination modular organisierter Wissensbasen. *Proc. KI-95 Workshops*. Berlin: Springer.

Dissertation:

Heller, B. *Modularisierung und Fokussierung erweiterbarer komplexer Wissensbasen auf der Basis von Kompetenzeinheiten*. Technische Fakultät, Universität Bielefeld, Dezember 1995.

Diplomarbeiten:

Müller, H. *Dynamische Fokussierung von Kompetenzeinheiten unterschiedlicher Spezifität in modularen Wissensbasen*. Technische Fakultät, Universität Bielefeld, Januar 1996.

Scholz, P. *Visualisierung eines Systemverhaltens unter Berücksichtigung von globalen Plänen und Protokollen*. Technische Fakultät, Universität Bielefeld, Januar 1996.

Seidel, K. *Analyse und Interpretation eines planbasierten diagnostischen Schlußfolgerungsmodells*. Technische Fakultät, Universität Bielefeld, Mai 1995.

Workshops:

"Problemadäquanz und Systemtechnik – Eine interdisziplinäre Betrachtung von Expertensystemtools"
 Veranstalter: Heller, B., Schlegelmilch, S. & Wachsmuth, I.
 Veranstaltungsort: Zentrum für interdisziplinäre Forschung (ZiF) der Universität Bielefeld, Bielefeld, 4./5. November 1993.

"Modularisierung großer Wissensbasen"
 Veranstalter: Heller, B., Meyer-Fujara, J., Schlegelmilch, S., Wachsmuth, I. & Wetter, T.
 Veranstaltungsort: Jahrestagung Künstliche Intelligenz (KI-94), Saarbrücken, 20./21. September 1994.

5 Vorträge und Systemdemonstrationen

17.02.93	Kompetenzorientierte Adaption des Modularisierungsprinzips	XPS'93, Hamburg
12.07.93	Modularization of Knowledge: A Competence-Oriented Approach.	AAAI'93, Washington
09.09.93	HYPERCON - A Framework of Modular Knowledge Bases for HYPERtension CONsultation	EUFIT'93, Aachen
06.10.93	HYPERCON - A Framework for Modular Knowledge Bases in the Domain of Hypertension Diseases	AIME'93, München
04.11.93	Aspekte der Problemadäquanz	Bielefelder Workshop'93
04.11.93	Systemtechnische Betrachtung von Entwicklungswerkzeugen	Bielefelder Workshop'93
05.11.93	Aspekte von Granularität bei der Modellierung einer medizinischen Domäne für ein wissensbasiertes System	Bielefelder Workshop'93
20.09.94	Modularisierung vor dem Hintergrund eines Modells des diagnostischen Schlußfolgerns	KI-94, Saarbrücken Workshop
20.09.94	Ein erweiterter Regelmechanismus zur lokalen Fokussierung von großen Wissensdomänen	KI-94, Saarbrücken Workshop
21.09.94	Knowledge-Level Modularization of a Complex Knowledge Base	KI-94, Saarbrücken Wiss. Konferenz
22.09.94	Ein Konsultationssystem auf der Basis modular organisierter Wissensbestände	KI-94, Saarbrücken Anwenderkongress
21.10.94	Objekte und ihre Grenzen bei unterschiedlicher Auflösung	Kog.wiss., Freiburg
25.11.94	Ein Konsultationssystem zur Hypertonie auf der Basis modular organisierter Wissensbestände	25-Jahr-Feier der Universität Bielefeld Vortrag & Systemdemo
28./29.06.95	Evaluation des HYPERCON-Gesamtsystems	Franz-Volhard-Klinik, Berlin-Buch
11./12.09.95	Koordination modular organisierter Wissensbasen	KI-95, Bielefeld Poster
11./12.09.95	Modular organisierte Wissensbestände zur Hypertoniediagnostik	KI-95, Bielefeld Systemdemo.
11.09.95	Modularisierung großer medizinischer Wissensbasen zur Unterstützung des Patientenmanagement	KI-95, Bielefeld Workshop