

Advanced Planning and Scheduling Systems: Optimierungsmethoden in der interaktiven Entscheidungsunterstützung auf Basis von ERP und Feinplanung

Dr.rer.nat. Wolfgang Hölzer

Vorstandsvorsitzender r.z.w. cimdata AG
Lehrbeauftragter der Bauhaus-Universität Weimar

Seit die Datenverarbeitung in ihrer Komplexität sich der Thematik des Computer Integrated Manufacturing widmet gehört die Produktionsplanung und Steuerung zu jenen Bereichen, in denen eine Computerunterstützung am vordringlichsten erschien. IBM hat mit Stücklistenprozessoren wie BOMP und später mit den Systemen PICS und COPICS die Vorgehensweisen von Produktionsplanungs- und steuerungs- (PPS-)Systemen geprägt.

Die Educational Society for Resource Management hat mit ihrer "MRP II-Definition (Material Requirements Planning)" wesentlich zur Verbreitung dieses Planungstyps beigetragen. Später sind betriebswirtschaftliche Gesamtlösungen entstanden, die (bis heute recht unpräzise) als Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme bezeichnet werden und in ihren Logistik-Modulen auch Funktionen der Produktionsplanung abdecken.

Manufacturing Resource Planung II

(nach Wight)

- ▶ 1.Schritt: Produktionsprogramm (incl. Absatzplanung)
- ▶ 2.Schritt: Mengenplanung
- ▶ 3.Schritt: Termin und Kapazitätsplanung
- ▶ 4.Schritt: Auftragsveranlassung
- ▶ 5.Schritt: Kapazitäts- und Auftragsüberwachung

Ablaufsteuerung über Liefertermine

==> PUSH Prinzip (bedarfsgesteuert)

Ablaufsteuerung über die Produktionskette

==> PULL Prinzip (verbrauchsgesteuert)

==> Trial and Error Verfahren

Alle bekannten MRP-, PPS- und auch ERP-Systeme beruhen auf einer Sukzessivplanung: Die Nettobedarfe der einzelnen Perioden werden zu Fertigungsaufträgen zusammengefasst, ohne die Kapazitätsgrenzen und -auslastungen zu beachten. Kapazitätsgrenzen werden in aller Regel erst in der Kapazitätsterminierung in einem nachgelagerten Planungsschritt berücksichtigt. In diesem wird bevorzugt das Kapazitätsangebot verändert, weil dabei weniger Interdependenzen zu berücksichtigen sind als bei Veränderungen der Kapazitätsnachfrage z.B. durch Verschiebung der zeitlichen Zuordnungen von Arbeitsgängen zu Betriebsmitteln. Kapazitätsgrenzen werden im Intervall definiert und somit kann eine Überschreitung dieser als zulässig angesehen werden.

Reichen die in der Kapazitätsterminierung bestehenden periodenabhängigen Kapazitätsbedingungen nicht aus, werden Iterationen in Form des sukzessiven Suchens einer zulässigen Lösung vorgenommen.

PPS-Systeme oder wie später unter Einbeziehung der Logistik-Module als ERP-Systeme sind in ihrer Wirksamkeit kritisch zu analysieren insbesondere wegen:

- keine Beeinflussung der Produktionsplanung und -steuerung durch Zielgewichtung und deren Veränderung des zeitlichen Horizonts
- unzureichende Berücksichtigung veränderter Rahmenbedingungen wie
 - kundenspezifischer Varianten (Mass Customization)
 - steigende Flexibilität produktionstechnischer Anlagen
- geringe oder keine Entscheidungsunterstützung
- geringe oder keine Berücksichtigung von Engpässen

- keine auf aktuelle Auslastungsdaten beruhende Prognose der Durchlaufzeiten
- mangelnde Qualität von Rückmeldungen
- ungenügende Berücksichtigung stochastischer Störungen
- unzureichende Integration gewichteter betriebswirtschaftlicher und betrieblicher Ziel-funktionen.

Neben Planungsaufgaben sind mit Hilfe von PPS- bzw. ERP-Systeme auch Steuerungsaufgaben zu unterstützen. Dabei sind die für die Fertigung einzusetzenden Ressourcen und der Zeitpunkt der Auftragsfreigabe zu bestimmen sowie Reihenfolge-Entscheidungen zur Auftragsbearbeitung zu treffen. Oft werden zur Unterstützung dieser Steuerungsaufgaben sogenannte Leitstand-Systeme eingesetzt.

Trotz aller Fortschritte, die mit Hilfe von ERP-Systemen erreicht wurden, sind nachfolgende für ERP-Lösungen benannte Erfolgsfaktoren unverändert in ihren Auswirkungen [Diebold, KPMG, 1999]:

- ▶ Schaffung stabiler organisatorischer Abläufe
 - ▶ 76% aller Störungen sind organisatorischer Herkunft
- ▶ Schaffung stabiler technologischer Fertigungsunterlagen
 - ▶ 10,78% aller Störungen durch externe operative Eingriffe
- ▶ Reale Planung der Durchlaufzeiten
 - ▶ 42% der Liegezeiten sind bedingt durch Organisation, Konstruktion, Technologie u. technologische Fehler
- ▶ Planungs- und Steuerungsmodell
 - ▶ 56% der Aufträge werden zu früh eingesteuert
 - ▶ 71% Belastung
 - ▶ 34,8% werden zu spät eingesteuert
 - ▶ 22,5% Belastung

Advanced Planning and Scheduling (APS) Systems finden seit etwa 1995 zunehmend Interesse, einige Softwareanbieter sprechen auch bereits von in ihren ERP-Lösungen integrierten APS-Modulen [SAP, JDE]. Sehr häufig werden Themen wie Supply Chain Management (SCM) und eBusiness in Verbindung mit APS gebracht.

Neben

- Demand Planning
- Production Planning and Scheduling
- Distribution Planning
- Transportation Planning und
- Supply Chain Planning

werden Lösungen für

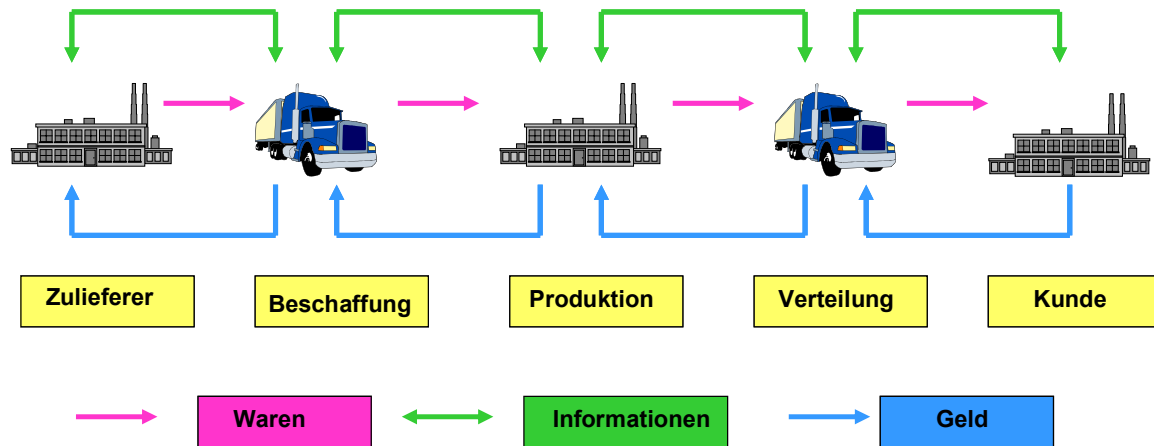
- Anzahl und Standorte von Produktionsstätten und Auslieferungslagern
- Zuordnung zu Produktionsstätten
- Kapazitätsbestimmung für Arbeitskräfte und Betriebsmittel je Standort
- Lagerhaltung je Teil und Lager
- Bestimmung benötigter Transportmittel und Häufigkeit ihres Einsatzes
- Zuordnung von Lagern zu Produktionsstätten von Märkten zu Lagern

von APS-Systemen erwartet.

D.h. APS-Systeme ergänzen ERP-Lösungen, nutzen die bereits durch das ERP-System vorhandenen Daten und benötigen neuartige Algorithmen und (Meta-) Heuristiken. APS bestimmt Material und Kapazität bei begrenzt verfügbaren Ressourcen in Echtzeit, bezieht be-

triebswirtschaftliche Kenngrößen zur Entscheidungsunterstützung in den Prozessen der Lagerlogistik, Ressourcenplanung, Eilaufträgen und Lieferterminen ein.

Supply Chain Management (SCM) ist die logische Ausweitung von MRP und ERP in Bezug auf interne und externe Logistikketten (Kunden, Lieferanten, Logistik- und Transportdienstleister, Distributoren). APS ist der Ersatz bzw. die Erweiterung der Planungsmethoden in MRP, ERP und SCM.

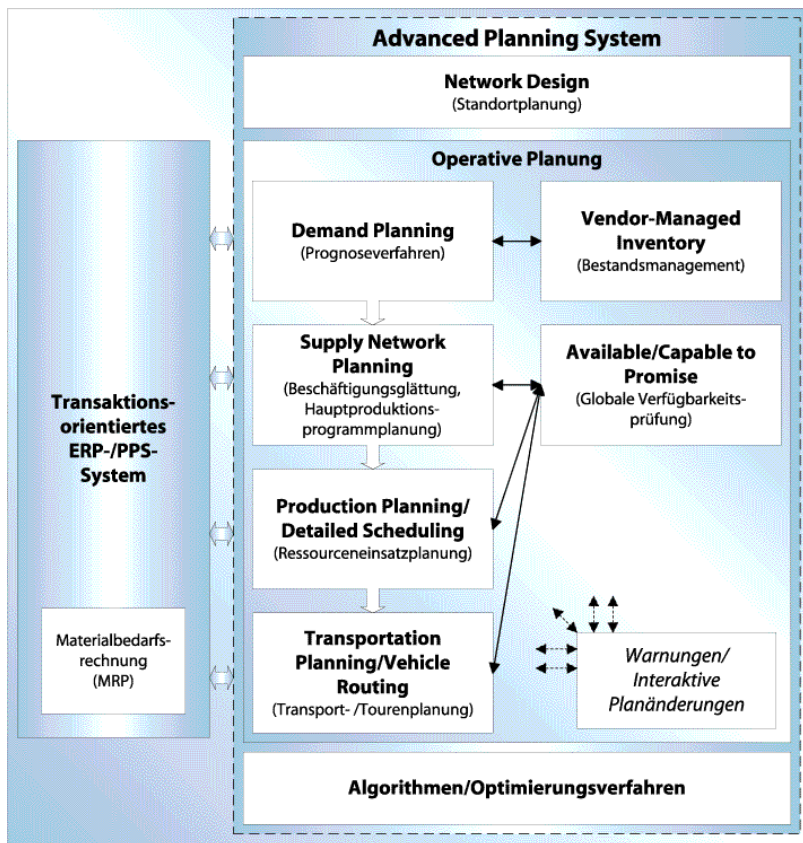


Supply Chain Management ist die logische Ausweitung von PPS und ERP in Bezug auf interne und externe Logistikketten (Kunden, Lieferanten, Logistik- und Transport-Dienstleister), d.h. alle Prozesse in der Wertschöpfungskette "von den Lieferanten der Lieferanten bis zu den Abnehmern der Abnehmer" systematisch zu planen und zu kontrollieren. Betrachtungsgegenstand ist der Material- und Produktfluß in einem logistischen Netzwerk, das aus Knoten (Lieferanten, Produzenten, Händler, Abnehmer) und Verbindungen zwischen den Knoten besteht. Ferner wird auch eine rein unternehmensinterne Logistik als Supply Chain bezeichnet.

Standortwahl	Zahl und Ort der Produktionsstätten
Master Planning	Reaktion auf saisonale (dynamische) Nachfrageentwicklungen für die Produkte Verteilung der Produktion Wahl der Lieferanten und der Liefermengen
Sicherheitsbestände	Reaktionsraum für stochastische Störungen innerhalb der Wertschöpfungskette Sicherheitsbestände am richtigen Ort und in der richtigen Größe
Losgrößen	Reaktion auf Rüstzeiten viele kleine Lose = hohe Rüstzeitverluste, große Lose = hohe Lagerbestände.
Terminplanung	Grob und Feinplanung: Starttermin, Reihenfolge, Auswirkungen

Grundkonzept der APS

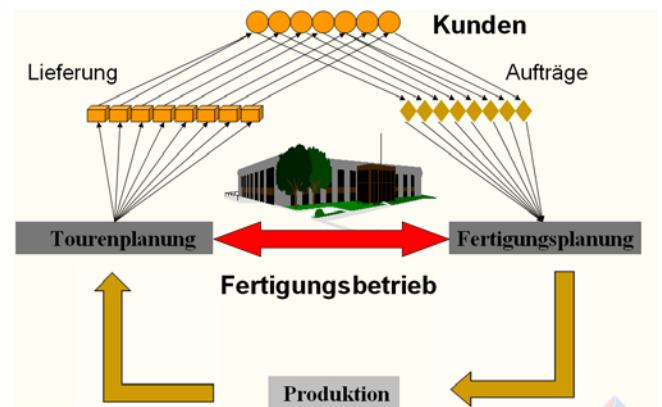
Die kommerziell verfügbaren AP-Softwaresysteme folgen einer historisch gewachsenen **Grundkonzeption**, die man mit folgender Graphik darstellen kann:



[Günter, Tempelmeier: Produktion- u. Logistik, Berlin 2003]

Viele jetzt entstehende AP-Systeme versuchen, das MRP-Konzept zu ergänzen und seine Schwächen durch modellgestützte Planung zu beseitigen.

Im Rahmen eines wissenschaftlichen Verbundprojektes zwischen der Bauhaus Universität Weimar und der r.z.w. cimdata AG wurden komplexe Optimierungsprobleme der Produktions- und Tourenplanung im Zusammenhang betrachtet auf Basis einer betriebswirtschaftlichen Analyse der entsprechenden Vorgänge mit dem Ziel Verfahren für eine Interaktive Entscheidungsunterstützung für zukünftige APS-Systeme zu erhalten. Aus einer inhaltlichen Motivation und aus den algorithmischen Notwendigkeiten erfolgt die Modellierung innerhalb des folgenden Szenarios: Ein menschlicher Entscheider wählt aus einer angebotenen Menge von guten Lösungen die subjektiv am günstigsten erscheinende Lösung aus. Wichtig ist dabei, dass sich die dargebotenen Lösungen deutlich voneinander unterscheiden (Diversität) und dem Entscheidungsträger geeignete Hilfsmittel (wie zum Beispiel durch eine Visualisierung) zur Verfügung stehen.



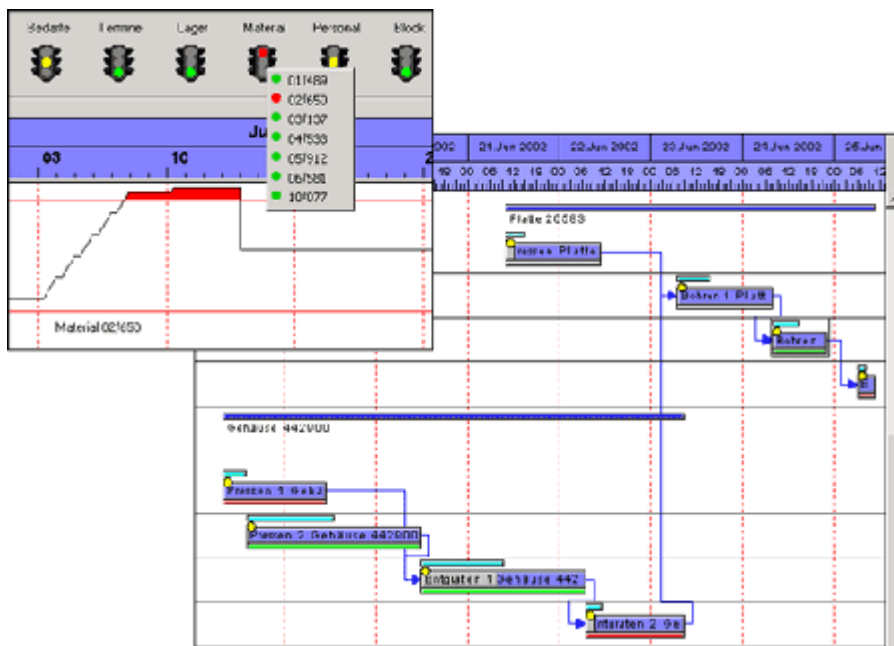
Die Ermittlung der Diversität einer Menge von Lösungen der Optimierungsprobleme kann durch verschiedene Abstandsmaße auf dem Lösungsraum angegeben werden:

- in einer einfachen Teilklassse von Tourenplanungsproblemen wird der Abstand zweier Lösungen, d.h. zweier Tourenpläne, auf den Abstand zweier Permutationen der zu beliefernden Kunden zurückgeführt
- beim Scheduling wird der Abstand zweier Lösungen, d.h. zweier Produktionspläne, auf den Abstand der Permutationen der Bearbeitungsschritte auf den Maschinen zurückgeführt

Da in Alternative zur Reihenfolge auch die Startzeiten der Bearbeitungsschritte als Strukturmerkmal betrachtet werden können, kann ein weiteres Distanzmaß, basierend auf der Differenz der Startzeiten der Bearbeitungsschritte zweier Lösungen, herangezogen werden.

Die mittels genetischer lokaler Suche gefundenen lokal optimalen Lösungen dienen als Eingangsgröße für distanzmaximierende Threshold- und Sidestep-Algorithmen. Auf diese Weise kann eine umfangreiche Menge von Lösungen mit guten Werten der Zielfunktionen und zugleich großen paarweisen Abständen gewonnen werden. Zur Entscheidungsunterstützung wird dieser Pool von Lösungen mittels eines Short-Listing-Verfahrens reduziert:

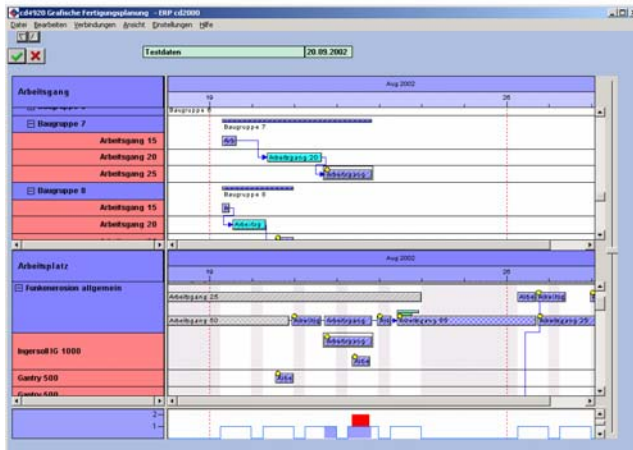
- Clustering der Lösungen durch ein hierarchisches als auch ein nicht-hierarchisches Klassifikationsverfahren
- Auswahl eines Repräsentanten aus jedem Cluster
- Visualisierung der reduzierten Lösungsmenge



Permanente Restriktionsüberwachung mittels Ampel-Konzept und Visualisierung und Manipulation der Fertigungspläne mittels Gantt-Diagramm

Für den Gütevergleich verschiedener Lösungen hinsichtlich mehrerer Zielfunktionen wurden als Alternative zur gewöhnlichen Darstellung in Form von Tabellen mehrere Modifikationen von Balken-, Linien-, Blasen- und Spinnbeindiagrammen entwickelt. Diese wurden so angepasst, dass sie den problemimmanenten Anforderungen genügen. Dabei zeigte sich, dass sich je nach Erfahrung des Entscheidungsträgers die gleichzeitige Visualisierung von bis zu acht Vorschlägen als brauchbar erwies. Alle Visualisierungen können durch Skalierung und Normierung den Bedürfnissen des Anwenders angepasst werden. Weiterhin wurden zum Vergleich bei multikriteriellen Problemen Tools zur Visualisierung der **PARETO**-Dominanz und des Netzwerks der **PARETO**-Abhängigkeiten entwickelt. Die zur Gewinnung von Diversi-

täts-informationen herangezogenen Distanzmaße wurden ebenfalls für Visualisierungen verwendet. So konnten sowohl die Cluster als auch der Zusammenhang von Abständen im Lösungsraum und Bewertungen im Zielfunktionsraum dargestellt werden. Zur Entscheidungsunterstützung wurden die Darstellungsmöglichkeiten so verknüpft, dass ein Wechsel zwischen Struktur- und Zielfunktionsdarstellung interaktiv möglich ist.



Integration in das ERP-System cd2000 der r.z.w cimdata

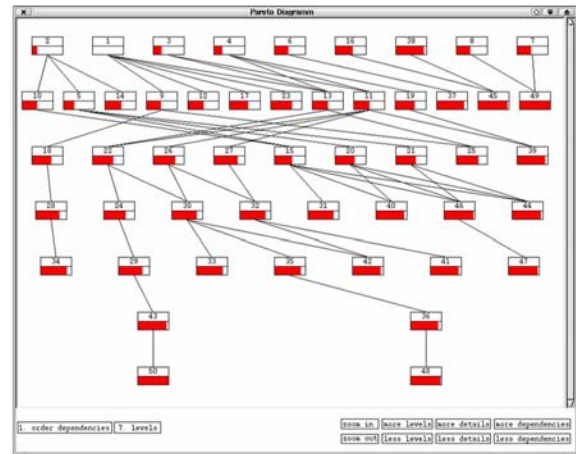


Diagramm mit Pareto-Abhängigkeiten

Die Bewertung der entwickelten Verfahren erfolgte im Vergleich mit Ergebnissen und Algorithmen aus der Literatur (Benchmark-Instanzen). Speziell beim klassischen Job-Shop-Scheduling-Problem wurden 241 Instanzen für die Zielfunktion Makespan und 60 Instanzen für die Zielfunktion Lateness herangezogen. Von den 241 Instanzen für den Makespan wurden bei 56 Instanzen bessere als bisher bekannte Lösungen gefunden und bei weiteren 137 Instanzen die beste bekannte Lösung erreicht. Bei den restlichen 48 Instanzen lag die maximale Abweichung vom Rekordhalter unter einem Prozent. Die 60 Instanzen für die Lateness wurden allesamt verbessert. Bei den weiteren untersuchten Zielfunktionen existieren in der Literatur keine Vergleichsdaten.

Um für die Algorithmen eine Datengrundlage zu erhalten, wurden auf der Basis von realen Daten aus dem Kundenstamm der r.z.w. cimdata Generatoren zur Erzeugung von Instanzen des Produktions- bzw. Tourenplanungsproblems entwickelt. Damit wurde eine Referenzmenge von Benchmarks erzeugt, die verschiedenste Kombinationen der Nebenbedingungen enthielten. Die Heuristiken und Entscheidungsunterstützungswerkzeuge wurden mit Hilfe dieser Referenzmenge erprobt und verbessert. Zur Optimierung stehen dem Anwender 6 Lokale-Suche-Verfahren mit verschiedenen Nachbarschaftsrelationen und Parametern wie Schrittzahlschranken, Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf den Nachbarlösungen, Längen von Tabulisten oder Schwellwerten zur Verfügung, die jeweils noch in genetische lokale Suche eingebettet werden können. Für das Short-Listing-Verfahren wurden 2 Klassifikationsalgorithmen, 6 Abstandsmaße und 2 Auswahlverfahren aus den Clustern verwendet, d.h. es ergibt sich eine Gesamtzahl von 24 Short-Listing-Verfahren. Je nach Zielfunktionen, Dimension der Instanz und praktischen Nebenbedingungen erwiesen sich unterschiedliche Verfahren als günstig. Mit Hilfe der Instanzenmenge konnte eine Einteilung der Optimierungsprobleme in Teilklassen mit typspezifischen Handlungsempfehlungen für den Anwender vorgenommen werden.

Fazit

APS ersetzt nicht die transaktionsbasierten Systeme z. B. im Bereich Einkauf, Verkauf, Materialwirtschaft, Disposition oder Rechnungswesen sondern erweitert diese entsprechend der Anforderungen eines Unternehmens um die jeweils benötigten Planungsfunktionen. Außerdem enthält es nicht die Daten-Infrastruktur (Teile- Stammdaten, Lieferanten, Kunden, Stücklisten etc.), die weiterhin ein integraler Bestandteil von ERP- oder SCM-Systemen bleiben werden. APS ist keine Standardlösung, sollte aber auf standardisierte Verfahren und Methoden basieren.

References :

- Henning, A: Praktische Job-Shop Scheduling-Probleme, Dissertation, FSU Jena, Jena 2003
- Henning, A., K. Meuser: Interactive scheduling with multiple choice algorithms, SOR 2000, Dresden
- Henning, A., K. Meuser, J. Pettigk: Interaktive Entscheidungsunterstützung bei verallgemeinerten Job-Shop-Problemen, SOR 2001, Duisburg
- Hölzer, W.: Interaktive Entscheidungsunterstützung in der betrieblichen Praxis, SOR 2001, Duisburg