



Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement

Universität Duisburg-Essen, Standort Essen
Fachbereich 5: Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9, D – 45141 Essen
Tel.: ++49 (0) 201/ 183–4006, Fax: ++49 (0) 201/ 183–4017

KOWIEN–Projektbericht 3/2003

Ontologiebasierte Wissensräume

Dipl.-Kfm. Yilmaz Alan
Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski

Yilmaz.Alan@pim.uni-essen.de
Stephan.Zelewski@pim.uni-essen.de



Das Drittmittelprojekt KOWIEN
("Kooperatives Wissensmanagement in Engineering-Netzwerken")
wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)
(Förderkennzeichen Hauptband 02 PD 1060)
innerhalb des Rahmenkonzepts "Forschung für die Produktion von morgen"
gefördert und vom Projektträger Produktion und Fertigungstechnologien (PFT),
der Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, betreut.
Die Mitglieder des Projektteams danken
für die großzügige Unterstützung ihrer Forschungs- und Transferarbeiten.

Juni 2003
Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
1. Problemstellung.....	3
2. Konzeptionelle Grundlagen.....	4
2.1. Kompetenzprofile im Rahmen des betrieblichen Wissensmanagements.....	4
2.2. Konzept der Wissensräume	5
2.3. Ontologien zur Strukturierung von Domänenwissen.....	10
3. Ontologiebasierte Spezifikation von Wissensräumen	11
4. Ausblick	16
Literaturverzeichnis	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: HASSE-Diagramm zur Surmise-Relation	7
Abbildung 2: Exemplarischer UND/ODER-Graph für einen Wissensraum.....	9
Abbildung 3: Screenshot OntoEdit	12
Abbildung 4: Struktur der Surmise-Relation-Ontologie	13
Abbildung 5: Struktur der Surmise-System-Ontologie.....	15

1. Problemstellung

Um innerbetriebliche Erfolgspotenziale ausschöpfen zu können, versuchen Unternehmen zunehmend, Tätigkeiten in ihre Geschäftsprozesse zu integrieren, von denen sie sich einen Beitrag zum *Wissensmanagement* erhoffen. Es wird hierbei versucht, die teilweise personengebundenen Kenntnisse und Fähigkeiten von Teams und Abteilungen dem gesamten Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Untersuchungen reichen hierbei von sozio-kulturellen Arbeiten über organisationstheoretische Analysen bis hin zu IT-Lösungen für das Wissensmanagement. Im Rahmen der Erforschung von IT-Lösungen für das Wissensmanagement haben *ontologiebasierte* Ansätze an Bedeutung zugenommen¹⁾. In den letzten Jahren haben sich Unternehmen zunehmend zum Ziel gesetzt, Ontologien zur Strukturierung der Begrifflichkeiten zu verwenden, mit denen das Wissen über die Kompetenzen ihrer Mitarbeiter („personal knowledge“) und ihrer Organisation insgesamt („organizational knowledge“) beschrieben werden kann. Ein besonderer Schwerpunkt wurde hierbei auf ontologiebasierte Lösungen für *Kompetenzmanagement-Systeme* gelegt²⁾. Von der formalen Spezifikation der begrifflichen Strukturierung betrieblicher Kompetenzen wird dabei erhofft, eine Grundlage für die effektive Kommunikation auf der Basis eines gemeinsamen Begriffsverständnisses zu schaffen.

Ein großer Vorteil, der mit dem Einsatz von Ontologien einhergeht, ist die Möglichkeit der Definition von *Inferenzregeln*, mittels derer „neue“ Fakten zu einer ontologiebasierten Wissensbasis hinzugefügt werden können. Die *inhaltliche* Spezifizierung von Inferenzregeln, die in einem Kompetenzmanagement-System eingesetzt werden können, ist allerdings bislang größtenteils unerforscht geblieben. Mit dem vorliegenden Beitrag wird ein Ansatz aus der mathematischen Psychologie vorgestellt, mit dem diese Spezifizierungslücke – zumindest teilweise – geschlossen werden kann.

Dieser Beitrag gliedert sich wie folgt: In Kapitel 2 werden die konzeptionellen Grundlagen erläutert. Als erstes wird dabei auf den Einsatz von Kompetenzprofilen im Rahmen des betrieblichen Wissensmanagements eingegangen. Als zweites wird das Konzept der Wissensräume erläutert. Anschließend werden Ontologien als formale Grundlage für Begriffssysteme vorgestellt, die sich in computergestützten Kompetenzmanagement-Systemen anwenden lassen. In Kapitel 3 werden Auszüge aus einer prototypischen Ontologie für Kompetenzmanagement-Systeme vorgestellt, in der das Konzept der Wissensräume implementiert wurde. Die Arbeit wird mit einem Ausblick in Kapitel 4 abgeschlossen.

1) Vgl. STAAB (2002)

2) Vgl. LAUS/SURE (2002)

2. Konzeptionelle Grundlagen

2.1. Kompetenzprofile im Rahmen des betrieblichen Wissensmanagements

Im Rahmen des *Resource Based View*¹⁾ werden unternehmensinterne Ressourcen als Vorlaufgrößen für zukünftige Erfolgspotenziale anerkannt. In der Ausprägung des *Competence Based View*²⁾ erfolgt dabei eine Konzentration auf eine spezielle Kategorie von Ressourcen, die als „intangible assets“ zum Human- und Wissenskapital eines Unternehmens gehören und zumeist als *Kompetenzen* (oder Kernkompetenzen) thematisiert werden. Unter Kompetenzen werden hier sämtliche *handlungsbefähigenden* Kenntnisse (deklarative Wissenskomponente) und Fähigkeiten (prozedurale Wissenskomponente) verstanden. *Kompetenzprofile* stellen eine Agglomeration von Kompetenzen in Bezug auf einen Akteur dar. Als Akteure kommen im Bereich des Wissensmanagements sowohl Individuen als auch Kollektive (Teams, Abteilungen, Unternehmen als Gesamtheiten) in Betracht.

Die Motivation für den Einsatz von Kompetenzprofilen im Rahmen des betrieblichen Wissensmanagements ist vielschichtig³⁾. Es verschafft Transparenz über die unternehmensintern verfügbaren Kompetenzen, ohne die Explikation des zugrunde liegenden (Objekt-)Wissens einzufordern. Den Nutzern eines Kompetenzprofils wird lediglich ein Hinweis auf Kompetenzträger gegeben. Kompetenzprofile sind somit *Wissensbasen für Metawissen*, die Wissen *über* handlungsbefähigendes Objektwissen und die zugehörigen Wissensträger repräsentieren, ohne selbst das jeweils betroffene Objektwissen der Wissensträger zu enthalten.

Kompetenzprofile geben Auskunft darüber, welche Kompetenzen von welchen Akteuren im Unternehmen in welchen Ausprägungen vorliegen. Dieses Wissen kann beispielsweise genutzt werden, um Kompetenzlücken zu identifizieren. So können mit der Hilfe von Kompetenzprofilen Weiterbildungsmaßnahmen des Unternehmens zielgerichteter geplant werden. Darüber hinaus bieten Kompetenzprofile die Möglichkeit, ein informelles Netzwerk aufzubauen, welches nicht auf zufälligen Begegnungen beruht, sondern die Kompetenznachfrager mit den Kompetenzanbietern auf direktem Weg zusammenführt. Durch Kompetenzprofile wird Akteuren die Möglichkeit geboten, andere Akteure auszumachen, deren Kompetenzen für eine aktuelle oder zukünftige Aufgabe erforderlich sind. Auf personaler Ebene kann dies zum Beispiel in einer Situation erfolgen, in der ein Mitarbeiter für eine konkrete Fragestellung die Hilfe von Kollegen braucht, die über die dafür nötigen Kompetenzen verfügen.

Insbesondere im *Projektgeschäft* erlangen Kompetenzprofile eine besondere Bedeutung. Durch sie wird der Projektleitung ermöglicht, für wissensintensive Teilprozesse hinsichtlich mehrerer Punkte einen „strategisch fit“ zwischen prozessinduzierten Wissensanforderungen einerseits und verfügbarem handlungsbefäh-

1) Vgl. GRANT (1996)

2) Vgl. COATES/MCDERMOTT (2002); FREILING (2000); HERLING/PROVO (2000)

3) Vgl. ELBERT (2001)

higenden Wissen andererseits zu gewährleisten. Kompetenzprofile unterstützen z.B. den Teilprozess der Teambildung, indem sie Auskünfte darüber ermöglichen, welche potenziellen Teammitglieder welche Kompetenzen in ein Team einbringen könnten. Somit kann die teambildende Instanz die Konfiguration eines Teams auf der Grundlage einer breiten Wissensbasis vornehmen. Kompetenzprofile sind ebenso in der Durchführungsphase eines Projekts von wesentlicher Bedeutung. Beispielsweise kann bei einem Ausfall eines Teammitglieds schnell nach Ersatz gesucht werden, der zumindest über die im Projekt benötigten Kompetenzen des Teammitglieds verfügt. Des Weiteren bieten sich Kompetenzprofile für die Suche nach ergänzenden Teammitgliedern an, wenn in einer Phase der Projektdurchführung erkannt wird, dass die derzeitige (Kompetenz-) Konfiguration des Projektteams für die Problembewältigung nicht mehr ausreicht.

2.2. Konzept der Wissensräume

Das Konzept der Wissensräume lässt sich auf Arbeiten von DOIGNON & FALMAGNE zurückführen¹⁾. Im Folgenden wird ein Interpretationsvorschlag für diejenigen Aspekte wiedergegeben, die für die hier diskutierte Thematik von Kompetenzmanagement-Systemen Relevanz besitzen.

Die *Probleme*, die innerhalb einer Domäne von einer Gruppe von Akteuren als relevant erachtet werden, konstituieren die Problememenge \mathcal{P} . Das handlungsbefähigende Wissen – also die Kompetenz – eines Akteurs wird mit der Teilmenge aller Probleme identifiziert, die er zu lösen vermag²⁾. Handlungsbefähigendes Wissen wird also im Folgenden als Wissen verstanden, das zur Lösung von Problemen befähigt. Diese Spezialisierung des Kompetenzbegriffs auf Problemlösungskompetenz erweist sich aus betriebswirtschaftlicher Perspektive als sehr leistungsfähig, weil sich nahezu alle Aufgaben, die in Unternehmen zu erfüllen sind, auf das Lösen von (Entscheidungs-) Problemen zurückführen lassen. Es wird in der Betriebswirtschaftslehre dabei auch von einem (entscheidungs- oder) problemorientierten Paradigma gesprochen. Zur formalen Repräsentation des Wissens über Fähigkeiten, Probleme zu lösen, wird die (binäre) *Surmise-Relation* \mathcal{R} aus dem kartesischen Produkt der Problememenge \mathcal{P} mit sich selbst eingeführt:

$$\mathcal{R} \subseteq \mathcal{P} \times \mathcal{P} \tag{1}$$

Die Surmise-Relation (oder *Vorhersagerelation*³⁾) bildet das Grundgerüst der Wissensstrukturtheorie, indem sie ein partielles Ordnungsverhältnis – also eine Halbordnung – zwischen den Problemen in der Menge \mathcal{P} konstituiert. Diese Relation kann auf unterschiedliche Weise inhaltlich interpretiert werden.

Im hier betrachteten Anwendungskontext von Kompetenzmanagement-Systemen wird die Surmise-Relation \mathcal{R} auf die Problemlösungskompetenz von Akteuren zurückgeführt: Die Aussage $(p_1, p_2) \in \mathcal{R}$ gilt genau dann, wenn von jedem Akteur, der ein Problem $p_1 \in \mathcal{P}$ richtig zu lösen vermag, mit triftigen Grün-

1) Vgl. DOIGNON/FALMAGNE (1999)

2) Vgl. KOROSSY (1999)

3) Vgl. SCHREPP (1993)

den auch eine richtige Lösung für das Problem $p_2 \in \mathcal{P}$ erwartet werden kann. Sie beruht auf der heuristischen, von Erfahrungswissen gestützten *Vermutung*, dass die Fähigkeit, das Problem p_1 zu lösen, auch die Fähigkeit zur Lösung des anderen Problems p_2 einschließt. Somit ist die Lösungsfähigkeit für das „anspruchsvollere“ Problem p_1 eine *hinreichende* Bedingung für die Lösungsfähigkeit für das „einfachere“ Problem p_2 . Dies bedeutet allerdings, dass die Probleme p_1 und p_2 nur dann in der Beziehung $(p_1, p_2) \in \mathcal{R}$ stehen können, wenn es sich zwar um unterschiedlich schwere, aber inhaltlich so eng verwandte Probleme handelt, dass die Lösungsfähigkeit für das eine Problem (p_1) die Lösungsfähigkeit für das andere Problem (p_2) begründet erwarten lässt. Mittels der Surmise-Relation \mathcal{R} wird also detailliertes Erfahrungswissen über die inhaltliche Verwandtschaft und die Lösungsschwierigkeit der Probleme des Problemraums \mathcal{P} repräsentiert; sie drückt Wissen über den Zusammenhang von Problemlösungsfähigkeiten aus. Darüber hinaus stellt die Lösungsfähigkeit für das „einfachere“ Problem p_2 eine *notwendige* Bedingung für die Lösungsfähigkeit für das „anspruchsvollere“ Problem p_1 dar. Die Lösungsfähigkeit für p_2 ist allerdings *nicht* hinreichend für die Lösungsfähigkeit für p_1 , da der Umkehrschluss nicht zutrifft.

Die (partielle) Ordnungsrelation R erfüllt folgende Eigenschaften:

- $\forall p \in \mathcal{P}: (p, p) \in \mathcal{R}$ (Reflexivität)
- $\forall p_1, p_2, p_3 \in \mathcal{P}: (p_1, p_2) \in \mathcal{R} \wedge (p_2, p_3) \in \mathcal{R} \rightarrow (p_1, p_3) \in \mathcal{R}$ (Transitivität)
- $\forall p_1, p_2 \in \mathcal{P}: (p_1, p_2) \in \mathcal{R} \wedge (p_2, p_1) \in \mathcal{R} \rightarrow p_1 = p_2$ (Antisymmetrie)

Die *Reflexivität* beinhaltet die Regel, dass von der Fähigkeit zur Lösung eines Problems p genau auf diese Fähigkeit geschlossen werden kann. Diese intuitiv überflüssig erscheinende Regel ist notwendig, um die Vollständigkeit des Konzepts zu gewährleisten. Von größerer Bedeutung ist die *Transitivität*. Sie erlaubt es, implizites Wissen über den mittelbaren Zusammenhang von Problemlösungsfähigkeiten zu erschließen, auch wenn zwei Problemlösungsfähigkeiten in keiner unmittelbaren Beziehung der Surmise-Relation zueinander stehen. Die *Antisymmetrie* ist dagegen von geringerer Bedeutung, da sie nur dazu beiträgt, die Integrität der Ordnung des Wissensraums zu bewahren. Allerdings gestattet sie nicht, durch Schlussfolgerungen „neue“ explizite Fakten über Beziehungen zwischen Problemlösungsfähigkeiten der Wissensbasis hinzuzufügen.

Die Menge von Problemen, die ein Akteur zu lösen vermag, wird als *Wissenszustand* WZ des Akteurs bezeichnet. Dieser Zustand kennzeichnet dasjenige handlungsbefähigende Wissen, das hinreichend ist, um alle Probleme aus der Problememenge (richtig) lösen zu können. Ein Wissenszustand kann daher aus der Perspektive von Kompetenzmanagement-Systemen auch als ein *Kompetenzzustand* bezeichnet werden.

Durch die Vorgabe der Surmise-Relation \mathcal{R} werden einige Wissenszustände – oder synonym: Kompetenzzustände – für alle Akteure ausgeschlossen. Für das oben angeführte Beispiel mit $(p_1, p_2) \in \mathcal{R}$ bedeutet dies beispielsweise, dass die einelementige Menge $\{p_1\}$ keinen zulässigen Wissenszustand bilden kann. Denn aus der Lösungsfähigkeit für das Problem p_1 folgt wegen $(p_1, p_2) \in \mathcal{R}$ stets auch die Lösungsfähigkeit

für das Problem p_2 . Also ist es sachlogisch unmöglich, angesichts dieser Surmise-Relation \mathcal{R} die Menge $\{p_1\}$ als einen Wissenszustand irgendeines Akteurs auszuzeichnen. Lediglich $\{p_1, p_2\}$ kommt als ein \mathcal{R} -zulässiger Wissenszustand in Betracht. Formal lautet die Definition von Wissenszuständen, die hinsichtlich der Surmise-Relation \mathcal{R} zulässig oder „wohlgeformt“ sind:

$$\mathcal{WZ} \subseteq \mathcal{P} : \Leftrightarrow \forall p_1, p_2 \in \mathcal{P}: (p_1 \in \mathcal{WZ} \wedge (p_1, p_2) \in \mathcal{R} \rightarrow p_2 \in \mathcal{WZ}) \quad (2)$$

Eine Teilmenge \mathcal{WZ} der Problememenge \mathcal{P} ist also genau dann ein \mathcal{R} -zulässiger oder *wohlgeformter Wissenszustand*, wenn für alle Lösungsfähigkeiten für Probleme p_1, p_2 aus der Problememenge \mathcal{P} gilt: Falls ein Akteur das Problem p_1 aus dem Wissenszustand \mathcal{WZ} zu lösen vermag und die Lösungsfähigkeit für dieses Problem p_1 gemäß der Surmise-Relation \mathcal{R} die Lösungsfähigkeit für das Problem p_2 einschließt, dann muss auch jenes Problem p_2 in dem Wissenszustand \mathcal{WZ} enthalten sein.

BEISPIEL 1: Die Menge aller Probleme ist durch $\mathcal{P} = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ gegeben. Die Surmise-Relation über dieser Problememenge ist durch $\mathcal{R} = \{(p_1, p_2), (p_1, p_3), (p_4, p_3)\}$ definiert. Sie kann durch ein HASSE-Diagramm visualisiert werden, das in Abbildung 1 wiedergegeben wird. In einem solchen Diagramm repräsentiert jeder Knoten eine Teilmenge der Problememenge \mathcal{P} mit der Problememenge \mathcal{P} selbst als „oberstem“ und der leeren Menge \emptyset als „unterstem“ Knoten. Jede Kante, die im HASSE-Diagramm von einem Knoten mit dem Problem p_a zu einem Knoten mit dem Problem p_b gerichtet ist, drückt die Beziehung aus der Surmise-Relation \mathcal{R} aus, dass die Fähigkeit zur Lösung des Problems p_a die Fähigkeit zur Lösung des Problems p_b einschließt:

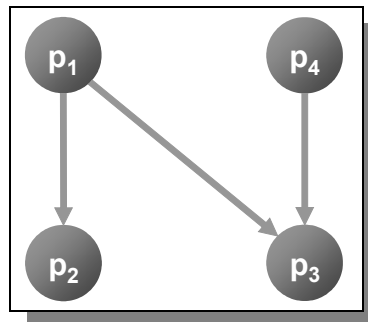


Abbildung 1: HASSE-Diagramm zur Surmise-Relation

Die Potenzmenge $2^{\mathcal{P}}$ der Problememenge \mathcal{P} gibt die Menge aller potenziellen – aber nicht notwendig wohlgeformten – Wissenszustände wieder. Im o.a. Beispiel entspricht dies $2^4 = 16$ Zuständen. Bei Einführung der Surmise-Relation \mathcal{R} wird die Menge \mathcal{W} aller wohlgeformten Wissenszustände \mathcal{WZ} allerdings eingeschränkt auf:

$$\mathcal{W} = \{\emptyset, \{p_2\}, \{p_3\}, \{p_2, p_3\}, \{p_3, p_4\}, \{p_1, p_2, p_3\}, \{p_2, p_3, p_4\}, \{p_1, p_2, p_3, p_4\}\}$$

In Bezug auf die Surmise-Relation $\mathcal{R} = \{(p_1, p_2), (p_1, p_3), (p_4, p_3)\}$ erweisen sich z.B. die Zustände $\{p_1\}$, $\{p_4\}$, $\{p_1, p_2\}$, $\{p_1, p_3\}$, $\{p_1, p_4\}$, $\{p_1, p_2\}$ und $\{p_1, p_3, p_4\}$ als „unzulässig“.

Die Menge \mathcal{W} aller wohlgeformten Wissenszustände zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus¹⁾: Zum einen ergibt die *Vereinigung* von zwei wohlgeformten Wissenszuständen stets einen neuen wohlgeformten Wissenszustand. Es gilt somit:

$$\forall \mathcal{WZ}_1, \mathcal{WZ}_2: (\mathcal{WZ}_1, \mathcal{WZ}_2 \in \mathcal{W}) \rightarrow \mathcal{WZ}_1 \cup \mathcal{WZ}_2 \in \mathcal{W} \quad (3)$$

Zum anderen ist jede *Schnittmenge* von zwei wohlgeformten Wissenszuständen stets ein neuer wohlgeformter Wissenszustand:

$$\forall \mathcal{WZ}_1, \mathcal{WZ}_2: (\mathcal{WZ}_1, \mathcal{WZ}_2 \in \mathcal{W}) \rightarrow \mathcal{WZ}_1 \cap \mathcal{WZ}_2 \in \mathcal{W} \quad (4).$$

Durch die beiden Eigenschaften wird belegt, dass die Menge \mathcal{W} aller wohlgeformten Wissenszustände bezüglich Disjunktion (3) und Konjunktion (4) der involvierten Problemlösungsfähigkeiten abgeschlossen ist.

Wird die Forderung nach der konjunktiven Abgeschlossenheit (4) aufgegeben²⁾, so gelangt man zu dem Konzept der *Wissensräume*. Die Visualisierung eines Wissensraumes erfolgt durch einen UND/ODER-Graph, wie er in der Forschung zur *Künstlichen Intelligenz* eingesetzt wird³⁾. Die Formalisierung des UND/ODER-Graphen erfolgt durch die Einführung einer Abbildung σ , die jedem Problem $p \in \mathcal{P}$ eine Familie von Teilmengen aus der Problememenge \mathcal{P} zuordnet:

$$\sigma(p) := \{\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2, \dots, \mathcal{K}_n\} \text{ mit } \mathcal{K}_i \subseteq \mathcal{P} \ (i=1, \dots, n; n \in \mathcal{N}). \quad (5)$$

Die Abbildung σ wird als *Surmise-Funktion* (oder *Vorhersagefunktion*⁴⁾) bezeichnet. Die Surmise-Funktion ordnet jedem Problem p aus der Problememenge \mathcal{P} eine Menge von Teilmengen $\mathcal{K}_i \subseteq \mathcal{P}$ zu, die als *Klauseln* bezeichnet werden. Es wird dabei angenommen, dass die Fähigkeit, das Problem p zu lösen, auch die Fähigkeit zur Lösung aller Probleme in mindestens einer Klausel $\mathcal{K}_i \in \sigma(p)$ einschließt. Die Interpretation der Begriffe „mindestens“ und „aller“ entspricht dabei den ODER- und UND-Knoten des Graphen [Ko93]. Während sich jeder UND-Knoten unmittelbar in so viele Elemente der Surmise-Relation \mathcal{R} übersetzen lässt, wie der UND-Knoten im UND/ODER-Graphen Folgeknoten besitzt, stellen die ODER-Knoten eine echte Erweiterung der Surmise-Relation \mathcal{R} dar.

1) Vgl. DOIGNON/FALMAGNE (1999); FALMAGNE ET AL. (1990)

2) Die Vernachlässigung der konjunktiven Abgeschlossenheit erweist sich bei dem hiesigen Vorhaben keineswegs als eine „Schwächung“ des Konzepts. Vielmehr erweist sich diese Vernachlässigung im Kontext von Kompetenzmanagement-Systemen sogar als vorteilhaft, weil sie die Einbeziehung von Lernprozessen gestattet. Ein Beispiel aus [Fa90] verdeutlicht dies: Mann nehme an, dass n Akteure mit den jeweiligen Wissenszuständen $\mathcal{WZ}_1, \mathcal{WZ}_2, \dots, \mathcal{WZ}_n$ an einer gemeinschaftlichen Wertschöpfungskette oder einem Virtuellen Unternehmen beteiligt sind. Wenn ein einzelner Akteur die Problemlösungsfähigkeiten aller anderen Akteure während der gemeinsamen Wertschöpfung *erlernt*, so lässt sich sein neuer Wissenszustand als die Vereinigung $\mathcal{WZ}_1 \cup \mathcal{WZ}_2 \cup \dots \cup \mathcal{WZ}_n$ darstellen. Der Durchschnitt aller Wissenszustände würde hingegen einer Reduktion der persönlichen Problemlösungsfähigkeiten gleichkommen und an der betrieblichen Realität vorbeigehen.

3) Vgl. RITTGEN (1998)

4) Vgl. SCHREPP (1993)

BEISPIEL 2: Die nachfolgende Abbildung 2 veranschaulicht das Konzept der Wissensräume. In der Abbildung kann z.B. aus der Fähigkeit zur Lösung von Problem p_2 auf die Fähigkeit zur Lösung von Problem p_1 oder von Problem p_3 geschlossen werden. Dagegen schließt die Fähigkeit, das Problem p_5 zu lösen, auch die Fähigkeit ein, alle Probleme p_1, p_2 und p_3 zu lösen.

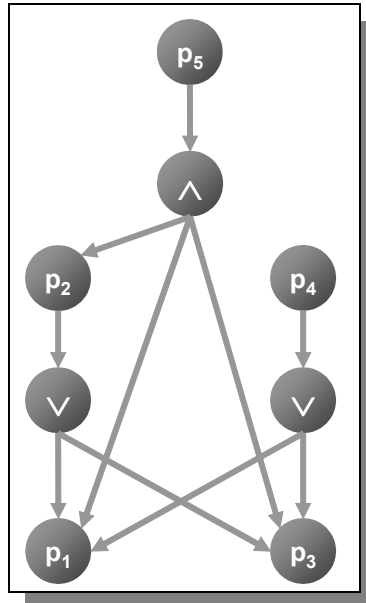


Abbildung 2: Exemplarischer UND/ODER-Graph für einen Wissensraum

In diesem Beispiel lässt sich der Wert $\sigma(p_2)=\{p_1, p_3\}$ der Abbildung σ für das Problem p_2 auf folgende Weise interpretieren: Es ist plausibel zu erwarten, dass jeder Akteur, der das Problem p_2 zu lösen vermag, auch das Problem p_1 zu lösen vermag (Klausel $\mathcal{K}_1=\{p_1\}$) oder das Problem p_3 zu lösen vermag (Klausel $\mathcal{K}_2=\{p_3\}$). Für das Beispiel lauten alle Werte der Abbildung σ :

$$\begin{aligned}\sigma(p_1) &= \{\emptyset\} \\ \sigma(p_2) &= \{p_1, p_3\} \\ \sigma(p_3) &= \{\emptyset\} \\ \sigma(p_4) &= \{p_1, p_3\} \\ \sigma(p_5) &= \{p_1, p_2, p_3\}\end{aligned}$$

Für dieses Beispiel der Abbildung 2 nimmt die zugehörige Menge \mathcal{W} aller wohlgeformten Wissenszustände folgende Gestalt an:

$$\begin{aligned}\mathcal{W} = & \{\emptyset, \{p_1\}, \{p_3\}, \{p_1, p_2\}, \{p_1, p_3\}, \{p_1, p_4\}, \{p_2, p_3\}, \{p_3, p_4\}, \{p_1, p_2, p_3\}, p_1, p_2, p_4, \\ & p_1, p_3, p_4, p_2, p_3, p_4, p_1, p_2, p_3, p_4, p_1, p_2, p_3, p_5, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}\end{aligned}$$

Eine Besonderheit des hier vorgestellten Konzepts der Wissensräume ist es, einen Wissenszustand nicht „intensional“ durch die Inhalte des zugehörigen Wissens zu spezifizieren, sondern auf „extensionale“ Weise durch die Auflistung aller Probleme, die mit Hilfe des im betroffenen Zustand verfügbaren Wissens (richtig) gelöst werden können. Es handelt sich also um keine inhaltsbezogene, sondern um eine leistungsbezogene Definition von Wissenszuständen. Dies erweist sich aus der hier verfolgten Perspektive

von Kompetenzmanagement-Systemen als bemerkenswert. Denn diese leistungsbezogene Definition von Wissenszuständen entspricht der Eigenart von Wissen über Kompetenzen, nicht die Inhalte von handlungsbefähigendem Objektwissen zu umfassen, sondern nur das Metawissen, welche handlungsbefähigenden Kenntnisse und Fähigkeiten – gegebenenfalls bei welchen Akteuren – existieren. Dabei entspricht das Metawissen über Kompetenzen dem Metawissen über diejenigen Probleme, die mit einem – inhaltlich nicht näher spezifizierten – Objektwissen gelöst werden können. Dies gilt allerdings nur dann, wenn die handlungsbefähigende Eigenschaft von Wissen (im Kompetenzbegriff) mit der Eigenschaft von Wissen gleichgesetzt wird, mit Hilfe dieses Wissens Probleme (richtig) lösen zu können (im Begriff des Wissenszustands). Diese abstrakte Gleichsetzung zwischen der Handlungsbefähigung durch Wissen und der Problemlösungsfähigkeit durch Wissen ist zulässig, solange Handeln als problemlösendes Handeln konzeptualisiert wird. Dies entspricht – wie bereits an früherer Stelle kurz angemerkt wurde – dem weit verbreiteten problem- und entscheidungsorientierten Paradigma der Betriebswirtschaftslehre. Aufgrund dieses betriebswirtschaftlich vertrauten Denkmusters, das die Lösung betrieblicher Probleme in den Fokus von Aufgaben des Wissensmanagements rückt, erweist sich das hier ausgewählte Konzept der Wissensräume auch aus ökonomischer Sicht als reizvoll und fruchtbar.

2.3. Ontologien zur Strukturierung von Domänenwissen

Durch die formale Spezifikation von Begriffen kann mit Ontologien das Wissen einer Domäne durch die Einbettung der Begriffe in ihren semantischen Kontext *maschinenlesbar* strukturiert werden. Somit wird die Kommunikation von Menschen und Softwareagenten sowohl miteinander als auch untereinander – aufbauend auf einem gemeinsamen Verständnis für die verwendeten Begriffe – ermöglicht¹⁾. Werden die in einer Ontologie definierten Begriffe (Klassen) anhand konkreter Elemente aus einem Anwendungsfall instanziiert, entsteht eine Wissensbasis, die auf einem – auch zur Laufzeit des ontologiebasierten Kompetenzmanagement-Systems – explizit vorliegenden Schema aufbaut. Dieses Schema erweist sich im Hinblick auf Anforderungen an leicht wartbare und wiederverwendbare Software, die seit längerem und mit wachsendem Nachdruck geäußert werden, als vorteilhaft.

Seitens der Forschung zu Ontologien wird erhofft, eine *semantische Anreicherung* der Fakten in einer ontologiebasierten Wissensbasis zu erreichen. Dies soll durch die Explikation des Umfangs eines Begriffs einerseits und seines Inhalts andererseits erreicht werden. Der *Umfang* eines Begriffs entspricht dabei seinem *extensionalen* Aspekt. Hierin sind sämtliche Sachverhalte (Elemente) enthalten, die unter dem Begriff aufgezählt werden können. Der *Inhalt* gibt wiederum die *Intension* eines Begriffs wieder. Dieser intensionale Aspekt eines Begriffs wird in einer Ontologie durch die Aufzählung aller „konstitutiven“ oder „definitorischen“ Eigenschaften gewährleistet, die den Elementen, die unter dem Begriff subsumiert werden können, zukommen müssen. Durch die Formalisierung dieses intensionalen und/oder extensionalen *Kontextes* von Begriffen wird ein interindividuelles, gemeinsames Verständnis über diese Begriffe ge-

1) Vgl. GUARINO (1998)

schaffen, dass die Akteure – Menschen oder Softwareagenten – teilen, die an der arbeitsteiligen Erfüllung einer gemeinsamen Aufgabe zusammenwirken.

Die formale Spezifikation von Ontologien erweist sich unter anderem in zweierlei Formen als vorteilhaft: Zum einen können teilweise – in Abhängigkeit von der verwendeten Sprache – *Inferenzregeln* definiert werden, die über das bereits explizit vorliegende Wissen hinaus *Schlussfolgerungen* erlauben. Diese Möglichkeit der Ableitung „neuer“ Fakten, die bereits aus der logischen Programmierung (z.B. mittels PROLOG) bekannt ist, erlaubt die Gestaltung „intelligenter“ Software. Die folgende exemplarische Inferenzregel setzt die Plausibilitätsannahme, dass jede Person, die einen Projektbericht zu einem Sachgebiet verfasst hat, auch als kompetent in diesem Gebiet gilt, in der Notation der weit verbreiteten F-Logic¹⁾ um:

FORALL X,Y,Z

$$X[\text{hat_Kompetenz} \rightarrow Z] \leftarrow$$

$$(X:\text{Person}[\text{Autor_von} \rightarrow Y] \text{ AND}$$

$$Y:\text{Projektbericht}[\text{betrifft_Sachgebiet} \rightarrow Z])$$

Zum anderen kann durch *Integritätsregeln* vermieden werden, dass Fakten in der Wissensbasis aufgenommen werden, die im Widerspruch zu bereits enthaltenen Fakten stehen würden. So wäre beispielsweise eine Schlussfolgerung auf Basis der obigen Inferenzregel unzulässig, wenn zuvor schon das explizite Wissen vorgelegen hätte, dass sich die betroffene Person in dem angesprochenen Fachgebiet als „inkompetent“ erwiesen hat. Solche Integritätsregeln sind insbesondere dann erforderlich, wenn in einem Kompetenzmanagement-System Inferenzregeln für plausibles Schließen verwendet werden. Denn solche Plausibilitätsregeln drücken nur Erfahrungswissen aus, das sich in der Vergangenheit zwar als tendenziell zutreffend bewährt hat, das jedoch keine Allgemeingültigkeit für sich in Anspruch nehmen kann. Bei der Verwendung solcher Plausibilitätsregeln sollte für jede Möglichkeit, einen Plausibilitätsschluss zu ziehen, eine korrespondierende Integritätsregel dafür Sorge leisten, dass das Inferenzresultat niemals in Widerspruch zu bereits vorhandenem Wissen treten kann.

3. Ontologiebasierte Spezifikation von Wissensräumen

Im Folgenden werden Auszüge²⁾ aus einer Ontologie vorgestellt, die für die betriebswirtschaftliche Domäne der Kompetenzmanagement-Systeme an der Universität Essen im Rahmen des BMBF-Projekts KOWIEN entwickelt wurde. Sie baut auf dem Konzept der Wissensräume auf. Die für das Projekt erfor-

1) Vgl. KIFER ET AL. (1995)

2) Die vollständige Ontologie kann unter <http://www.pim.uni-essen.de/mitarbeiter/pimyal/Kompetenzontologie.flo> oder <http://www.pim.uni-essen.de/mitarbeiter/pimyal/Kompetenzontologie.rdf> bezogen werden.

derlichen (Teil-)Ontologien wurden in der Ontologie-Entwicklungsumgebung OntoEdit konstruiert¹⁾ (vgl. Abbildung 3). Die Spezifikation der Ontologien erfolgte in F-Logic, RDF(S)²⁾ und DAML+Oil³⁾.

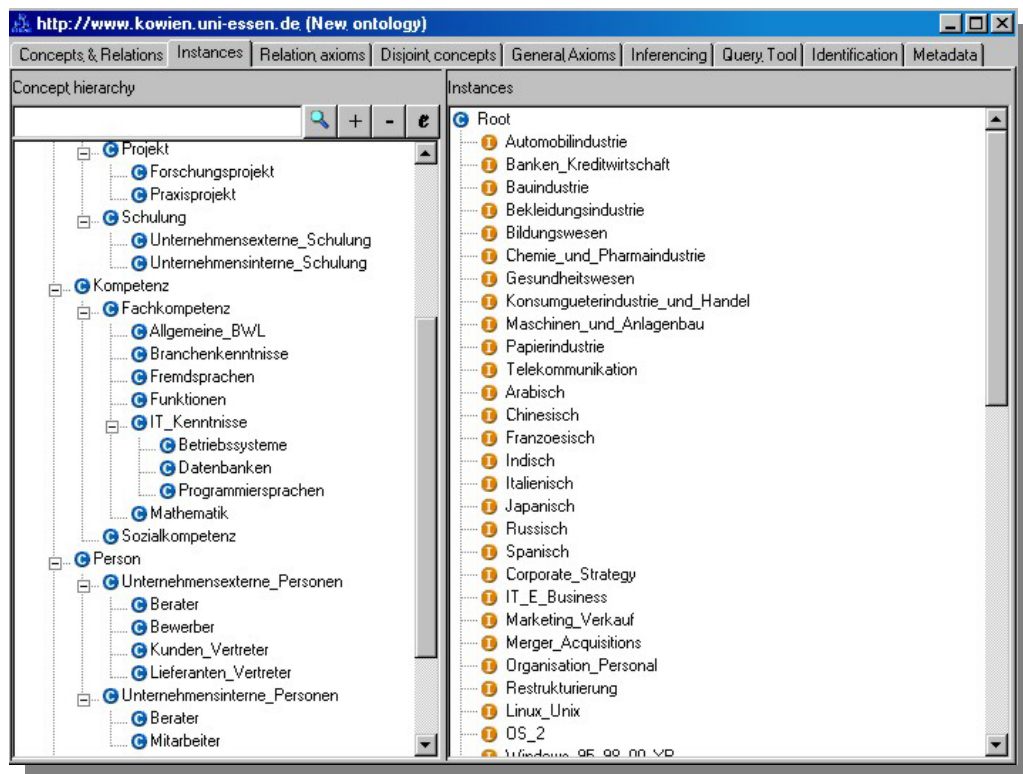


Abbildung 3: Screenshot OntoEdit

Zu Beginn der Erstellung der Ontologien wurde eine graphische Visualisierung der Konzepte angestrebt, um – darauf aufbauend – eine formale Spezifikation der verwendeten Begrifflichkeiten und semantischen Regeln zu erleichtern.

1) Vgl. MAEDCHE ET AL. (2000); SURE ET AL. (2002)

2) Vgl. BRICKLEY/GUHA (2002); LASSILLA/SWICK (1999)

3) Vgl. HORROCKS (2002). Es wird darauf hingewiesen, dass mit dem Einsatz der unterschiedlichen Sprachen Vor- und Nachteile verbunden sind. Die Repräsentation der Ontologien erfolgt hier in F-Logic, da die Möglichkeit zur Definition non-deduktiver Inferenzregeln konstitutiv für die Implementierung der Surmise-Relation ist. Die übrigen Sprachen stellen hierfür zur Zeit keine Mechanismen zur Verfügung.

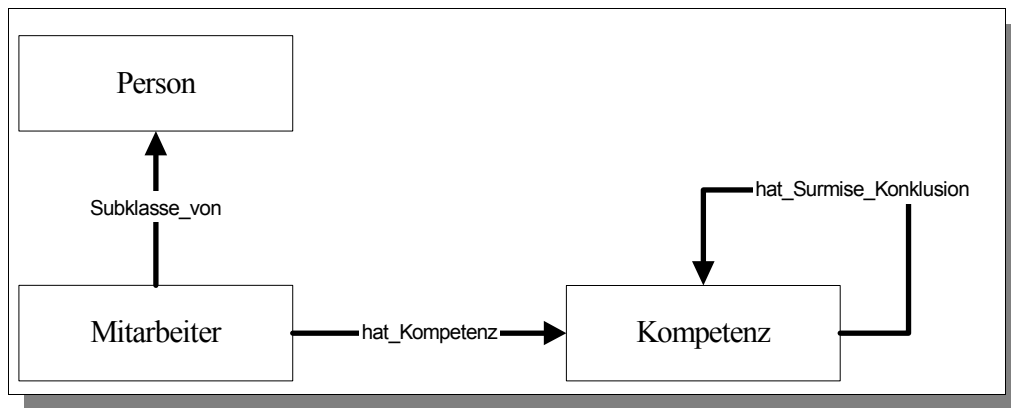


Abbildung 4: Struktur der Surmise-Relation-Ontologie

Die voranstehende Abbildung 4 skizziert eine erste (Teil-)Ontologie, mit deren Hilfe das Konzept der Surmise-Relation \mathcal{R} implementiert wird. Stehen zwei Probleme p_1 und p_2 in einer Beziehung der Surmise-Relation – d.h. gilt $(p_1, p_2) \in \mathcal{R}$ –, so lautet die F-Logic-Spezifikation dieses Sachverhalts:

$$p_1:\text{Kompetenz}[\text{hat_Surmise_Konklusion} \rightarrow p_2]$$

Die Eigenschaften der Surmise-Relation \mathcal{R} werden spezifiziert als:

FORALL Kompetenz1 Kompetenz1:Kompetenz[hat_Surmise_Konklusion->>Kompetenz1] (Reflexivität)

und:

FORALL Kompetenz1, Kompetenz2, Kompetenz3

$$\begin{aligned} & \text{Kompetenz1}[\text{hat_Surmise_Konklusion} \rightarrow \text{Kompetenz3}] \leftarrow \\ & (\text{Kompetenz1:Kompetenz}[\text{hat_Surmise_Konklusion} \rightarrow \text{Kompetenz2}] \text{ AND} \\ & \text{Kompetenz2:Kompetenz}[\text{hat_Surmise_Konklusion} \rightarrow \text{Kompetenz3}]) \end{aligned} \quad (\text{Transitivität}).$$

Die dritte Eigenschaft der Antisymmetrie lässt sich hingegen nicht mittels einfacher Subjugaten in der voranstehenden Form in F-Logic implementieren, da sie ihrem „Wesen“ nach nicht die Folgerbarkeit neuer Fakten, sondern den Ausschluss unzulässiger Fakten bedeutet: Denn die o.a. „Definition“ der Antisymmetrie mittels der Formel „ $\forall p_1, p_2 \in \mathcal{P}: ((p_1, p_2) \in \mathcal{R} \wedge (p_2, p_1) \in \mathcal{R}) \rightarrow p_1 = p_2$ “ stellt nur die allgemein übliche, als Subjugat „geformte“ Umschreibung für folgenden Sachverhalt dar: $\forall p_1, p_2 \in \mathcal{P}: ((p_1, p_2) \in \mathcal{R} \wedge p_1 \neq p_2) \rightarrow (p_2, p_1) \notin \mathcal{R}$. Die Nicht-Zugehörigkeit zur Surmise-Relation \mathcal{R} lässt sich aber in einer gewöhnlichen Wissensbasis nicht als Faktum repräsentieren. Um die Eigenschaft der Antisymmetrie korrekt darstellen zu können, muss daher eine Relation „*hat_nicht_Surmise_Konklusion*“ komplementär zur bereits eingeführten Relation „*hat_Surmise_Konklusion*“ definiert werden. Zusätzlich ist es erforderlich, mittels einer Integritätsregel den o.a. Sachverhalt auszudrücken: In der Wissensbasis eines Kompetenzmanagement-Systems darf niemals das faktische Wissen repräsentiert werden, dass hinsichtlich der Surmise-Relation \mathcal{R} durch die Fähigkeit, ein Problem (p_1) zu lösen, eine andere Problemlösungsfähigkeit (p_2) sowohl eingeschlossen ($(p_1, p_2) \in \mathcal{R}$) als auch ausgeschlossen ($(p_1, p_2) \notin \mathcal{R}$) wird. Diese Anforderungen werden durch folgende Festlegungen erfüllt:

FORALL Kompetenz1, Kompetenz2

$$\begin{aligned} & \text{Kompetenz2}[\text{hat_nicht_Surmise_Konklusion} \rightarrow \text{Kompetenz1}] \leftarrow \\ & (\text{Kompetenz1} : \text{Kompetenz2}[\text{hat_Surmise_Konklusion} \rightarrow \text{Kompetenz2}] \text{ AND} \\ & \text{NOT equal}(\text{Kompetenz1}, \text{Kompetenz2})) \end{aligned}$$

FORALL Kompetenz1, Kompetenz2

$$\begin{aligned} & \text{NOT} (\text{Kompetenz2}[\text{hat_Surmise_Konklusion} \rightarrow \text{Kompetenz1}] \text{ AND} \\ & \text{Kompetenz2}[\text{hat_nicht_Surmise_Konklusion} \rightarrow \text{Kompetenz1}]) \leftarrow \\ & \text{NOT equal}(\text{Kompetenz1}, \text{Kompetenz2}) \end{aligned} \quad (\text{Antisymmetrie}).$$

Die erste subjugatformige Regel zur Implementierung der Antisymmetrie-Eigenschaft in F-Logic stellt eine konventionelle Inferenzregel dar, weil sie das Schlussfolgern neuer Fakten – hier in Bezug auf die Nicht-Zugehörigkeit eines Paares von Problemlösungsfähigkeiten zur Surmise-Relation \mathcal{R} – gestattet. Die zweite subjugatformige Regel zur Implementierung der Antisymmetrie-Eigenschaft besitzt jedoch eine andere epistemische Qualität, weil sie in ihrer Konklusion kein ableitbares neues Faktum, sondern eine *unzulässige* Koexistenz zweier Fakten – d.h. hier $(p_2, p_1) \in \mathcal{R}$ und $(p_2, p_1) \notin \mathcal{R}$ – in der Wissensbasis ausdrückt. Um die *Unzulässigkeit* einer Formel – hier: $(p_2, p_1) \in \mathcal{R} \wedge (p_2, p_1) \notin \mathcal{R}$ – in einer Wissensbasis operativ handhaben zu können, bedarf es zusätzlicher Mechanismen, wie z.B. eines „Trigger-Mechanismus“: Er zeigt im Falle des Vorliegens einer solchen unzulässigen Formel den Eintritt der Integritätsverletzung an und setzt alle vorangegangenen Schlussfolgerungen zurück, die zu dieser Integritätsverletzung geführt haben. Beispielsweise bietet die *Petrinetz*-Technik mittels ihrer Fakt-Transitionen und den darauf aufbauenden Fakt-Netzen ein Kalkül, mit dessen Hilfe solche Unzulässigkeiten von Formeln in einer Wissensbasis ausgedrückt und im Falle ihres Eintritts angezeigt werden können, um entsprechende Zurücksetzungsmechanismen anzustoßen (zu „triggern“).

Bei der Konstruktion der KOWIEN-Ontologien hat es sich als vorteilhafter erwiesen, die verwendeten Relationen zu klassifizieren und charakteristische Eigenschaften aller Mitglieder einer solchen Relationenklasse mittels „Reifizierung“ durch Inferenzregeln für die gesamte Klasse zu definieren¹⁾. Auf diese Weise wird es möglich, häufig wiederkehrende Relationseigenschaften nur einmal für alle klassenzugehörigen Relationen zu definieren, anstatt sie für jede einzelne Relation explizit angeben zu müssen. Dies trägt erheblich zur Kompaktheit und Übersichtlichkeit der Ontologien bei. Als pars pro toto wird die Relationseigenschaft der Transitivität betrachtet. Die Surmise-Relation \mathcal{R} – hier als zweistellige Relation „*hat_Surmise_Konklusion*“ in Infix-Notation wiedergegeben – wird in diesem Fall mittels des Meta-Prädikats *transitiv* als transitive Relation klassifiziert: *transitiv(hat_Surmise_Konklusion)*. Die charakteristische Regel für die „reifizierte“ Klasse *aller* transitiven Relationen REL lautet dann mit X, Y und Z als beliebigen „normalen“ Klassen mit Individuen als Elementen:

1) Es wird darauf hingewiesen, dass bei solch einem Vorgehen der Bereich der Prädikatenlogik *erster* Stufe verlassen wird, in der nur Individuen-Konstanten und -Variablen als Subjekte von Prädikaten und Relationen bzw. als Objekte von Quantifizierungen zulässig sind. Prädikats- und Relations-Konstanten als Subjekte von (höherstufigen) sowie Prädikats- und Relations-Variablen als Objekte von Quantifizierungen sind dagegen erst innerhalb der Prädikatenlogik *zweiter* Stufe zulässig. Die Prädikatenlogik zweiter Stufe wird hier erforderlich, um quantifizierte Formeln über Relations-Variablen ausdrücken zu können.

FORALL X, Y, Z, REL

$X[REL \rightarrow Z] \leftarrow$

$(X[REL \rightarrow Y] \text{ AND } Y[REL \rightarrow Z] \text{ AND } \text{transitiv}(REL))$

Zur weiteren Illustration der Ontologie für Kompetenzmanagement-Systeme dient eine Inferenzregel, die sicherstellt, dass die Kompetenzprofile der Mitarbeiter mit der Strukturierung der Problemlösungsfähigkeiten durch die Surmise-Relation \mathcal{R} übereinstimmen. Sie drückt aus, dass alle Mitarbeiter, die eine bestimmte Kompetenz (Problemlösungsfähigkeit) besitzen, auch über alle Kompetenzen (Problemlösungsfähigkeiten) verfügen müssen, die in Surmise-Beziehungen zu der erstgenannten Kompetenz stehen. Diese Inferenzregel, die auch als eine Integritätsregel „höherer Ordnung“ zwischen Kompetenzprofilen einerseits und Surmise-Relation \mathcal{R} andererseits aufgefasst werden kann, lautet:

FORALL $Mitarbeiter1, Kompetenz1, Kompetenz2$

$Mitarbeiter1[\text{hat_Kompetenz} \rightarrow Kompetenz2] \leftarrow$

$(Mitarbeiter1:Mitarbeiter[\text{hat_Kompetenz} \rightarrow Kompetenz1] \text{ AND}$

$Kompetenz1:Kompetenz[\text{hat_Surmise_Konklusion} \rightarrow Kompetenz2])$

Wenn beispielsweise das Kompetenzprofil für einen Mitarbeiter *Meier* die Lösungsfähigkeit für ein Problem p_i umfasst, so wird eine Anfrage der Form:

FORALL X

$Meier[\text{hat_Kompetenz} \rightarrow X]$

entsprechend der Surmise-Relation in Abbildung 1 zu der Antwort eines Kompetenzmanagement-Systems führen, dass der Mitarbeiter *Meier* neben der Fähigkeit, das Problem p_i lösen zu können, auch über die Kompetenzen verfügt, die Probleme p_2 und p_3 zu lösen.

Wenn von der „einfachen“ Surmise-Relation \mathcal{R} zur Darstellung von Kompetenzen-Zusammenhängen in UND/ODER-Graphen übergegangen wird, die auch neuartige ODER-Verknüpfungen zwischen Problemlösungsfähigkeiten zulassen, wird von einem Surmise-System \mathcal{S} gesprochen. Die Visualisierung einer Ontologie, die auf dem Gerüst eines solchen Surmise-Systems konstruiert wurde, erfolgt in der nachfolgenden Abbildung 5.

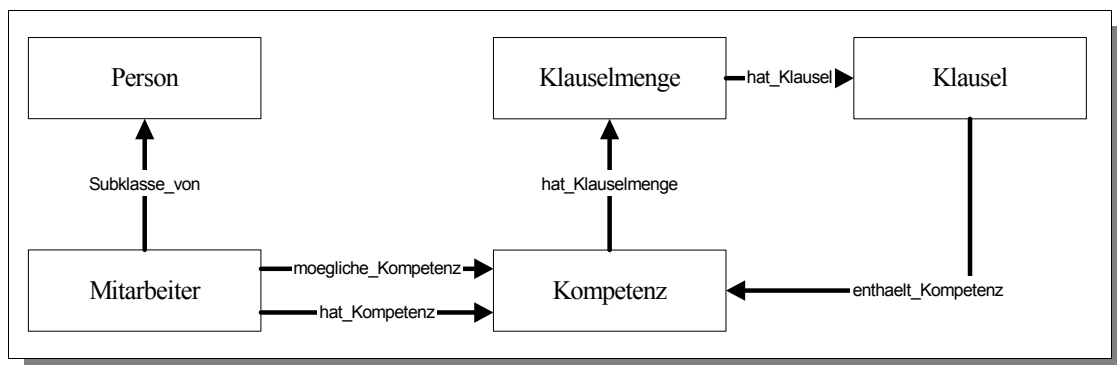


Abbildung 5: Struktur der Surmise-System-Ontologie

Da in einem Surmise-System die Klauselmenge aus Kompetenzen (Problemlösungsfähigkeiten), die von einer Kompetenz eingeschlossen werden, in disjunktiver Normalform dargestellt wird, ist es für Kompetenzen, die zu *unterschiedlichen* Klauseln gehören, nicht mehr möglich, stringent auf eine bestimmte Kompetenzmenge zu schließen. Stattdessen können nur noch Mengen *möglicher* Kompetenzen angegeben werden, über die ein Akteur aufgrund seiner explizit angegebenen Kompetenz verfügen könnte. Die Inferenzregel, die zu einer solchen Surmise-System-Ontologie gehört, lautet entsprechend:

FORALL Mitarbeiter1, Kompetenz1, Kompetenz2, Klauselmenge1, Klausel1

Mitarbeiter1[hat_moegliche_Kompetenz->>Kompetenz2] ←
 (Mitarbeiter1:Mitarbeiter[hat_Kompetenz->>Kompetenz1] AND
 Kompetenz1:Kompetenz[ist_enthalten_in->>Klausel1] AND
 Klausel1:Klausel[enthalt_Kompetenz->>Kompetenz2])

Die epistemische Qualität dieser Inferenzregel für das Surmise-System S ist geringer als die epistemische Qualität der entsprechenden Inferenzregel für die Surmise-Relation \mathcal{R} , da die erstgenannte Inferenzregel lediglich Wissen über *mögliche* Kompetenzen eines Akteurs zu erschließen vermag¹⁾, während die zweitgenannte Inferenzregel gestattet, Wissen über eine *tatsächlich vorhandene* Kompetenz zu folgern. Die Erweiterung von Surmise-Relationen \mathcal{R} auf Surmise-Systeme S ermöglicht also eine *größere Ausdrucksmächtigkeit* hinsichtlich Zusammenhängen zwischen Problemlösungsfähigkeiten (Kompetenzen), bedeutet aber zugleich eine *geringere Schlussfolgerungsqualität*. Dieser *Trade-off* zwischen Ausdrucksmächtigkeit und Schlussfolgerungsqualität der Konstruktionsweise einer Ontologie stellt einen Ontologie-Designer vor das Problem, zwischen diesen beiden gegenläufigen Tendenzen abzuwägen. Dieses Evaluationsproblem konstituiert ein ökonomisches Optimierungsproblem, für das bislang noch keine Lösungsansätze bekannt sind. Zu seiner Lösung bedarf es einer Bewertungsfunktion sowohl für unterschiedliche Ausdrucksmächtigkeiten als auch für unterschiedliche Schlussfolgerungsqualitäten von ontologiebasierten Kompetenzmanagement-Systemen. Bewertungsfunktionen beider Art müssen erst noch durch weiterführende, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Informatik und Betriebswirtschaftslehre aufgestellt und hinsichtlich ihrer charakteristischen Eigenschaften analysiert werden.

4. Ausblick

In dem Beitrag wurde aufgezeigt, wie das Konzept der Wissensräume als formale Grundlage für die Konstruktion von ontologiebasierten Kompetenzmanagement-Systemen verwendet werden kann. Als vorteilhaft erweist sich dieses Vorgehen, da innerhalb von Kompetenzmanagement-Systemen Wissen über Kompetenzen abgelegt werden soll, das möglicherweise lediglich *implizit* vorliegt. Durch die formale Vorstrukturierung von Begriffen, die mittels Ontologien erzielt wird, können Inferenzregeln konstruiert

1) Diese Einschränkung lässt sich so lange nicht vermeiden, wie gängige Inferenz-Maschinen auf die Verarbeitung von HORN-Klauseln beschränkt bleiben. Sobald diese Einschränkung auf HORN-Klauseln überwunden ist und die Konklusion von Subjunkt-Formeln auch komplexe, u.a. disjunktiv zusammengesetzte Formeln umfassen darf, ist die Schlussfolgerungsfähigkeit nicht mehr auf lediglich mögliche Kompetenzen restringiert. Die nachfolgenden Anmerkungen zum epistemischen Trade-off und dem daraus folgenden ökonomischen Optimierungsproblem würde entfallen.

werden. Diese Inferenzregeln ermöglichen die Explikation zuvor impliziten Wissens über Kompetenzen. Darüber hinaus lassen sich auch Integritätsregeln spezifizieren, die für die Konsistenz des Wissens über Kompetenzen sorgen und im Falle einer drohenden Inkonsistenz die erforderlichen „Reparaturmechanismen“ auslösen.

Im Weiteren kann das hier vorgestellte Vorgehen auch in anderen Domänen angewendet werden. Als Beispiele kommen hierfür in Frage:

- *Fehlerdiagnose-Systeme*: Wenn potenzielle Fehlerquellen zuvor in einer Surmise-Relation oder einem Surmise-System eingebettet werden, kann eine effiziente Fehlerdiagnose durchgeführt werden. Systemanalytikern würde hiermit die Möglichkeit geboten, explizit vorliegende Fakten in die Wissensbasis einzugeben um im Anschluss den Raum der möglichen Fehlerquellen für eine erste Untersuchung zu minimieren.
- *Medizinische Diagnose*: Ontologiegestützte Wissensbasen, in denen Krankheits-Symptome mittels einer Surmise-Relation oder eines Surmise-Systems in einem Ordnungsraster strukturiert wurden, können in der medizinischen Praxis als Diagnosehilfen dienen. Ähnlich der Analyse technischer Systeme können auch hierbei Krankheits-Symptome als Fakten abgelegt werden, aus denen sich mittels computergestützter Inferenzen mutmaßliche Krankheits-Ursachen ableiten lassen.
- *E-Learning*: In einem E-Learning-System wird die Modellierung des Wissens über den Benutzer wichtig, wenn das System mit dem Benutzer keinen vordefinierten Ablauf von Lernaufgaben durcharbeiten kann, sondern die Lernsequenz auf die spezifische Wissensstruktur eines jeden Benutzers individuell zugeschnitten werden soll¹⁾. Beispielsweise können einzelne Aufgabenstellungen „übergangen“ werden, für die der Benutzer aufgrund bekannter Surmise-Beziehungen bereits bewiesen hat, dass er sie erfolgreich zu erfüllen vermag.

Als Erweiterung des Konzepts der Wissensräume kommt zudem ihre Verknüpfung mit der *formalen Begriffsanalyse* in Betracht²⁾. Dadurch würde neben der extensionalen Auflistung aller Objekte, die sich unter einen Begriff subsumieren lassen, auch die intensionale Beschreibung des Begriffsinhalts durch die Auflistung aller Merkmale, die den Designata eines Begriffs zukommen, erreicht werden³⁾. In dem hier zugrunde gelegten problemorientierten Paradigma der Betriebswirtschaftslehre würde dies bedeuten, dass zur Kompetenzspezifikation neben der extensionalen Auflistung aller Probleme, die von einem Akteur gelöst werden können, es ebenso möglich wird, auf intensionale Weise die gemeinsamen Merkmale alle Probleme anzugeben, die ein Akteur mit einer bestimmten Kompetenz zu lösen vermag.

1) Vgl. PEYLO ET AL. (2000)

2) Vgl. GANTER/WILLE (1996)

3) Vgl. RUSCHE/WILLE (1996)

Literaturverzeichnis

BRICKLEY/GUHA (2002)

Brickley, D.; Guha, R.V.: RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema. W3C Working Draft 30 April 2002. URL: <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>

COATES/MCDERMOTT (2002)

Coates, T.T.; McDermott, C.M.: An exploratory analysis of new competencies: a resource based view perspective. In: *Journal of Operations Management*, 20. Jg. (2002), S. 435-450.

DOIGNON/FALMAGNE (1999)

Doignon J.P.; Falmagne, J.C.: *Knowledge Spaces*. Berlin et al. 1999.

ELBERT (2001)

Elbert, S.: Einführung eines Management-Support-Systems zum effektiven Skill-Management bei Bertelsmann mediaSystems. In: Schnurr, H.-P.; Staab, S.; Studer, R.; Stumme, G.; Sure, Y. (Hrsg.): *Professionelles Wissensmanagement. Erfahrungen und Visionen*. Aachen 2001, S. 129-144.

FALMAGNE ET AL. (1990)

Falmagne, J.C.; Doignon, J.P.; Koppen, M.; Villano, M.; Johannesen, L.: Introduction to Knowledge Spaces: How to Build, Test, and Search Them. In: *Psychological Review*, Vol. 97 (1990), No. 2, S. 201-224.

FREILING (2000)

Freiling, J.: Entwicklungslinien und Perspektiven des Strategischen Kompetenz-Managements. In: Hammann, P.; Freiling, J. (Hrsg.): *Die Ressourcen- und Kompetenzperspektive des Strategischen Managements*. Wiesbaden 2000, S. 13-45.

GANTER/WILLE (1996)

Ganter, B.; Wille, R.: *Formale Begriffsanalyse*. Berlin et al. 1996.

GRANT (1991)

Grant, R.M.: The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation. In: *California Management Review*, 33. Jg. (1991), Nr. 3, S. 114-135.

GUARINO (1998)

Guarino, N.: Formal Ontology and Information Systems. In: Guarino, N. (Hrsg.): *Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of the First International Conference (FOIS '98)*, June 6-8, Trento, Italy. Amsterdam et al. 1998, S. 3-15.

HERLING/PROVO (2000)

Herling, R.W.; Provo, J.: Knowledge, Competence, and Expertise in Organizations. In: Herling, R.; Provo, J. (Hrsg.): *Strategic Perspectives on Knowledge, Competence, and Expertise*. Baton Rouge 2000. S. 1-7.

HORROCKS (2002)

Horrocks, I.: DAML+OIL: A Reason-able Web Ontology Language. In: Jensen, C.S.; Jeffery, K.G.; Pokorný, J.; Saltenis, S.; Bertino, E.; Böhm, K.; Jarke, M. (Hrsg.): *Advances in Database Technology - EDBT 2002, 8th International Conference on Extending Database Technology*, Prague, Czech Republic, March 25-27, Proceedings. Berlin et al. 2002, S. 2-13.

KIFER ET AL. (1995)

Kifer, M.; Lausen, G.; Wu, J.: Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based Languages. In: *Journal of the ACM*, Vol. 42 (1995), No. 4, S. 741-843.

KOROSSY (1993)

Korossy, K.: *Modellierung von Wissen als Kompetenz und Performanz*. Heidelberg 1993.

KOROSSY (1999)

Korossy, K.: Qualitativ-strukturelle Wissensmodellierung in der elementaren Teilbarkeitslehre. In: *Zeitschrift für experimentelle Psychologie*, 46. Jg. (1999), Heft 1, S. 28-52.

LAU/SURE (2002)

Lau, T.; Sure, Y.: Introducing Ontology-based Skills Management at a large Insurance Company. In:

Glinz, M.; Müller-Luschnat, G. (Hrsg.): Modellierung 2002. Arbeitstagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI). Bonn 2002, S. 123-134.

LASILLA/SWICK (1999)

Lasilla, O.; Swick, R.R.: Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification. W3C Recommendation 22 February 1999. URL: <http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/>

MAEDCHE ET AL. (2000)

Maedche, A.; Schnurr, H.P.; Staab, S.; Studer, R.: Representation Language-Neutral Modeling of Ontologies. In: Ebert, J.; Frank, U. (Hrsg.): Modelle und Modellierungssprachen in Informatik und Wirtschaftsinformatik. Beiträge des Workshops „Modellierung 2000“, St. Goar, 5.-7. April 2000, Koblenz 2000. S. 129-142.

PEYLO ET AL. (2000)

Peयो, C; Thelen, T.: Skills und Konzepte als Grundlage für Benutzermodellierung in einem Prolog ITS. Technical Report of the Institute for Semantic Information Processing, Osnabrück 2000.

RITTGEN (1998)

Rittgen, P.: Prozeßtheorie der Ablaufplanung - Algebraische Modellierung von Prozessen, Ressourcenrestriktionen und Zeit. Stuttgart - Leipzig 1998.

RUSCHE/WILLE (1996)

Rusche, A.; Wille, R.: Knowledge Spaces and Formal Concept Analysis. In: Bock, H.H.; Polasek, E. (Hrsg.): Data Analysis and Information Systems. Berlin et al. 1996, S. 427-436.

SCHREPP (1993)

Schrepp, M.: Über die Beziehung zwischen kognitiven Prozessen und Wissensräumen beim Problemlösen. Heidelberg 1993.

STAAB (2002)

Staab, S.: Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten. In: Informatik Spektrum, Band 25 (2002), Heft 3, S. 194-209.

SURE ET AL. (2002)

Sure, Y.; Erdmann, M.; Angele, J.; Staab, S.; Studer R.; Wenke, D.: OntoEdit: Collaborative Ontology Engineering for the Semantic Web. In: Horrocks, I.; Hendler, J.A. (Hrsg.): The Semantic Web - ISWC 2002. First International Semantic Web Conference, Sardinia, Italy, June 9-12, 2002. Berlin et al. 2002, S. 221-235.

**Institut für Produktion und
Industrielles Informationsmanagement
Universität Duisburg-Essen / Campus Essen**

Verzeichnis der KOWIEN-Projektberichte

- Nr. 1: ALPARSLAN, A.: Ablauforganisation des Wissensmanagements. Projektbericht 1/2002, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 2: ALAN, Y.: Methoden zur Akquisition von Wissen über Kompetenzen. Projektbericht 2/2002, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 3: DITTMANN, L.: Sprachen zur Repräsentation von Wissen - eine untersuchende Darstellung. Projektbericht 3/2002, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 4: DITTMANN, L.: Zwecke und Sprachen des Wissensmanagements zum Managen von Kompetenzen. Projektbericht 4/2002, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 5: ALAN, Y.; BÄUMGEN, C.: Anforderungen an den KOWIEN-Prototypen. Projektbericht 5/2002, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 6: ALPARSLAN, A.: Wissensanalyse und Wissensstrukturierung. Projektbericht 6/2002, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 7: ALAN, Y.: Evaluation der KOWIEN-Zwischenergebnisse. Projektbericht 7/2002, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 8: ZUG, S.; KLUMPP, M.; KROL, B.: Wissensmanagement im Gesundheitswesen, Arbeitsbericht Nr. 16, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.

- Nr. 9: APKE, S.; DITTMANN, L.: Analyse von Vorgehensmodellen aus dem Software, Knowledge und Ontologies Engineering. Projektbericht 1/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 10: ALAN, Y.: Konstruktion der KOWIEN-Ontologie. Projektbericht 2/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 11: ALAN, Y.: Ontologiebasierte Wissensräume. Projektbericht 3/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 12: APKE, S.; DITTMANN, L.: Generisches Vorgehensmodell KOWIEN Version 1.0. Projektbericht 4/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 13: ALAN, Y.: Modifikation der KOWIEN-Ontologie. Projektbericht 5/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 14: ALAN, Y.; ALPARSLAN, A.; DITTMANN, L.: Werkzeuge zur Sicherstellung der Adaptibilität des KOWIEN-Vorgehensmodells. Projektbericht 6/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 15: ENGELMANN, K.; ALAN, Y.: KOWIEN Fallstudie - Gebert GmbH. Projektbericht 7/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 16: DITTMANN, L.: Towards Ontology-based Skills Management. Projektbericht 8/2003, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 17: ALPARSLAN, A.: Evaluation des KOWIEN-Vorgehensmodells, Projektbericht 1/2004, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 18: APKE, S.; BÄUMGEN, C.; BREMER, A.; DITTMANN, L.: Anforderungsspezifikation für die Entwicklung einer Kompetenz-Ontologie für die Deutsche Montan Technologie GmbH. Projektbericht 2/2004, Projekt KOWIEN, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.

- Nr. 19: HÜGENS, T.: Inferenzregeln des „plausiblen Schließens“ zur Explizierung von implizitem Wissen über Kompetenzen. Projektbericht 3/2004, Projekt KOWIEN, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 20: ALAN, Y.: Erweiterung von Ontologien um dynamische Aspekte. Projektbericht 4/2004, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 21: WEICHELT, T.: Entwicklung einer E-Learning-Anwendung zum kompetenzprofil- und ontologiebasierten Wissensmanagement – Modul 1: Grundlagen. Projektbericht 5/2004, Projekt KOWIEN, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.