

Kimms, Alf

**Working Paper — Digitized Version**

## Fallbasiertes Schließen auf Methoden zur Produktionsplanung

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 433

**Provided in Cooperation with:**

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

*Suggested Citation:* Kimms, Alf (1997) : Fallbasiertes Schließen auf Methoden zur Produktionsplanung, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 433, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<http://hdl.handle.net/10419/149054>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

Manuskripte  
aus den  
Instituten für Betriebswirtschaftslehre  
der Universität Kiel

Nr. 433

**Fallbasiertes Schließen auf Methoden  
zur Produktionsplanung**

A. Kimms



Manuskripte  
aus den  
Instituten für Betriebswirtschaftslehre  
der Universität Kiel

Nr. 433

**Fallbasiertes Schließen auf Methoden  
zur Produktionsplanung**

A. Kimms

Februar 1997

Dr. Alf Kimms

Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Institut für Betriebswirtschaftslehre,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel

email: [Kimms@bwl.uni-kiel.de](mailto:Kimms@bwl.uni-kiel.de)

URL: <http://www.wiso.uni-kiel.de/bwlinstitute/Prod>  
<ftp://ftp.wiso.uni-kiel.de/pub/operations-research>

# 1 Einleitung

In diesem Beitrag behandeln wir die Frage, wie für ein bestimmtes produktionswirtschaftliches Planungsproblem ein Lösungsverfahren ausgewählt werden sollte, wenn mehrere alternative Verfahren zur Auswahl stehen. Optimale Lösungen können häufig nicht berechnet werden, weil viele Planungsprobleme sich als kombinatorische Optimierungsaufgaben formulieren lassen, von denen die meisten zur Klasse der NP-schweren Probleme zählen (vgl. [GaJo79] zur Begrifflichkeit der Komplexitätstheorie). Als Beispiele seien hier die Probleme der Projektplanung [BILeRi83], der Maschinenbelegungsplanung [BIDoPe96], der Fließbandabstimmung [DoScVo93] und der Losgrößenplanung [FILeRi80] genannt. Oft ist sogar lediglich das Finden einer zulässigen Lösung ein NP-vollständiges Problem, so daß es nicht überrascht, daß die Entwicklung von Heuristiken im Mittelpunkt des Forschungsinteresses steht.

Nun liegt es im Wesen von Heuristiken, daß verschiedene Verfahren im allgemeinen unterschiedliche Ergebnisse liefern. In der produktionswirtschaftlichen Literatur sind für ein und dasselbe Problem typischerweise mehrere Lösungsverfahren publiziert worden. Wesentliche Performancemaße, mit deren Hilfe man die Eignung von Heuristiken vergleichen kann sind z.B.:

- Die Abweichung der Näherungslösung (bzw. deren Zielfunktionswert) von der optimalen Lösung oder einer (unteren bzw. oberen) Schranke.
- Der Laufzeitbedarf zur Ermittlung einer Näherungslösung.
- Der Anzahl der Beispiele in einer Testumgebung, für die eine zulässige Lösung gefunden wird.

Im folgenden soll die Möglichkeit der Anwendung des sogenannten fallbasierten Schließens (engl.: case-based reasoning, kurz: CBR) auf die Auswahl von Methoden zur Lösung betriebswirtschaftlicher Planungsprobleme aufgezeigt werden. In Abschnitt 2 wird zunächst der Bedarf für eine „intelligente“ Auswahl von Planungsmethoden motiviert und das grundsätzliche Vorgehen mittels CBR dargelegt. Abschnitt 3 belegt für das konkrete produktionswirtschaftliche Problem der Losgrößenplanung die Relevanz einer „intelligenten“, d.h. fallabhängigen Methodenselektion. In Abschnitt 4 wird schließlich ein Fazit gezogen und auf einige Aspekte zur Realisierung Bezug genommen.

## 2 Motivation und Konzept zur Methodenauswahl

In herkömmlichen entscheidungsunterstützenden Systemen ist in der Regel ein einziges Verfahren zur Lösung bestimmter Planungsprobleme integriert. So ist beispielsweise in traditionellen Systemen zur Produktionsplanung- und -steuerung (PPS) jeweils ein Verfahren zur Realisierung des sogenannten Manufacturing Resource Planning (MRP II) Konzepts implementiert [DFGST94, Kim97a]. Dieses Verfahren sollte, würde man es einem systematischen Rechentest unterziehen, bessere Ergebnisse als andere Verfahren, die man stattdessen einbinden könnte, liefern.

Nehmen wir an, daß der Hersteller einer solchen Software tatsächlich mehrere alternative Verfahren getestet hat, und daß er dasjenige mit dem besten durchschnittlichen Ergebnis gewählt hat. Der Nachteil dieser (üblichen) Vorgehensweise ist, daß ein Verfahren, obwohl es die besten durchschnittlichen Ergebnisse aufweist, für ausgewählte Beispiele in aller Regel von alternativen Methoden dominiert wird. Im Extremfall, wenn drei oder mehr Verfahren zur Auswahl stehen, könnte es sogar so sein, daß die Methode mit dem besten Durchschnittsergebnis für kein einziges Beispiel das beste Ergebnis liefert, sondern stets von mindestens einem anderen Verfahren geschlagen wird.

Aus der Sicht des Softwareherstellers stellt die Auswahl einer Methode ein Entscheidungsproblem dar, bei dem die Anzahl der Alternativen, d.h. die Anzahl der zur Auswahl stehenden Verfahren, endlich ist. Die Anzahl der möglichen Umweltzustände, unter denen dieses Verfahren später eingesetzt wird, d.h. die Variantenvielfalt der Probleminstanzen, charakterisiert durch bestimmte Parameterausprägungen (im allgemeinen: einen Vektor von Parameterausprägungen), ist in aller Regel jedoch unendlich. Nehmen wir an, daß sich die Menge der Parameterausprägungen in eine endliche Menge von Parameterklassen so unterteilen läßt, daß es pro Klasse eine Methode gibt, die den anderen Verfahren vorzuziehen ist.

Man beachte, daß der Benutzer der Software und damit benutzerspezifische Planungsdaten zum Zeitpunkt der Programmentwicklung häufig nicht bekannt sind. Und selbst wenn der spätere Benutzer und sein aktuelles Planungsproblem bekannt sein sollten, so werden sich die Parameterausprägungen seines Planungsproblems im Laufe der Nutzungsdauer der Software fortwährend ändern. Die Parameterklasse auf der das implementierte Verfahren

operiert, ist also a priori nicht bekannt. Die Auswahl einer Methode stellt sich daher als Entscheidungsproblem unter Unsicherheit dar, für das die Entscheidungstheorie keine eindeutige Antwort liefert [EiWe93].

Als Ausweg aus dem Dilemma der Methodenauswahl schlagen wir vor, den herkömmlichen Ansatz, genau ein einziges Verfahren zur Lösung eines bestimmten Planungsproblems in ein Softwarepaket einzubetten, aufzugeben. Stattdessen sollte eine Methoden-Datenbank vorgehalten werden, aus der zur Laufzeit und in Abhängigkeit der konkreten Parameterkonstellation der zu lösenden Planungsaufgabe ein geeignetes Verfahren ausgewählt wird. Ein einzelner Datensatz in einer solchen Datenbank besteht im wesentlichen aus zwei Datenfeldern. Das Schlüsselfeld enthält eine Parameterklasse, die durch eine „typische“ Parameterkonstellation charakterisiert ist, und das zweite Feld ordnet dieser Klasse eine geeignete Methode zu.

Zum Anlegen einer solchen Datenbank ist eine Rechenstudie durchzuführen, in der zunächst die Menge der möglichen Probleminstanzen in Parameterklassen unterteilt wird. Als Eintrag für das Schlüsselfeld zur Charakterisierung einer Parameterklasse kann z.B. ein „mittlerer“ Parametervektor gewählt werden. Dann muß für jede Klasse eine Stichprobe von Beispielen generiert werden, die mit verschiedenen Methoden gelöst werden. In die Datenbank wird schließlich für die jeweils betrachtete Parameterklasse diejenige Methode aufgenommen, die das „beste“ Ergebnis für die gewählte Stichprobe liefert. Als Kriterium zur Identifikation der besten Methode kann auf Basis der in Abschnitt 1 vorgeschlagenen Performancemaße eine der folgenden Regeln gewählt werden, sofern ein einziges Performancemaß als entscheidungsrelevant erachtet wird:

- Wähle diejenige Methode, die das beste durchschnittliche Ergebnis liefert.
- Wähle diejenige Methode, deren schlechtestes Einzelergebnis, verglichen mit den schlechtesten Ergebnissen der anderen Verfahren, das beste Ergebnis ist.

Sind mehrere Performancemaße entscheidungsrelevant, so muß ein Verfahren der mehrkriteriellen Entscheidungsfindung herangezogen werden [EiWe93].

Während der Laufzeit muß entschieden werden, welcher Parameterklasse eine konkrete Instanz zuzuordnen ist, um dann die anzuwendende Methode

aus der Datenbank auszuwählen. In aller Regel wird die Parameterkonstellation der konkreten Instanz jedoch nicht mit einem der Schlüsselfelder in der Datenbank übereinstimmen, und so stellt sich das Problem der sinnvollen Zuordnung.

Dieses Problem kann als Problem der Mustererkennung interpretiert werden. Die Parameterausprägungen der konkreten Instanz stellen das zu erkennende Muster dar, und die Parameterkonstellationen in den Schlüsselfeldern der Methoden-Datenbank repräsentieren die bekannten Muster. Für das Mustererkennungsproblem wurden verschiedene Methoden entwickelt. Manche dieser Ansätze stammen aus dem Bereich der Nachrichtenübertragung, wo empfangene Nachrichten von den ursprünglichen Nachrichten aufgrund von Verzerrungen abweichen [Bla83]. Häufig bilden Distanzmaße (z.B. die Hamming Distanz), die die Abweichung unbekannter Muster von bekannten Mustern messen, die Basis der Erkennung. So bestimmt die Hamming Distanz die Anzahl der Positionen zweier Bitmuster, die nicht übereinstimmen. Ein unbekanntes Muster wird demjenigen bekannten Muster zugeordnet, das die geringste Hamming Distanz zum unbekanntem Muster aufweist. Andere Ansätze zur Mustererkennung wurden insbesondere im Umfeld der Forschung zur künstlichen Intelligenz entwickelt. So werden neuronale Netze zur Mustererkennung z.B. in [CoKu89, Fuk88] präsentiert.

Aber auch das Konzept des fallbasierten Schließens [AaPl94, AlBa96], das im Kontext entscheidungsunterstützender Systeme an Popularität gewinnt, kann als Mechanismus zur Auswahl von Methoden verwendet werden. Die grundsätzliche Vorgehensweise entspricht dem oben beschriebenen: Eine Datenbank „bisheriger Fälle“ und eine Vorschrift zur Abbildung eines „neuen Falls“ auf einen „alten“, um durch Anwendung des „Bisherigen“ Lösungen für „Neues“ zu erhalten. In aller Regel wird diese Vorgehensweise um einen Lernmechanismus erweitert, der nach Anwendung auf den „neuen Fall“ die Datenbank aktualisiert. Im hier diskutierten Beispiel der Methodenauswahl könnten solche Lerneffekte bewirken, daß z.B. dann, wenn eine gemäß Datenbank präferierte Methode keine zulässige Lösung bestimmen kann, alle anderen Verfahren „ausprobiert“ werden. Finden eine oder mehrere der anderen Verfahren eine zulässige Lösung, so wird ein neuer Datenbankeintrag für die betrachtete Instanz generiert und das Verfahren mit der besten zulässigen Lösung dieser Instanz zugeordnet. Im Rahmen der Systemwartung sollten nachträglich extensivere Rechenstudien für die neuen Fälle durchgeführt werden, um die hinzugefügten Datenbankeinträge zu verifizieren und gege-

benenfalls zu aktualisieren.

### 3 Anwendungsbeispiel: Losgrößenplanung

Am Beispiel eines konkreten produktionswirtschaftlichen Planungsproblems soll nun die Relevanz der Auswahl von Methoden aufgezeigt werden. Wir betrachten hier das Problem der mehrstufigen Losgrößenplanung unter Kapazitätsbeschränkungen, wie es in [Kim97b] ausführlich behandelt wurde: Das planerische Problem besteht darin, eine zeitlich schwankende Nachfrage nach Endprodukten vollständig zu befriedigen. Wir unterstellen einen mehrstufigen Fertigungsprozeß, bei dem unterschiedliche Arbeitsgänge auf mehreren Maschinen auszuführen sind. Im allgemeinen können auf einer Maschine mehrere verschiedene Arbeitsgänge durchgeführt werden. Die zur Verfügung stehende Kapazität der Maschinen ist limitiert. Bevor einzelne Arbeitsgänge auf einer Maschine beginnen können, muß die Maschine eventuell umgerüstet werden. Dies verursacht Rüstkosten, so daß es wirtschaftlich sinnvoll erscheint, die Herstellung einzelner Werkstücke zeitlich vorzuziehen, um Lose zu bilden. Gleichzeitig verursacht eine zeitlich vorgezogene Produktion Lagerbestände und damit Lagerhaltungskosten. Ziel der Losgrößenplanung ist es, einen Produktionsplan zu finden, dessen Summe aus Rüst- und Lagerhaltungskosten möglichst gering ist. Das Problem der Losgrößenplanung ist (außer unter praxisfernen Annahmen; vgl. [Kim97a]) nicht trivial. Daher ist es angebracht, Heuristiken für die Losgrößenplanung zu entwickeln.

Gestützt auf Rechenstudien in [Kim97b] seien hier beispielhaft einige Parameter genannt, die das Ergebnis von Heuristiken maßgeblich bestimmen:

- $U \in \{\text{niedrig, mittel, hoch}\}$ , die Kapazitätsauslastung, definiert als Verhältnis von Kapazitätsnachfrage zu Kapazitätsangebot.
- $E \in \{\text{niedrig, hoch}\}$ , die Komplexität der Erzeugnisstruktur, definiert als (normierte) Anzahl der Vorrangbeziehungen zwischen den Arbeitsgängen.
- $K \in \{\text{niedrig, mittel, hoch}\}$ , das Verhältnis aus Rüst- und Lagerhaltungskosten.

Als Nachweis dafür, daß diese Parameter tatsächlich signifikanten Einfluß auf die Güte von Lösungsverfahren haben, sei hier eine Auswahl der Rechen-



ergebnisse wiedergegeben. Für verschiedene Kombinationen von Parameterausprägungen wurden 10 Instanzen zufällig generiert, die klein genug waren, um mit Standardsoftware optimal gelöst zu werden. Exemplarisch seien hier die Resultate für ein sogenanntes Stichprobenverfahren aufgeführt, das auf Basis Prioritätsregel-gesteuerter, randomisierter Konstruktionsmechanismen für jede Beispielinstantz 1000 (verschiedene) Produktionspläne erzeugt und den besten dieser Pläne auswählt. Tabelle 1 gibt die mittlere prozentuale Abweichung vom optimalen Ergebnis an.

|                    |                    | <i>K = niedrig</i> | <i>K = mittel</i> | <i>K = hoch</i> |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| <i>U = niedrig</i> | <i>E = niedrig</i> | 13.93%             | 7.01%             | 3.63%           |
|                    | <i>E = hoch</i>    | 14.82%             | 13.48%            | 10.40%          |
| <i>U = mittel</i>  | <i>E = niedrig</i> | 16.75%             | 8.40%             | 6.65%           |
|                    | <i>E = hoch</i>    | 12.57%             | 13.08%            | 15.65%          |
| <i>U = hoch</i>    | <i>E = niedrig</i> | 22.88%             | 13.48%            | 12.51%          |
|                    | <i>E = hoch</i>    | 3.82%              | 4.80%             | 10.54%          |

Tabelle 1: Stichprobenverfahren: Mittlere Abweichung vom Optimum

In [Kim97b] wird neben dem Stichprobenverfahren auch ein Verfahren auf der Basis zellularer Automaten entwickelt und getestet. Wendet man dieses Verfahren auf dieselben Datensätze an, die zur Auswertung des Stichprobenverfahrens benutzt wurden, so ergeben sich die Ergebnisse in Tabelle 2.

|                    |                    | <i>K = niedrig</i> | <i>K = mittel</i> | <i>K = hoch</i> |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| <i>U = niedrig</i> | <i>E = niedrig</i> | 16.71%             | 4.59%             | 1.61%           |
|                    | <i>E = hoch</i>    | 14.47%             | 3.94%             | 2.18%           |
| <i>U = mittel</i>  | <i>E = niedrig</i> | 16.69%             | 7.28%             | 1.44%           |
|                    | <i>E = hoch</i>    | 20.56%             | 6.58%             | 7.10%           |
| <i>U = hoch</i>    | <i>E = niedrig</i> | 23.77%             | 20.50%            | 12.91%          |
|                    | <i>E = hoch</i>    | 11.36%             | 6.94%             | 5.69%           |

Tabelle 2: Zellularer Automat: Mittlere Abweichung vom Optimum

Interessant ist nun die Frage, ob und in welchen Fällen sich die Ergebnisse der Verfahren unterscheiden und, falls sie dies tun, welches der beiden Verfahren für welche Parameterklasse besser geeignet ist, um eine entsprechende Instanz zu lösen. Verwenden wir als Kriterium für die Auswahl einer Methode für einen bestimmten Fall die mittlere Abweichung vom Optimum im Rechentest, so ergibt sich das in Tabelle 3 dargestellte Bild. Ein Eintrag *S* in der Tabelle signalisiert, daß das Stichprobenverfahren im Mittel eine geringere Abweichung vom Optimum aufweist; ein Eintrag *Z* zeigt die Fälle, in denen der zellulare Automat im Mittel bessere Ergebnisse liefert.

|                    |                    | <i>K = niedrig</i> | <i>K = mittel</i> | <i>K = hoch</i> |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| <i>U = niedrig</i> | <i>E = niedrig</i> | <i>S</i>           | <i>Z</i>          | <i>Z</i>        |
|                    | <i>E = hoch</i>    | <i>Z</i>           | <i>Z</i>          | <i>Z</i>        |
| <i>U = mittel</i>  | <i>E = niedrig</i> | <i>Z</i>           | <i>Z</i>          | <i>Z</i>        |
|                    | <i>E = hoch</i>    | <i>S</i>           | <i>Z</i>          | <i>Z</i>        |
| <i>U = hoch</i>    | <i>E = niedrig</i> | <i>S</i>           | <i>S</i>          | <i>S</i>        |
|                    | <i>E = hoch</i>    | <i>S</i>           | <i>S</i>          | <i>Z</i>        |

Tabelle 3: Fallbasiertes Schließen auf die Methode

Ein Planungsmodul zur Losgrößenplanung in einem Produktionsplanungssystem sollte also, gemäß den obigen Ausführungen, aus einer Datenbank mit 18 Datensätzen bestehen. Jeder Datensatz legt fest, für welche Parameterkonstellation welche Methode im Mittel am besten geeignet ist. In unserem Beispiel sollte man eine konkrete Instanz, die der Parameterklasse *U = niedrig*, *E = niedrig* und *K = niedrig* zugeordnet wird, mit Hilfe des Stichprobenverfahrens zu lösen versuchen. Eine feinere Unterteilung der Parameterausprägungen erhöht die Anzahl der Datensätze und erlaubt eine zuverlässigere Auswahl von Methoden. Gleichzeitig erhöht sich jedoch der Aufwand für das Anlegen der Datenbank.

## 4 Fazit

Dieser Beitrag hat ein in der produktionswirtschaftlichen Literatur nicht behandeltes Anwendungsgebiet des fallbasierten Schließens aufgezeigt: Das Pro-

blem der Methodenauswahl (in Produktionsplanungssystemen). Die grundsätzliche Vorgehensweise wurde diskutiert und am Beispiel der Losgrößenplanung konnte die Relevanz und prinzipielle Tauglichkeit dieses Ansatzes dargelegt werden. Aber auch über die Losgrößenplanung hinaus ist es für viele Planungsprobleme der Fall, daß mehrere Methoden entwickelt wurden, von denen keine eindeutig dominant ist, so daß sich das Problem der Methodenauswahl tatsächlich stellt.

Im Hinblick auf eine konkrete Implementierung eines CBR-Systems als Teilmodul eines Produktionsplanungssystems unterstreichen, mit Bezug auf die in [AlBa96] herausgearbeiteten Aspekte, folgende Hinweise die Realisierbarkeit der skizzierten Vorgehensweise:

- Es ist grundsätzlich kein Problem, eine hinreichende Anzahl von Fällen (Parameterklassen) zu betrachten. Diese müßten ohnehin in einem aus-sagefähigen Rechentest generiert werden, um die Methoden zur Lösung eines Planungsproblems zu evaluieren.
- Die Fälle können durch wenige Parameter charakterisiert werden, so daß die Speicherung der Fälle wenig Speicherplatz erfordert.
- Ein effizienter Zugriff (z.B. durch Verwendung von Bäumen als Datenstrukturen) ist möglich.
- Die Zuordnung konkreter Instanzen zu den in der Datenbank abgelegten Fällen erfordert wenig Rechenaufwand. So sind die im Beispiel verwendeten Parameter (Kapazitätsauslastung, Komplexität der Erzeugnisstruktur und Kostenverhältnis) einfach zu berechnende Kennzahlen. Die in der Datenbank abgelegten Fälle sind durch Bereichsintervalle für die einzelnen Parameter unterscheidbar.
- Zur Lösung bestimmter Instanzen sind in der Datenbank keine Produktionspläne, sondern Methoden zur Berechnung solcher Pläne abgelegt. Die Anwendbarkeit der in der Datenbank abgelegten Information auf neue Fälle ist damit per se garantiert.
- Bei der Einführung eines CBR-Systems zur Auswahl von Methoden sind organisatorische Restrukturierungen nicht notwendig. Im Extremfall ist dem Benutzer einer Planungssoftware nicht einmal bekannt, daß die verwendete Planungsmethode erst zur Laufzeit bestimmt wird. Die

Akzeptanz eines solchen CBR-Systems wird durch die Akzeptanz einzelner Planungsmethoden impliziert.

## Danksagung

Herzlicher Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Andreas Drexl für die fortwährende Unterstützung. Diese Arbeit wurde durch das DFG-Projekt Dr 170/4-1 gefördert.

## Literatur

- [AaPl94] AAMODT, A., PLAZA, E., (1994), Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches, *AI Communications*, Vol. 7, S. 39-59
- [AlBa96] ALTHOFF, K.D., BARTSCH-SPÖRL, B., (1996), Decision Support for Case-Based Applications, *Wirtschaftsinformatik*, Vol. 38, S. 8-16
- [Bla83] BLAHUT, R.E., (1983), *Theory and Practice of Error Control Codes*, Reading, Addison-Wesley
- [BiDoPe96] BŁAŻEWICZ, J., DOMSCHKE, W., PESCH, E., (1996), The Job Shop Scheduling Problem: Conventional and New Solution Techniques, *European Journal of Operational Research*, Vol. 93, S. 1-33
- [BILeRi83] BŁAŻEWICZ, J., LENSTRA, J.K., RINNOOY KAN, A.H.G., (1983), Scheduling Subject to Resource Constraints: Classification and Complexity, *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 5, S. 11-24
- [CoKu89] COOLEN, A.C.C., KUJIK, F.W., (1989), A Learning Mechanism for Invariant Pattern Recognition in Neural Networks, *Neural Networks*, Vol. 2, S. 495-506
- [DoScVo93] DOMSCHKE, W., SCHOLL, A., VOSS, S., (1993), *Produktionsplanung - Ablauforganisatorische Aspekte*, Berlin, Springer
- [DFGST94] DREXL, A., FLEISCHMANN, B., GÜNTHER, H.O., STADTLER, H., TEMPELMEIER, H., (1994), Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme, *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Vol. 46, S. 1022-1045
- [EiWe93] EISENFÜHR, F., WEBER, M., (1993), *Rationales Entscheiden*, Berlin, Springer

- [FLeRi80] FLORIAN, M., LENSTRA, J.K., RINNOOY KAN, A., (1980), Deterministic Production Planning: Algorithms and Complexity, Management Science, Vol. 26, S. 669–679
- [Fuk88] FUKUSHIMA, K., (1988), A Neural Network for Visual Pattern Recognition, IEEE Computer, Vol. 3, S. 65–75
- [GaJo79] GAREY, M.R., JOHNSON, D.S., (1979), Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness, San Francisco, Freeman
- [Kim97a] KIMMS, A., (1997), Modelle der Losgrößenplanung und das MRP II-Konzept, erscheint in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium
- [Kim97b] KIMMS, A., (1997), Multi-Level Lot Sizing and Scheduling — Methods for Capacitated, Dynamic, and Deterministic Models, Heidelberg, Physica