

**Process Configuration**  
—  
**Mastering Knowledge-Intensive  
Planning Tasks**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
Karsten Schierholt  
Master of Science in Engineering Management  
University of Missouri – Rolla, USA  
born July, 6<sup>th</sup> 1972  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Paul Schönsleben, examiner  
Prof. Dr. Josef Reissner, co-examiner

2000

# Abstract

The increasing necessity to react to the individualization of customer needs has forced manufacturing companies to continually diversify their products. The number of variants of a specific product is on a steady rise. Product configuration applications are employed to manage this product variety by defining one generic product model for a family of products and deriving a product variant from that model only when needed.

With each new product variant, a new manufacturing process plan has to be developed as well. Knowledge-based systems are often used to perform this process planning task. The difficulty of this task varies greatly. Process plans for product variants within one family often have the same structure and differ only in process parameters. In other cases, though, the structure of manufacturing process plans depends additionally on product parameters, and thus it also varies. The definition and maintenance of process planning knowledge in knowledge-based process planning systems has proved to be a very time consuming and costly task.

This thesis develops a framework model for process configuration that uses product configuration principles to solve the process planning task. The model builds upon the structural similarity of process plans within one product family. Process configuration knowledge is modeled using plan skeletons. Plan skeletons are defined using a visual language that describes a family of process plans as a graph. Knowledge about processes is placed in decision tables at respective nodes in the graph. The representation of process configuration knowledge using plan skeletons allows different (not necessarily disjunct) categories of knowledge to be modeled in various ways. The visualization, or graphic representation, of process plan structures, which itself implicitly describes general sequencing knowledge, and the distinction among different knowledge categories play a key role in simplifying knowledge description and maintenance.

Plan skeletons, which form the first pillar of the framework, are used only for modeling process planning knowledge. A second pillar of the process configuration framework model is the process configuration constraint model. With this model, plan skeletons are formulated as a generative constraint satisfaction problem, and the problem is solved using order specific data. The solution of the constraint satisfaction problem is the generated process plan variant.

A new technical approach to solving the process planning problem alone does not guarantee that there will be benefits in practical application. The thesis presents an implementation concept that ensures the organizational integration of the process planning task. It allows the user to interact with the process configurator during or after the execution of the process configuration task. Process plan variants can be manipulated by using a graph-based interface similar to the visual language of the plan skeletons.

The process configuration framework was implemented and evaluated in a case study in the aluminum sheet and coil manufacturing industry. Its use significantly reduced the time required for process planning. More importantly, the use of plan skeletons to model process planning knowledge allowed the planners to perform a large part of the maintenance task themselves without the aid of the knowledge engineers. This form of knowledge modeling has been well received, but long-term effects on the knowledge maintenance effort can not as yet be assessed.

# Kurzfassung

Die andauernde Notwendigkeit, auf Kundenbedürfnisse vermehrt einzugehen, hat produzierende Unternehmen veranlasst, ihre Produkte kontinuierlich zu diversifizieren. Die Anzahl der Varianten eines Produktes steigt jedoch ständig. Produktkonfiguratoren werden benutzt, um diese Variantenvielfalt im Griff zu behalten indem ein generisches Produktmodell für eine ganze Produktfamilie definiert wird, aus dem Produktvarianten nur nach Bedarf abgeleitet werden.

Mit jeder neuen Produktvariante muss auch ein neuer Arbeitsplan erstellt werden. Häufig werden wissensbasierte Systeme für diese Arbeitsplanung benutzt. Die Schwierigkeit dieser Aufgabe ist sehr unterschiedlich. Häufig haben Arbeitspläne für Varianten einer Produktfamilie dieselbe Struktur und unterscheiden sich nur in den Parametern der Arbeitsgänge. In anderen Fällen hängt die Struktur der Arbeitspläne zusätzlich von einigen Produktparametern ab und ist deshalb auch veränderlich. Die Formulierung und Wartung des notwendigen Planungswissens in wissensbasierten Arbeitsplanungssystemen ist als eine sehr zeitaufwendige und damit kostenbehaftete Aufgabe bekannt.

Diese Dissertation stellt die Prozesskonfiguration als ein Modell vor, welches die Arbeitsplanung mit den Methoden der Produktkonfiguration bewältigt. Das Modell baut auf der strukturellen Ähnlichkeit von Arbeitsplänen innerhalb einer Produktfamilie auf. Das für die Prozesskonfiguration notwendige Wissen wird in Plangerüsten modelliert. Plangerüste werden durch eine graphische Sprache definiert, welche Familien von Arbeitsplänen als Graphen darstellt und Wissen über einzelne Arbeitsgänge in Form von Entscheidungstabellen an den entsprechenden Knoten hinterlegt. Plangerüste erlauben, verschiedene (nicht unbedingt disjunkte) Kategorien von Prozesskonfigurationswissen unterschiedlich zu modellieren. Die graphische Darstellung von Arbeitsplanstrukturen, welche implizit schon Reihenfolgewissen beschreibt, sowie die Unterscheidung verschiedener Kategorien von Wissen sind ein Schlüssel zur vereinfachten Modellierung und Wartung des Wissens.

Plangerüste werden nur für die Modellierung von Arbeitsplanungswissen benutzt. Eine weitere Säule des Prozesskonfigurationsmodells ist das Constraintmodell der Prozesskonfiguration, welches Plangerüste in einem Generativen Constraint Satisfaction Problem abbildet und es mit auftragsspezifischen Daten löst. Die Lösung des Constraint Satisfaction Problems ist der gesuchte Arbeitsplan.

Ein neuer technischer Lösungsansatz des Arbeitsplanungsproblems alleine reicht nicht aus, um in praktischen Anwendungen Nutzen zu sichern. In dieser Dissertation wird ein Umsetzungskonzept vorgestellt, welches die organisatorische Integration der Arbeitsplanungsaufgabe garantieren soll. Dies wird erreicht, indem dem Benutzer die Möglichkeit gegeben wird, während oder im Anschluss an den Planungsvorgang den Prozesskonfigurator zu beeinflussen. Arbeitsplanvarianten können mittels einer graphischen Beschreibungssprache ähnlich derjenigen Sprache für Plangerüste verändert werden.

Das Prozesskonfigurationsmodell wurde in der Aluminiumwalzindustrie umgesetzt und bewertet. Die für die Arbeitsplanung benötigte Zeit wurde signifikant reduziert. Wichtiger ist jedoch, dass die Planer nun einen grösseren Anteil an der Wartung des Arbeitsplanungswissens ohne die Unterstützung von Wissensingenieuren übernehmen können als vorher. Während die Form der Wissensmodellierung gut aufgenommen wird, können die langfristigen Effekte bezüglich der Wissenswartung noch nicht gemessen werden.