

Wissensstruktur zur Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Unterstützungssysteme

M. Kratzer, H. Binz, D. Roth

*Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD)
Universität Stuttgart*

1 Einleitung

Konstrukteure müssen im heutigen Umfeld innovative Produkte entwickeln, um am Markt zu bestehen [1]. Hierfür müssen zum Teil immer komplexere und interdisziplinärere Produkte und Systeme geplant und gestaltet werden [1], [2]. Nach Lindemann sind die Ursachen hierfür eine steigende Funktionalität, zunehmende Vernetzung in übergeordneten Systemen und eine zunehmende Anzahl an Ausführungsvarianten [2]. Diese Komplexität kann speziell in mechatronischen Produkten und Systemen vom Konstrukteur nicht mehr überblickt werden. An dieser Stelle können Unterstützungssysteme den Konstrukteur in allen Phasen der Produktentwicklung eine wertvolle Hilfe sein. In den Phasen Entwurf und Ausarbeitung kann ein Unterstützungssystem in Verbindung mit einem CAD-System Inkonsistenzen feststellen bzw. lösen und dem Konstrukteur Wissen bereitstellen. Ein agentenbasiertes Konstruktionssystem kann zudem proaktiv vorgehen und Lösungen für erkannte Inkonsistenzen erarbeiten und umsetzen. Das an der Universität Stuttgart entwickelte agentenbasierte System ProKon (Proaktive Unterstützung von Konstruktionsprozessen durch Softwareagentensysteme) [3] ist ein Unterstützungssystem, das den Konstrukteur im Entwurf und Ausarbeitung assistiert. Das System wird hierbei dauerhaft über eine Schnittstelle

mit einem CAD-System verbunden. Unterstützung erfolgt in den folgenden Bereichen:

- proaktive Konsistenzprüfung von CAD-Modellen und multikriterielle Lösungsfindung in Bezug auf unterschiedliche DfX-Kriterien
- aktives Nachschlagewerk für den Konstrukteur

Diese beiden Funktionalitäten machen das System zum einen *wissensintensiv* und zum anderen *wissenssensitiv*. Mit *wissenssensitiv* ist hier in diesem Kontext die Relation zwischen integriertem Konstruktionswissen und den grundlegenden Funktionen des Unterstützungssystems (s. o.) gemeint. Um dem Konstrukteur diese Funktionalitäten anbieten zu können, muss Konstruktionswissen in das agentenbasierte Unterstützungssystem methodisch integriert werden. Diese methodische Integration muss darüber hinaus in eine methodische Vorgehensweise zur Entwicklung von agentenbasierten Unterstützungssystemen in der Konstruktion eingebettet werden. Nur so können alle wichtigen Randbedingungen mitbetrachtet werden. Das Resultat ist auf der einen Seite ein Wissensmodell, das aus verschiedenen Wissensstrukturen besteht, und auf der anderen Seite eine modellbasierte Vorgehensweise zur methodischen Entwicklung von agentenbasierten Unterstützungssystemen in der Konstruktionstechnik. In diesem Beitrag erfolgt zunächst eine Beschreibung des agentenbasierten Unterstützungssystems. Darauf aufbauend wird in Kapitel 3 das Wissensmodell mit den unterschiedlichen Wissensstrukturen beschrieben, die zudem in einen Gesamtzusammenhang mit der Entwicklung von agentenbasierten Unterstützungssystemen gesetzt wird. Eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick auf die weiteren Forschungstätigkeiten runden den Beitrag ab.

2 ProKon - Ein agentenbasiertes Unterstützungssystem

Die Unterstützung des Konstrukteurs in Umgang mit einem CAD-System wird häufig durch das Schlagwort „Knowledge-based Engineering“ (KBE) verdeutlicht. Vajna [4] versteht unter KBE die Nutzung des Wissens in CAx-Systemen und stellt somit heraus, dass KBE als eine natürliche und logische Ergänzung der rechnergestützten Produktentwicklung verstanden werden kann. Die Idee hinter KBE ist meist ähnlich, jedoch unterscheiden sich die hierbei verwendeten Unterstützungssysteme (auch Assistenz- oder Konstruktionssysteme genannt) in deren Funktionsweise und Aufbau voneinander deutlich. Es wird in diesem Fall häufig zwischen etablierten Unterstützungssystemen, wie z. B. regelbasierte- und fallbasierte Systemen, und neuartigen Systemen, wie z. B. ontologiebasierte- und agentenbasierte

Systemen, unterschieden [5]. Im ProKon-Projekt wird ein agentenbasiertes System verwendet, um den Konstrukteur in Umgang mit einem CAD-System zu unterstützen [3]. Hierbei wird das Unterstützungssystem direkt in ein CAD-System eingebettet. Während eines Konstruktionsprozesses untersucht das Unterstützungssystem das CAD-Modell auf Inkonsistenzen bzgl. geltender Normen bzw. Vorschriften und unterbreitet dem Konstrukteur daraufhin Gestaltungsvorschläge. Folgendes Szenario ist denkbar: Ein Konstrukteur soll ein bereits bestehendes Getriebe auf einen weiteren Lastfall auslegen und muss hierbei einen Querpressverband modifizieren. Um mit dem Querpressverband ein größeres Nenndrehmoment zu übertragen, vergrößert der Konstrukteur den Wellenaußendurchmesser. Das in das CAD-System eingebettete Unterstützungssystem prüft ständig die Konstruktion auf unterschiedliche Gestaltungsrichtlinien (DfX - Design for X) und gibt dem Konstrukteur die Fehlermeldung aus, dass bei dieser Konstruktion die Nabe im Betrieb von der Welle wandern könnte, weil eine Gestaltungsregel der Norm DIN 7190 [6] nicht mehr erfüllt ist ($l_F/D_F \geq 1,5$). Dieser konstruktive Fehler wäre u. U. ohne die Hilfe des Unterstützungssystems nicht aufgedeckt worden und hätte im Betrieb zu Schäden bzw. Ausfällen führen können.

Bild 1 beschreibt den Aufbau des Unterstützungssystems. Hierbei dient der Querpressverband als ein erstes Anwendungsszenario. Neben der geometriebasierten (Körper, Flächen etc.) und semantikbasierten Produktrepräsentation (Funktionen, Verhalten, Eigenschaften, Werkstoffe, Oberflächen etc.), dienen Anforderungen als ein weiteres Modell zur Darstellung des Produkts. Das CAD-System vereint von diesen drei Möglichkeiten die geometrische und die semantische Produktrepräsentation. In Bild 1 ist hiervon lediglich die geometrische Produktrepräsentation im CAD-System abgebildet. Der Knowledge Engineer (dt.: Wissensingenieur) hat die Aufgabe, Konstruktionswissen aus Normen, Fachbüchern und aus Interviews mit Konstrukteuren zu erheben und in das Unterstützungssystem zu überführen. Das Unterstützungssystem selbst ist ein Softwareagentensystem und besitzt zwei unterschiedliche Klassen von Agenten. CAD-Agenten betreuen jeweils ein Bauteil im CAD-System. Ihre Aufgabe besteht darin, geometrische und semantische Daten über das jeweilige Bauteil zu sammeln und der zweiten Agentenklasse zur Verfügung zu stellen. Diese Management-Agenten bestehen u. a. aus so genannten Aspektagenten (siehe Bild 1, AA), die jeweils für eine DfX-Richtlinie zuständig sind (z. B. Aspektagent für funktionsgerechtes Gestalten). Sie werden unterstützt durch so genannte Fachagenten (siehe Bild 1, FA), die Wissen über eine Klasse von Maschinenelementen (Welle, Sicherungsring etc.) besitzen. Darüber hinaus existiert genau ein Management-Agent (siehe Bild 1, MA), der für die Lösungsfindung in einem mehrdimensionalen Lösungsraum zuständig ist. Hierbei wird ein

Blackboardverfahren in Verbindung mit einer mehrstufigen Eskalationsstrategie angewendet, um dieses multikriterielle Problem zu lösen [3]. Des Weiteren werden grundlegende Ansätze der Pareto-Optimierung verwendet [7].

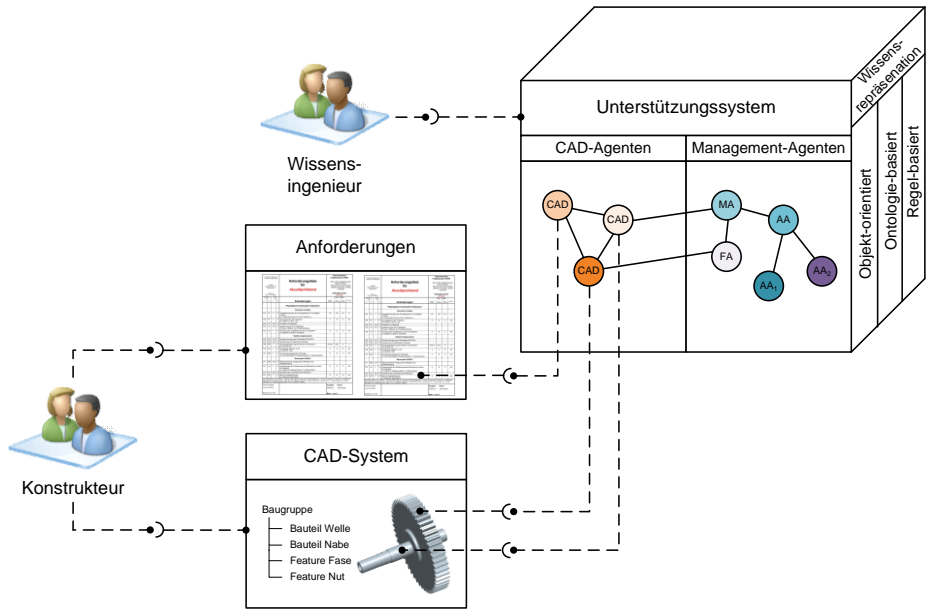


Bild 1: Aufbau des Unterstützungssystems ProKon

Das Unterstützungssystem basiert auf einem hybriden Ansatz bezüglich der verwendeten Wissensrepräsentation (siehe Bild 1) [8]. Neben einem objekt-orientierten Ansatz muss das Wissen zudem in einer Ontologie und mit einem regelbasierten Ansatz gespeichert werden, um den Softwareagenten die Ausübung ihrer geplanten Tätigkeiten (proaktive Überprüfung der Konstruktion, Finden von Lösungen, multikriterielle Entscheidung) zu ermöglichen. Wie bereits erläutert, ist es die Aufgabe des Wissensingenieurs, das Wissen zunächst zu erheben, zu analysieren und schließlich im System methodisch zu repräsentieren. Diese Integration sollte jedoch wie bereits erläutert mit einer methodischen Entwicklung des Systems einhergehen. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel ein Ansatz zur methodischen Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Unterstützungssysteme vorgestellt.

3 Ein Ansatz zur methodischen Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Unterstützungssysteme

Agentensysteme sind wissensbasierte Systeme und benötigen zur Durchführung der ihnen zugedachten Aufgaben Wissen [9]. In diesem Fall benötigt das Unterstützungssystem Konstruktionswissen, um ein CAD-Modell auf Konsistenz hin zu überprüfen und dem Konstrukteur Gestaltungsvorschläge zu unterbreiten. Diese Integration von Konstruktionswissen sollte jedoch in eine geordnete, methodische Vorgehensweise eingebettet werden. Aus diesem Grund kann nicht von einem Transfer (Wissensort des Konstruktionswissen → Unterstützungssystem) gesprochen werden. Dieses Transferparadigma [10], [11] wurde in den späten 1980er Jahren verwendet. Bei der Entwicklung von wissensbasierten Systemen wird heutzutage ein modell-basierten Ansatz gewählt, bei dem der Entwickler das Wissen zunächst modelliert und in einem ganzheitlichen Ansatz unter Beachtung aller Randbedingungen in das Zielsystem integriert. Eine generische modell-basierte Vorgehensweise zur Entwicklung von wissensbasierten Agentensystemen (z. B. das entwickelte Unterstützungssystem) ist ein wichtiger Einflussfaktor und sollte demnach als Grundlage für das Wissensmodell dienen, um alle Randbedingungen zu beachten. Neben der modell-basierten Vorgehensweise werden im nachfolgenden Bild 2 weitere drei Einflussfaktoren dargestellt, die in der darauf folgenden Aufzählung beschrieben werden:

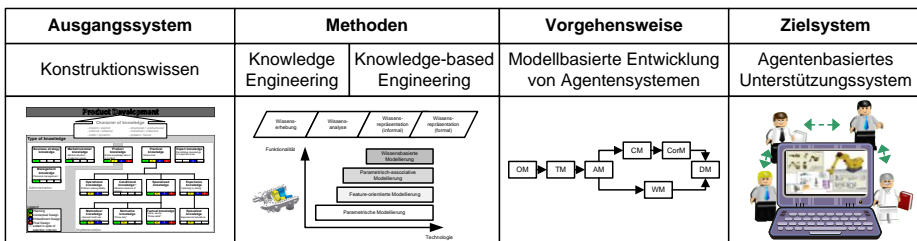


Bild 2: Einflüsse auf das Wissensmodell

- Konstruktionswissen (Ausgangssystem):** Ausgangspunkt für die Wissensstruktur bildet das Konstruktionswissen in unterschiedlichen Ausprägungsformen (Wissensarten). Explizites Wissen aus Fachbüchern und Normen spielt demnach eine gleich große Rolle wie implizites Wissen, das zunächst externalisiert werden muss. Fachbücher, Normen etc. sichern eine Grundlage bei der Auslegung und Berechnung von Maschinenelementen und geben Gestaltungsvorschläge. Implizites Wissen von Konstrukteuren geht dagegen über diese Grundlagen hinaus und enthält

leichte Modifikationen bzw. über die Jahre erworbene Heuristiken. Ein am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) entwickelter Strukturierungsansatz (Wissenstypen, Wissensarten, Wissensformen, Wissensorte, Wissensqualität) [12] dient zur Charakterisierung von Konstruktionswissen. Das Wissensmodell muss demnach die Eigenschaften und Eigenheiten von Konstruktionswissen berücksichtigen.

- **Methoden des Knowledge Engineering und Knowledge-based Engineering:** Zur Integration von Wissen in wissensbasierte Systeme stellt das Knowledge Engineering Methoden (KE) bereit. Diese Methoden sind die Wissenserhebung, Wissensanalyse und die Wissensrepräsentation. Diese werden auch häufig als Bausteine der Wissensakquisition bezeichnet. Das Knowledge-based Engineering (KBE) berücksichtigt zudem wissensintensive Konstruktionsaspekte, wie z. B. Produktmodelle und wissensbasierte Konstruktionsprozesse. Für die ganzheitliche Betrachtung müssen beide Methoden in die Entwicklung des Wissensmodells einfließen.
- **Modellbasierte Vorgehensweise zur Entwicklung von wissensbasierten Agentensystemen:** Wie Eingangs erläutert, werden heutzutage wissensbasierte Systeme nach dem modell-basierten Paradigma entwickelt. Für die Entwicklung von wissensbasierten Agentensystemen haben Iglesias [13] und Glaser [14] Ansätze vorgestellt, die beide auf der CommonKADS-Vorgehensweise von Schreiber [15] aufbauen. Hierbei wird der Entwicklungsprozess in mehrere Modelle aufgeteilt, die schließlich in der Umsetzungsphase implementiert werden. Unter anderem existieren hierbei das Agentenmodell (AM), welches das spätere Zielsystem beschreibt, und das Wissensmodell (WM), welches wiederum unterschiedliche Wissensstrukturen enthält.
- **Wissensverarbeitung im agentenbasierten Unterstützungssystem (Zielsystem):** Ein Agentensystem benötigt stets neben der Überwachung der Umwelt mittels Sensorik (*Umweltwissen*, d. h. wie sieht die Konstruktion aktuell aus), eine Vorstellung, wie die optimale Umwelt auszusehen hat (*Zielwissen*, d. h. wie sieht eine optimale Konstruktion in Bezug auf einen bestimmten Aspekt aus). Diese beiden Wissenstypen werden in einem weiteren Schritt einem Entscheidungsprozess zugeordnet, der einen Soll-Ist-Abgleich durchführt und schließlich geeignete Maßnahmen identifiziert (*Strategiewissen*).

Wie bereits erläutert dient, eine generische modell-basierte Vorgehensweise zur Entwicklung von agentenbasierten Unterstützungssystemen als

Grundlage für die Erarbeitung des Wissensmodells. Die modell-basierte Vorgehensweise CommonKADS nach Schreiber [15] und deren Erweiterungen auf Agentensysteme [13], [14] besteht aus insgesamt sieben Modellen, die teilweise parallel und teilweise sequentiell abgearbeitet werden müssen. Bild 3 gibt eine Übersicht über die chronologische Abfolge der Modellierung. Zunächst werden in einem Organisationsmodell (OM) die Struktur der Arbeitsumgebung, Entscheidungsträger, Wissensquellen und spätere Nutzer identifiziert. Darauf aufbauend erfolgt in der Modellierung des Aufgabenmodells (TM) die Erarbeitung der gewünschten Funktionalitäten des wissensbasierten Systems und die Unterteilung in Prozesse und Aufgaben. Diese Aufgaben werden wie in einer realen Abarbeitung eines Prozesses von verschiedenen Agenten durchgeführt. Diesen Agenten können wiederum verschiedene Rollen und Zuständigkeiten zugeordnet werden. Diese Zuweisungen werden im Agentenmodell (AM) modelliert. Agenten können in diesem Kontext entweder Softwareagenten oder normale Programme sein, die nicht nach dem agentenorientierten Paradigma entwickelt wurden. Nach der sequentiellen Abarbeitung der drei Modelle erfolgt parallel die Aufstellung des Kommunikations-, Koordinations- und Wissensmodells. Im Kommunikations- (CM) und Koordinationsmodell (CorM) wird die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Agenten definiert. Diese Kommunikation benötigen die Agenten, um in koordinativer Weise die zuvor definierten Aufgaben aus dem Aufgabenmodell abzarbeiten.

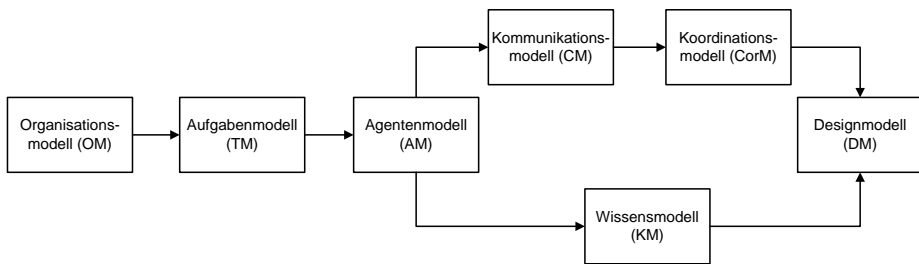


Bild 3: Generische modell-basierte Vorgehensweise zur Entwicklung von wissensbasierten Agentensystemen

Parallel zu diesen beiden letztgenannten Modellen soll das Wissensmodell (KM) erarbeitet werden. In diesem Modell soll das Konstruktionswissen bedingt durch alle weiteren Modelle und unter Einfluss der zuvor genannten Faktoren in einer Art und Weise modelliert werden, so dass das agentenbasierte Unterstützungssystem in der Lage ist, dessen zuvor zugewiesene Funktionalitäten auszuüben. Nach dem Schema der obigen Aufzählung der unterschiedlichen Einflussfaktoren, werden diese in nachfolgender Aufzählung

ausdetailliert und auf den konkreten Anwendungsfall bezogen. Anschließendes Bild 4 gibt darüber hinaus eine Übersicht über den gesamten Ansatz.

- **Konstruktionswissen (Ausgangssystem):** Bei den einzelnen Phasen des Knowledge Engineerings spielt die Strukturierung von Konstruktionswissen eine erhebliche Rolle. Die Erhebung von Konstruktionswissen (siehe Bild 4, WE) ist abhängig von den Wissensarten, also ob explizites oder implizites Wissen in den entsprechenden Wissensquellen vorliegt. Die Wissensrepräsentation (WR, informal, formal) gestaltet sich dem gegenüber je nach verwendeten Wissenstypen (WT, z. B. Zielwissen, Umweltwissen, Strategiewissen) und verwendeten Wissensformen (WF, Regeln, Formeln etc.) unterschiedlich.
- **Methoden des Knowledge Engineering und Knowledge-based Engineering:** Die Modellierung des Wissensmodells kann als Prozess mit definierten Eingangs- und Ausgangszuständen bzw. mit einer jeweiligen Prozessformulierung aufgefasst werden. Für die Modellierung bilden die bereits angesprochenen Methoden des Knowledge Engineering die Grundstruktur des Wissensmodells. Das Wissen muss ausgehend von den Wissensquellen (Fachbücher, Normen, Konstrukteure) erhoben (siehe Bild 4, WE), analysiert (WA), informal repräsentiert (WR_{inf}) und schließlich formal repräsentiert (WR_{for}) werden. Nach jedem Prozessschritt sollte ein definierter Wissenszustand als Ausgangszustand vorliegen, der für den nachfolgenden Prozessschritt als Eingangszustand verwendet werden kann. Des Weiteren muss bei der Integration von Konstruktionswissen durch das Wissensmodell das zu überprüfende Produktmodell und die dafür notwendige Schnittstelle beachtet werden. Produktmodelle beinhalten je nach Komplexitätsgrad neben der geometrischen Beschreibung des Produkts auch semantische Informationen.
- **Modellbasierte Vorgehensweise zur Entwicklung von wissensbasierten Agentensystemen:** Im ProKon-Projekt besteht das Agentensystem aus zwei unterschiedlichen Klassen von Agenten (CAD-Agenten, Management-Agenten), die unterschiedliche Funktionalitäten besitzen. Es soll jedoch mit dem Wissensmodell ein generischer Ansatz präsentiert werden. Aus diesem Grund wird nicht in unterschiedliche Agenten bzw. Agentenklassen unterschieden, sondern nur in die letztendliche Funktionalität der Agenten bzw. in Rollen. Um den Einfluss dieses Agentenmodells (AM) zu integrieren, kann davon ausgegangen werden, dass für jede Agentenklasse eine unterschiedliche Wissensstruktur verwendet werden muss (siehe Bild 4). Da das Agentenmodell bereits die

beiden vorherigen Modelle Organisationsmodell und Aufgabenmodell implizit enthält, werden diese bei dieser Betrachtung vernachlässigt. Darüber hinaus beeinflusst die zum Wissensmodell parallele Modellierung der Kommunikations- und Koordinationsfähigkeiten (CM, CorM) der Agenten das Wissensmodell stark. Aufgrund der parallelen Modellierung der beiden Domänen sind Wechselwirkungen zu erwarten, die durch eine intelligente Konzeption des Wissensmodells bzw. der Wissensstrukturen abgefangen werden können.

- **Wissensverarbeitung im agentenbasierten Unterstützungssystem (Zielsystem):** Neben der Agentenfunktionalität, die in der generischen Vorgehensweise modelliert wird, spielt die Wissensverarbeitung der Agenten im Zielsystem eine entscheidende Rolle. Im Kontext des Ziel-, Umwelt- und Strategiewissens muss im Wissensmodell bereits festgelegt werden, mit welchen Formalismen das Konstruktionswissen im Zielsystem abgelegt werden muss, so dass die Agenten ihre zugewiesene Funktion erfüllen.
- **Zielwissen:** Ist das Wissen, das dafür benötigt wird, um eine Konstruktion nach einer bestimmten Gestaltungsrichtlinie optimal auszulegen. Das Zielwissen definiert gewissermaßen einen wünschenswerten Zustand. Neben Fakten beinhaltet Zielwissen auch prozedurale Funktionen. Faktenwissen sind atomare Aussagen, die stets als wahr angesehen und als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden (z. B. „ein *Querpressverband* besteht aus *Nabe* und *Welle*“). Dem gegenüber beinhaltet das prozedurale Wissen Regeln und bedingte Handlungsanweisungen, wie z. B. „*wenn* die Welle entsprechend gestaltet wurde, sodass sie im Betrieb nicht aus der Nabe auswandert, *dann* ist der *Querpressverband* funktionsgerecht gestaltet“. Für die Repräsentation von Faktenwissen im Wissensmodell eignet sich u. a. die Ontologie, da sie mit Konzepten und definierten Relationen eine Wissensbasis bildet.
- **Umweltwissen:** Umweltwissen besteht lediglich aus Fakten, d. h. aus Daten, die die Softwareagenten mit Hilfe ihrer Umweltsensoren erfassen. Diese sind als wahr anzunehmen. Diese Fakten können wie beim Zielwissen in einer Ontologie gespeichert werden, wenn im Wissensmodell eine generische Meta-Struktur der Ontologie definiert wurde.
- **Strategiewissen:** Besteht aus prozeduralem Wissen und definiert, wie nach dem Soll-Ist-Abgleich von Ziel- und Umweltwissen eine Ent-

scheidung gefällt werden soll. Als Vorlage für das Strategiewissen dienen entweder bereits verifizierte, generische Vorgehensweisen aus der Konstruktionstechnik oder subjektive Heuristiken, die durch eine Externalisierung aus Interviews mit Konstrukteuren gewonnen werden können.

Alle vorgestellten Einflussfaktoren beeinflussen den generischen Ansatz zur Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Unterstützungssysteme. In Bild 4 ist dem entsprechend dieser Ansatz abgebildet. Das Wissensmodell (KM) aus der Vorgehensweise wird durch mehrere Wissensstrukturen konkretisiert. Konstruktionswissen ist auf der linken Seite in einem anfänglichen Zustand KW_1 abgebildet, das durch die unterschiedlichen Wissensstrukturen in einen zweiten Zustand KW_2 umgewandelt wird. Hierbei durchläuft es die klassischen Phasen des Knowledge Engineerings von der Wissenserhebung (WE_i), über die Wissensanalyse (WA_i), der informalen Wissensrepräsentation (WR_{inf_i}) und zuletzt durch die Phase der formalen Wissensrepräsentation (WR_{for_i}).

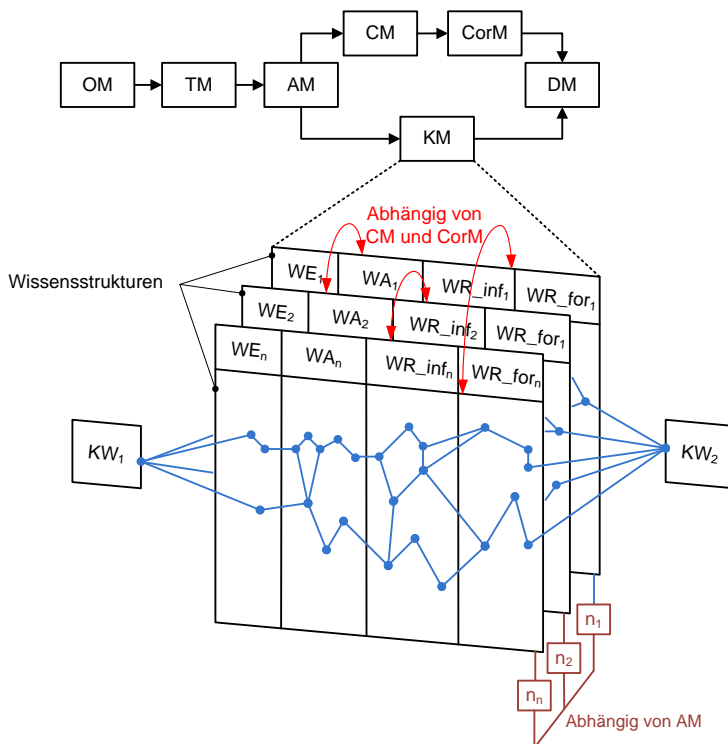


Bild 4: Wissensmodell und einzelne Wissensstrukturen im Kontext der generischen Vorgehensweise

Als letztes Modell in der modellbasierten Vorgehensweise beschreibt das Designmodell welche grundlegenden softwaretechnischen Hilfsmittel (Programmiersprache, Entwicklungsumgebung etc.) verwendet werden. Da das Designmodell dem Wissensmodell nachgelagert ist, hat dieses keinerlei Einfluss auf das Wissensmodell. Der Entwickler soll sich bei der Modellierung des Designmodell eher von der Wissensmodellierung beeinflussen lassen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein generischer Ansatz zur Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Unterstützungssysteme in der Konstruktionstechnik vorgestellt. Die Integration des Wissens geht über einen herkömmlichen Transfer hinaus und schließt einen modell-basierten Ansatz mit ein. Das vorgestellte Wissensmodell mit den unterschiedlichen Wissensstrukturen muss aus diesem Grund in eine Vorgehensweise zur methodischen Entwicklung von agentenbasierten Unterstützungssystemen in der Konstruktion eingebettet werden. In diesem Beitrag wurden für den Ansatz wichtige Einflussfaktoren identifiziert und auf Basis dessen ein Gesamtkonzept (siehe Bild 4) vorgestellt. Zu klären ist, ob die eigentlich formale Wissensrepräsentationsphase (WR_{for}) dem Wissensmodell oder der dem Designmodell nachgelagerten Implementierungsphase zugeordnet werden muss. Im weiteren Verlauf der Forschungsaktivität wird der beschriebene Ansatz gemäß den identifizierten Einflussfaktoren ausdetailliert. Hierfür müssen Methoden und Werkzeuge gefunden und eventuell modifiziert werden.

Literatur

- [1] Mahdjoub, M.; Monticolo, D.; Gomes, S.; Sagot, J. C.: "A collaborative Design for Usability approach supported by Virtual Reality and a Multi-Agent System embedded in a PLM environment". In: Computer-Aided Design, Jahrgang 42, Nr. 7, 2010, S. 402-413
- [2] Lindemann, U.: "Komplexität in Konstruktion und Entwicklung". In: Konstruktion: Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe, Nr. 5, 2009, Editorial
- [3] Kratzer, M.; Rauscher, M.; Binz, H.; Göhner, P.: "Concept of an agent-based design support system". In: Gero, J. (Hrsg.): Fourth Inter-

national Conference on Design Computing and Cognition (DCC'10), Stuttgart, 2010

- [4] Vajna, S.; Weber, C.; Bley, H.; Zeman, K.: "CAx für Ingenieure", Springer Verlag, Berlin, 2008
- [5] Katzenbach, A.: "Informationstechnologie und Wissensverarbeitung in der Produktentwicklung", Skriptum zur Vorlesung, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, WS 2009/2010
- [6] DIN 7190: Pressverbände - Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln. Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2001
- [7] Bauer, S.: Entwicklung eines Werkzeugs zur Unterstützung multi-kriterieller Entscheidungen im Kontext des Design for X. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, 2009
- [8] Welp, E. G.; Bludau, C.: "Wissensbasierte Modellierung mechatronischer Produktkonzepte mit ModCoDe und WISENT". In: Scharff, P. (Hrsg.): 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der Technischen Universität Illmenau, 23.–26. September 2002, 2002, S. 1–10
- [9] Wagner, T.; Göhner, P.: Aufbau von Agentensystemen zur Unterstützung komponentenbasierter Entwicklungsprozesse. In: it - Information Technology 47 (2005), Nr. 1, S. 5–12
- [10] Görz, G.: "Handbuch der künstlichen Intelligenz". Oldenbourg Verlag, München, 2003
- [11] Angele, J.; Fensel, D.; Studer, R.: "Vorgehensmodelle für die Entwicklung wissensbasierter Systeme". In: Kneuper, R.; Müller-Luschnat, G.; Oberweis, A. (Hrsg.): Vorgehensmodelle für die betriebliche Anwendung entwicklung, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart/Leipzig, 1998, S. 168-188
- [12] Roth, D.: "Generic structure of knowledge within the product development process". In: Andreasen, M.; Birkhofer, H.; Culley, S. J.; Linde-

mann, U.; Marjanovic, D. (Hrsg.): 8th DESIGN Conference, Dubrovnik, Vol. 3, 2010, S. 1681-1690

- [13] Iglesias, C.; Garijo, M.; Gonzalez, J.; Velasco, J.: "Analysis and Design of Multiagent Systems using MAS-CommonKADS". In: Intelligent Agents IV Agent Theories, Architectures, and Languages, 1998, S. 313-327
- [14] Glaser, N.: "The CoMoMAS methodology and environment for multi-agent system development" In: Multi-Agent Systems Methodologies and Applications, 1997, S.1-16
- [15] Schreiber, G.; Akkermans, H.: "Knowledge engineering and management: The CommonKADS methodology", MIT Press, Cambridge, 2002