

## PROBLEMLÖSUNGSEBENEN IM KONSTRUKTIONSPROZESS

*Prof. Dr.-Ing. habil. J. Klose*  
*Dipl.-Ing. R. Musoro*

### Kurzfassung

Die Weiterentwicklung der rechnerunterstützten Konstruktionsarbeit ist heute u. a. darauf gerichtet, den Konstrukteur durch gezielte Informationsbereitstellung noch besser zu unterstützen. Da das über die Gesamtheit des Konstruktionsprozesses sowohl seitens der Bereitstellung und Generierung von Informationen als auch hinsichtlich der Beherrschbarkeit der Informationsmenge nicht möglich ist, kommt es darauf an, effiziente Bereiche zu finden, in denen die Informationsbereitstellung zweckmäßig erfolgen sollte.

Analysiert man die Tätigkeit des Konstrukteurs, so ist festzustellen, daß sich im gesamten Konstruktionsprozeß bestimmte Handlungsfolgen ständig wiederholen. Es werden diese Problemlösungsebenen aufgezeigt und für deren Ausführung und wissensbasierte Unterstützung konzeptuelle Vorstellungen entwickelt.

### 1 Einleitung

Die Möglichkeiten der rechnerunterstützten Konstruktion haben sich durch Qualifizierung der CAD-Systeme wesentlich erweitert. Der Konstrukteur wird bei seiner Arbeit durch die Einführung der Parametrik und die featuresorientierten Systeme immer besser unterstützt. Die Entwicklung geht immer mehr zu Entwurfssystemen. Diese sind dadurch gekennzeichnet, daß als Fachkomponenten neben dem Generieren von Geometrie auch das Berechnen und die Informationsbereitstellung eine wesentliche Rolle spielen. Ein Merkmal der Entwurfssysteme ist somit die Wissensverarbeitung. Auf der Basis neuartiger Datenverarbeitungsmethoden und Programmiertechniken, die ihren Ursprung in der Symbol- und Wissensverarbeitung haben, ist das Konzipieren und Realisieren einer neuen Generation von Konstruktions- und Planungssystemen eine aktuelle Zielstellung. Die Entwicklung und Anwendung wissensbasierter Systeme in Konstruktion und Planung ist ein logischer Schritt in Hinblick auf die Neugestaltung der rechnerunterstützten Arbeitsweise [1].

Wissensbasierte Methoden werden in der Sprachverarbeitung u. a. Gebieten gegenwärtig erfolgreich eingesetzt. In der Maschinenbaukonstruktion wurde zwar schon relativ viel veröffentlicht, aber es gibt wenig konkrete Beispiele und noch weniger in der Konstruktionspraxis erfolgreich arbeitende Unterstützungssysteme. Ein Grund dafür ist die Vielfalt der Einzelprobleme, die im Ablauf des Konstruktionsprozesses vom Konstrukteur gelöst werden müssen. Sowohl der Objektbereich als auch der Handlungsbereich beim Konstruieren sind so vielfältig, daß Ausbildung und Erfahrung dazugehören, um die Probleme ganzheitlich zu be- und verarbeiten. Das wiederum stellt beim Konzipieren von wissensbasierten Systemen das Haupthindernis dar. Es ist zu überlegen, wie der Konstrukteur Möglichkeiten sowohl durch die Modellierung des Konstruktionsprozesses als auch durch die Wissensbereitstellung effizient unterstützt werden kann. Ein solches Unterstützungssystem ist so aufzubauen, daß es mit Fachinhalten und Wissen aus der Literatur, mit Normen, Katalogen, den Ergebnissen von Expertenkonsultationen, Beratungen von Fachexperten usw. angefüllt ist und trotzdem eine effiziente Verarbeitung ermöglicht. Werkzeuge zur Archivierung des

Wissens, zur Analyse und Optimierung der Lösungen, Lösungswege und Strategien zur Konsistenzüberprüfung und Konfliktbewältigung der Regeln sind in das Konzept mit einzu-beziehen.

Damit ein Unterstützungssystem effizient angewandt werden kann, muß es auch die Konstruktionsarbeit in geeigneter Weise fördern. Dazu wird im Ablauf des Konstruktionsprozesses nach immer wieder auftretenden, typischen Handlungsfolgen mit jeweils spezifischen Werkzeugen gesucht. Bei der wissensbasierten Lösungsfindung ergeben sich derartige Komplexe, die im folgenden als Problemlösungsebenen bezeichnet werden. Es sind Handlungsfolgen, die im Verlauf des Konstruktionsprozesses immer wieder in gleicher oder ähnlicher Weise vom Konstrukteur vollzogen werden.

## 2 Anforderungen an ein wissensbasiertes Unterstützungssystem

Für die konstruktive Entwicklung von Produkten sind zwei Komponenten typisch. Das ist einerseits die prozedurale Abfolge von Arbeitsschritten im Konstruktionsprozeß, wie sie u. a. im Prozeßmodell nach VDI 2221 [2] abgebildet ist. Sie ist gekennzeichnet durch die Tätigkeiten, welche der Konstrukteur ausführt. Die andere Seite orientiert sich an der Entwicklung und Herausbildung des zu konstruierenden Objektes. Sie ist gekennzeichnet durch Modellierungsebenen, die das Konstruktionsobjekt im Laufe seiner Entwicklung erreicht [3].

Beim Untersetzen der Arbeitsabschnitte im Ablauf des konstruktiven Entwicklungsprozesses ist festzustellen, daß sich zur Problemlösung ganz bestimmte Ebenen „abzeichnen“, auf denen sich die Tätigkeit des Konstrukteurs vollzieht und die in verschiedenen Abschnitten des konstruktiven Entwickelns immer wieder auftreten. Diese Problemlösungsebenen sind gekennzeichnet durch typische Tätigkeiten mit spezifischem Abstraktionsgrad, spezifischem Informationsbedarf und spezifischen Werkzeugen. Die Problemlösungsebenen bilden auch gleichzeitig verschiedene Einstiegsmöglichkeiten in den Problemlösungsprozeß.

Die allgemeinen Anforderungen an das wissensbasierte Konstruieren ergeben sich aus den gesteigerten Anforderungen gegenüber der konventionellen Arbeitsweise. Ein wissensbasiertes System sollte in der Lage sein, in einem dynamischen Zustand zu bleiben und sich ständigen Veränderungen anpassen zu können. Es muß dem Nutzer effiziente Lösungsmethoden anbieten. Das dabei zu verarbeitende Wissen ist geordnet und definiert aufzubereiten. Es darf sich nicht auf einen fest begrenzten Bereich beschränken, sondern muß für möglichst umfassende Anwendung geeignet sein. Wichtig ist außerdem, daß die Wissensbereiche nicht nur triviale Algorithmen zum Inhalt haben, die der Konstrukteur meistens aus dem Gedächtnis reproduzieren kann, sondern auch zu komplexeren Zusammenhängen informieren.

Wesentlich ist weiterhin, daß das Unterstützungssystem eine methodische Vorgehensweise bei der Problemlösung ermöglicht. Das bedeutet, daß von der Klärung der Aufgabenstellung bis zum Entwurf das Problem mit wissensbasierten Methoden bearbeitet werden kann. Die Möglichkeit der Steuerung der weiteren Bearbeitung der Aufgaben durch den Konstrukteur muß in Abhängigkeit von bereits erreichten Zwischenergebnissen möglich sein. Die Unterstützung muß sich sowohl auf das abstrakte als auch auf das konkrete Arbeiten beziehen. Da die detaillierte Gestaltung von Bauelementen durch die CAD-Systeme bereits gut unterstützt wird, muß sich das Entwurfssystem insbesondere auf die Verknüpfung von bekannten Lösungsbausteinen bzw. Lösungselementen konzentrieren.

Aus der Sicht der Wissensverarbeitung sind die drei grundsätzlichen Problemlösungstypen die Diagnostik, die Planung und Konfiguration sowie die Simulation zu ermöglichen. Im Konstruktionsprozeß dient die Diagnostik dem Erkennen bestimmter Muster aus einer

Menge von Möglichkeiten, die Planung und Konfiguration der Synthese einer Lösung aus kleineren Bausteinen und die Simulation dem Untersuchen von Systemzuständen. Um entscheiden zu können, welche der Problemlösungsmethoden zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses geeignet sind, bedarf es der Bestimmung der Problemart, welcher die Konstruktion zugeordnet werden kann.

### 3 Problemlösungsebenen

Die Systemstruktur für das wissensbasierte Konstruieren mit Problemlösungsebenen ist im Bild 1 dargestellt. Über die Benutzungsoberfläche (Dialogschnittstelle) können die Problemlösung, die Erklärungskomponente und die Wissenserwerbskomponente bedient werden. Alle drei korrespondieren mit der Wissensbasis. Das Bild zeigt die Untergliederung der Komponenten und die Verknüpfung der Problemlösungsebenen mit der Inferenzmaschine und den Lösungsfindungsmethoden. Die Problemlösungsebenen sind das zentrierende Element. Die Kopplung zu möglichen externen Systemen ist beispielhaft angegeben. Auf Grundlage einer Analyse des Konstruktionsprozesses werden von Musoro [4] die im Bild 2 aufgeführten Problemlösungsebenen vorgeschlagen. Das Bild 2 zeigt die Problemlösungsebenen in ihrer Verbindung mit möglichen Wissensbasen.

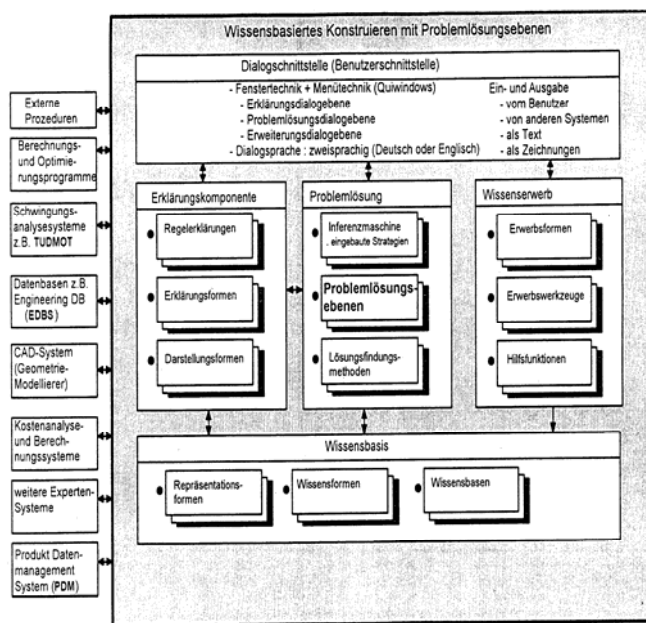


Bild 1. Systemstruktur

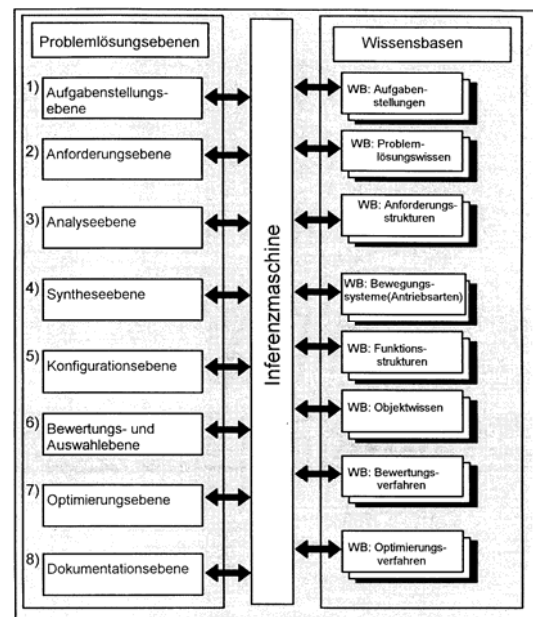


Bild 2. Verbindung: Problemlösungsebenen und Wissensbasis

Die Entwicklung der **Aufgabenstellung** bildet den Einstieg in die Arbeitsabschnitte für die Produktentwicklung und ist dieser gewissermaßen vorgelagert. Die Struktur der Aufgabenstellungsebene setzt sich aus den Komponenten Vorgehensweisen sowie Werkzeuge und Funktionen zusammen. Die Vorgehensweise beinhaltet die Arbeitsschritte Aufgabe formulieren, charakterisieren, klären und definieren, klassifizieren, präzisieren und strukturieren. Als Werkzeuge dienen der Aufgabenstellungseditor, Benutzungsfunktionen, Archivierungswerkzeuge, Suchmechanismen, Hilfsfunktionen und Modellierungsfunktionen. In der Aufgabenstellungsebene kann z. B. durch Konsultation der Wissensbasis bisheriger Aufgabenstellungen eine Wiederverwendung und Weiterverarbeitung erfolgen. Dazu dient die Benutzungsfunktion „Wissensbasis Konsultieren“. Der Arbeitsschritt Aufgabenstellung präzisieren deutet an, daß die Problemlösungsebenen nicht gegeneinander abgegrenzt, sondern vielfach ineinander verschachtelt zur Anwendung kommen.

Der wesentliche Inhalt der **Anforderungsebene** ist das Präzisieren der Aufgabenstellung. Es werden zunächst die Anforderungen bestimmt, wobei eine Suche in der Wissensbasis vorhandener Anforderungen für analoge Aufgabenstellungen erfolgt. Gefundene Lösungen werden analysiert und entweder modifiziert übernommen oder neu bestimmt. Danach folgt die Präzisierung und Strukturierung der Anforderungen, eine Zusammenstellung der Anforderungsliste und das Archivieren.

Die **Analyseebene** besteht aus den Komponenten, Analyseverfahren und Ziele, Analyse-kriterien sowie Analyseschichten und Werkzeuge. Zu den Verfahren gehören Diagnose, Korrektur, Kontrolle, FMEA sowie Suchverfahren. Die Analyse-kriterien sind beispielsweise Raum-, Kosten-, Montage- und Funktionsorientierung. Die Analyseschichten orientieren sich an dem Ablauf des Konstruktionsprozesses und umfassen Anforderungs- oder Funktionsanalyse, Prinzipanalyse, Gestaltanalyse, Analyse der Lösungswege und Modellierungsfunktionen.

Die **Syntheseebene** verfügt über die Komponenten Vorgehensweisen, Syntheseschritte sowie Werkzeuge und Funktionen. Hier sei die Vorgehensweise als Beispiel beschrieben. Die Syntheseebene korrespondiert sehr eng mit der Analyseebene, da ausgehend von Anforderungen zunächst Lösungen gesucht und anschließend analysiert werden. Abhängig von der Entscheidung, ob eine Übernahme, Neuentwicklung oder Weiterentwicklung erfolgen soll, wird die anstehende Lösung variiert. In der Syntheseebene tritt das Zerlegen komplexer Probleme in Teilprobleme, das Entwickeln von Lösungen für Teilprobleme, das Suchen nach geeigneten Lösungsmustern oder -methoden sowie das Kombinieren der Teillösungen zur Gesamtlösung ständig als Zyklus auf. Bezüglich der Werkzeuge und Funktionen wird in Bibliotheken nach Funktionsprinzipen, Baustrukturen und Benutzungsfunktionen gesucht.

Die **Konfigurationsebene** ist sehr eng mit der Syntheseebene verbunden und insbesondere Bestandteil der Aufgabe „Teillösungen kombinieren“. So werden beispielsweise bereits vorhandene Baugruppen oder Bauelemente gemäß den Anforderungen zum Produkt zusammengestellt. Elementaraktionen wie Auswählen, Hinzufügen, Aussondern, Ersetzen, Modifizieren und Dimensionieren werden im Rahmen eines Konfigurationseditors als Werkzeuge genutzt.

Auch die **Problemlösungsebene** „Auswahl und Bewertung“ ist sehr eng mit der Syntheseebene verbunden, weil sie dazu dient, gebildete Varianten zu bewerten und auszuwählen. Das erfolgt in enger Korrespondenz mit den bestehenden Anforderungen.

Die **Optimierungsebene** besteht aus den Komponenten Optimierungsverfahren, Werkzeuge und Pläne, Optimierungskriterien sowie Optimierungsschichten. Mit Hilfe dieser Komponenten können verschiedene Optimierungsschichten realisiert werden. So besteht z. B. nicht nur die Möglichkeit der Optimierung von Lösungsvarianten, sondern auch die der eigentlichen Problemlösung in Form von Vorgehensplänen, Regeldefinitionen, Wissensspeicherung, Wissenserwerb usw.

Bei der **Dokumentationsebene** handelt es sich um eine Ebene mit Protokollcharakter, d. h. alle wichtigen Annahmen, die zur Lösung führten, sowie Schlußfolgerungen, Konstruktionseigenschaften und -merkmale werden dokumentiert. Damit wird gesichert, daß existierendes Wissen im Unternehmen nicht verloren geht, sondern bei neuen Problemstellungen einbezogen werden kann.

## 4 Modellierung der Problemlösungsebenen

Das konzipierte System ist nicht ausschließlich regelbasiert, sondern besitzt hybriden Charakter. Das bedeutet, daß zu jeder Komponente des Systems, einschließlich der in ihr enthaltenen Elemente, die passende Repräsentationsform und -art angewendet werden kann. Die Verbindung, Durchführung, Steuerung und Darstellung der Problemlösungsebenen erfolgt aber auf Regelbasis. Es handelt sich darum, eine regelbasierte Wissensbereitstellung im Zusammenhang mit der übergeordneten ablauforientierten Steuerung einzelner Arbeitsschritte des Konstruktionsprozesses in Form der Problemlösungsebenen zu modellieren. Die Problemlösungsebenen sind über Regeln derart gekoppelt, daß sowohl eine automatische schrittweise Bearbeitung von Problemen als auch eine Kontrolle durch den Konstrukteur ermöglicht werden kann. Die Verbindung der Problemlösungsebenen wird als Regelnetz realisiert. Eine erste Regeldeklaration (ruleset) initialisiert den ganzen Problemlösungsprozeß als Regel, bestehend aus den Problemlösungsebenen als Teilregeln. Diese selbst wiederum sind Regelmengen, die aus Teiltätigkeiten (Arbeitsschritten) bestehen. Sie bestehen aus oder enthalten Regeln, Aktionen, Prozeduren und Kontrollmechanismen.

Wesentlich für das Regelsystem sind die Konsistenzüberprüfung und die Bewältigung der Regelkonflikte. Die Notwendigkeit der Konsistenzüberprüfung und Konfliktbewältigung der Regeln entsteht u. a. daraus, daß es Auswahl-situationen gibt, bei denen die Entscheidung schwierig ist, bestimmte Regeln aus einer Vielzahl anwendbarer zu bevorzugen. Außerdem ist es möglich, daß bei einer Konstruktionssitzung die Inferenzmaschine auf Regeln stößt, die widersprüchlich sind, was die Lösungsqualität wesentlich beeinflusst. Durch eine entsprechende Prozedur erfolgt eine Konflikthanmeldung. Bei der Konfliktbewältigung gibt es zwei Möglichkeiten, entweder das System versucht automatisch durch den Zugriff auf die Wissensbasis Bewältigungsmethoden für die vorhandene Situation auszuwählen und anzuwenden oder die Auswahl der Methode wird durch den Konstrukteur durchgeführt.

## 5 Aufbau der Wissensbasis

Die Wissensbasis muß den verschiedenen Repräsentationsformen des Wissens, wie Frames, Fakten und Regeln, Constraints, Prozeduren, Objekte und Klassen, angepaßt sein. Sie muß auch den Wissensformen Fachwissen, Metawissen und sonstiges Wissen gerecht werden und setzt sich zweckmäßigerweise aus den Komponenten dynamische Wissensbasen, statische Wissensbasen und Fallwissensbasen zusammen. Die dynamischen Wissensbasen enthalten das Wissen, welches sich im Laufe der Produktentwicklung ändert. Das geschieht durch das Ableiten neuer Schlußfolgerungen oder das automatische Herausnehmen nicht mehr benötigter oder nicht mehr gültiger Informationen und Regeln. In den statischen Wissensbasen werden Informationen und Zusammenhänge gespeichert, deren Gültigkeit über längere Zeiträume unverändert bleibt.

## 6 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag ist eine Version konzeptionell aufgezeigt worden, wie der Konstruktionsprozeß effizient wissensbasiert unterstützt werden kann. Dazu bieten sich die Problemlösungsebenen an. Das sind prozedurale Komplexe, die vom Konstrukteur während des Konstruktionsprozesses in gleicher oder modifizierter Weise immer wieder an verschiedensten Stellen des Ablaufes angewandt werden. Die im Beitrag aufgezeigten Problemlösungsebenen Aufgabenstellung, Anforderung, Analyse, Synthese, Konfiguration,

Bewertung und Auswahl, Optimierung und Dokumentation könnten nach Meinung der Verfasser derartige prozedurale Abläufe darstellen und sind als Diskussionsgrundlage gedacht. Über die Inferenzmaschine sind die Problemlösungsebenen mit der Wissensbasis verbunden, welche in Analogie zu den Problemlösungsebenen entsprechende Wissensbereiche umfassen. Dabei bilden sich bestimmte methodische, objektorientierte und Verfahrenskomplexe ab. Zum Aufbau wissensbasierter Entwurfssysteme für die Konstruktion könnte die Arbeit mit Problemlösungsebenen eine effiziente Möglichkeit darstellen.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Klose, J.: Konstruktionsinformatik im Maschinenbau. Berlin: Verlag Technik, 1990.
- [2] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1986.
- [3] Grabowski, H.; Geiger, K. (Hrsg.): Neue Wege zur Produktentwicklung. Stuttgart u. a.: Raabe, 1997
- [4] Musoro, R.: Wissensbasiertes Konstruieren mit Problemlösungsebenen. Dissertation, TU Dresden, 1998 (noch unveröffentlicht).

Prof. Dr.-Ing. habil. Johannes Klose  
Institut für Maschinenelemente und  
Maschinenkonstruktion  
Konstruktionstechnik/ CAD  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden, Deutschland  
Tel: 0351 / 4633291  
Fax: 0351 / 4637050  
EMail: klose@mkc.mw.tu-dresden.de  
Internet: <http://wwwmkc.mw.tu-dresden.de>

Dipl.-Ing. Robert Musoro  
Altenzeller Straße 1/014  
01069 Dresden, Deutschland  
Tel: 0351 / 4766892