

Robuste Primär- und Sekundärbedarfsplanung komplexer und variantenreicher Serienprodukte

Robust demand planning of configurable products

Jochen Kappler, Andreas Schütte, Heiko Jung
Daimler AG, Böblingen (Germany)
jochen.kappler@daimler.com, andreas.schuette@daimler.com,
heiko.jung@daimler.com

Dennis Arnhold, Uwe Bracht
Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit,
TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld (Germany)
dennis.arnhold@imab.tu-clausthal.de, uwe.bracht@imab.tu-clausthal.de

Abstract: Nowadays the ability to provide resource-efficiently a high complex product, like a personalized car truly is, within 3 months to the customer states for OEMs one of the most crucial advantages in competition. In order to guarantee short order-to-delivery time of the offered variant spectrum, future demand for components and parts must be planned months before the actual Build-to-Order production process gets initiated. To due volatile markets this task develops to a critical challenge. In this paper we present a methodology to plan the future market and part demand more robustly by offering the OEM's forecasting and planning sales departments the ability to describe the uncertainty of future market demand with intervals. We provide an approach which enables the logistic departments to transform this range-based market demand information effectively into part intervals by respecting the logical product documentation.

1 Einführung in das Planungsumfeld

Im Zuge übersättigter Märkte und des zunehmenden Konkurrenzdrucks in der Automobilbranche versuchen OEM (Original Equipment Manufacturer) mit immer neuen Ausstattungsoptionen und der Einführung von Nischenbaureihen potentielle Kunden durch ein Höchstmaß an Individualisierung zu überzeugen. Neben den klassischen Differenzierungsmerkmalen von Produkten, wie z.B. Qualität und Preis, beeinflusst in letzter Zeit die Auftragsabwicklung, also vor allem die Lieferzeit und die Liefertreue eines Fahrzeugs, immer mehr die Kundenzufriedenheit. Um eine hohe Liefertreue bei gleichzeitig akzeptablen Lieferzeiten für kundenindividuelle

Produktkonfigurationen zu gewährleisten, ist eine kontinuierliche und robuste Prognose und Planung des zukünftigen Primär- und Sekundärbedarfs unabdingbar.

Bei hoher Variantenvielfalt und kundenauftragsorientierter Serienproduktion stellt die Planung sowohl der zukünftigen Nachfrage an Fahrzeugmodellen sowie der Quoten von Sonderausstattungsoptionen als auch der sich daraus ergebende Komponenten- und Teilmengenbedarf eine immense Herausforderung dar (STÄBLEIN, SCHÜTTE, BRACHT 2008, S. 127). Zudem erschweren kurzfristige Auftragsänderungen der Kunden (Late Configuration) und die Marktvolatilität im Allgemeinen die präzise Einschätzung der zukünftigen Nachfrage.

2 Herausforderungen in der mittelfristigen Planung

In Industrien mit kundenauftragsorientierter Serienfertigung stellt die mittelfristige Bedarfsplanung hohe Anforderungen an die beteiligten Planungs- und Logistikbereiche. Der in diesem Beitrag betrachtete Zeitraum deckt dabei, wie in der Automobilindustrie üblich, einen Zeitraum von 18 bis 3 Monaten vor Produktionsbeginn ab. In diesem Planungsbereich liegen normalerweise noch keine konkreten Ausprägungen der Produktvarianten in Form von Kundenaufträgen vor (MEYR 2004, S. 451). Kundenaufträge treffen im Regelfall erst 8 Wochen vor der eigentlichen Produktion dieser Varianten aus den Niederlassungen bei den Herstellern ein. Für diese konkreten Aufträge kann dann eine Stücklistenauflösung zur exakten Sekundärbedarfsbestimmung durchgeführt werden.

Im mittelfristigen Planungsbereich ist dies situationsbedingt nicht möglich. Deshalb werden für diesen Zeithorizont Prognosen über den zukünftig zu erwartenden Primärbedarf erstellt, um die internen Produktions- und Logistikbereiche frühzeitig mit Informationen zu versorgen. Dazu wird aus dem erstellten Primärbedarfsplan der resultierende Sekundärbedarf abgeleitet.

Die Planung des zukünftigen Primär- und Sekundärbedarfs stellt nicht nur eine entscheidende Grundlage für die Einrichtung und Anpassung der internen Produktionskapazität bei den Automobilherstellern dar. Angesichts der Tatsache, dass über 75 % der gesamten Wertschöpfung in der Automobilindustrie nach dem Prinzip der kundenauftragsanonymen "Build-to-Forecast"-Fertigung extern erbracht werden, kommt der Informationsversorgung des Supply Chain Netzwerks eine immer höhere Bedeutung zu. Eine unzureichende Planung des zukünftigen Bedarfs hat für OEMs unter Umständen weit reichende Folgen: kann sich die Zulieferkette aus Flexibilitätsgründen nicht schnell genug auf einen geänderten Bedarf bestimmter Teile einstellen, müssen potentielle Kundenaufträge zurückgestellt bzw. abgelehnt werden. Wurden auf Basis einer inkorrekten Bedarfsplanung zu viele Komponenten bestellt und vorproduziert, entstehen den OEMs Kapitalbindungs- und Lagerkosten, die die Hersteller oftmals dazu verleiten, Fahrzeuge ohne direkten Kundenauftrag zu fertigen und diese anschließend, wie bei einer "Build-to-Forecast"-Produktion, mit Preisnachlässen "in den Markt zu drücken". Studien sprechen von jährlich \$ 80 Milliarden Zusatzkosten in der Branche durch Abweichungen in der prognosebasierten Fahrzeugproduktion bzw. von \$ 500 - \$ 1500 Einsparpotential pro Fahrzeug bei 100%-iger kundenauftragsorientierter Produktion (AGRAWAL, KUMAR, MERCER 2001, S. 65).

Auch direkt bei den Zulieferern in der Supply Chain entstehen durch kurzfristige Änderungen von Bedarfsplänen zusätzliche Kosten. Diese fallen im Wesentlichen durch Sonderfahrten, Engpasssteuerung und Sicherheits- und Überbeständen als zusätzliche Logistikkosten bzw. in der Fertigung durch Sonderschichten, Rüst- und Wartungskosten sowie in diesem Zusammenhang generellen Störungen im Ablauf als zusätzliche Produktionskosten an (VDA 2008a, S. 6). In einer VDA-Studie werden diese entstehenden Mehrkosten durch Reaktionen auf Planänderungen als so genannte "Unruhekosten" bezeichnet und in einer Umfrage quantifiziert (VDA 2008b, S. 4). Die im Rahmen der Studie durchgeführte Befragung ergab, dass 62 % der Automobillieferanten der ersten Zulieferstufe regelmäßig Ad hoc-Maßnahmen einleiten müssen, um die Lieferfähigkeit aufrecht zu erhalten. Dadurch werden Kosten verursacht, die 2-7 % des Umsatzes ausmachen. Etwa 4 % der Befragten sind fast ausschließlich von Plananpassungen betroffen, die über 7 % Mehrkosten, bezogen auf den Umsatz, erzeugen (VDA 2008a, S. 9).

Bei der Planung des Primärbedarfs von komplexen Produkten mit einer hohen Variantenvielfalt stellt sich aufgrund der speziellen Form der Erzeugnisdokumentation der zulässigen Produktvarianten und deren zur Produktion benötigten Teile eine zusätzliche Herausforderung: für deutsche Premiumfahrzeuge bestehen heute bis zu 200 kundenwählbare Sonderausstattungen zwischen denen kombinatorische Beziehungen herrschen, welche bei der Planung des Primärbedarfs berücksichtigt werden müssen. Außerdem werden weitere Steuerungsmerkmale verwendet, um Ausstattungslinien, Pakete oder Ländervarianten zu verschlüsseln (SINZ 2004, S. 26). Beide Merkmalsklassen wirken gleichermaßen auf die Menge der benötigten Komponenten und Teile ein.

Durch den Einsatz von Strategien des "Mass Customization" soll den Individualisierungswünschen der Kunden entsprochen und gleichzeitig das Komponenten- und Teilespektrum zur Fertigung kundenindividueller Varianten überschaubar gehalten werden (STÄBLEIN, SCHÜTTE, BRACHT 2008, S. 127). Dieses Konzept führt jedoch auch zu einer höheren Beschreibungskomplexität zwischen einer merkmalsbasierten Konfiguration und den dafür benötigten Komponenten. In der Produktdokumentation wird diese Beziehung zwischen Produktmerkmalen, Komponenten und Teilen beschrieben, wobei in der deutschen Automobilindustrie aufgrund der hohen Variantenzahl üblicherweise ein so genanntes coderegelbasiertes Dokumentationssystem verwendet wird (SINZ 2004, S. 25). Diese Systematik gliedert ein Produkt in zwei Ebenen:

- Produktebene für den Vertrieb und das Marketing und
- Technische Ebene für die Produktion und Entwicklung.

Innerhalb der Produktebene kommt typischerweise ein Konfigurationsregelwerk zum Einsatz, das technische, kaufmännische und gesetzliche Abhängigkeiten und Bedingungen zwischen Ausstattungsmerkmalen und Produkteigenschaften beschreibt. Diese Beziehungen zwischen den Merkmalen werden über so genannte aussagenlogischen Baubarkeits- und Zusteuerregeln dokumentiert. Dabei wird festgelegt, welche Merkmale in einem Auftrag kombiniert werden können bzw. müssen. Die Verbindung mit der technischen Ebene wird durch so genannte Einbauregeln ermöglicht, die ebenfalls über aussagenlogische Ausdrücke die Verwendung von bestimmten Teilen an so genannten Positionsvarianten unter bestimmten Merkmals-

kombinationen beschreiben. Eben diese beiden Arten der aussagenlogischen Regelwerke für das Produkt wurden in der Vergangenheit von den vorhandenen Bedarfsplanungsverfahren nur unzureichend genutzt, obwohl dieses Wissen für den Fokusmonat, für den eine Prognose erfolgen soll, mit einem zeitlichen Vorlauf besteht.

3 Bestehende Bedarfsplanungsverfahren

Bei Automobilherstellern fanden in der Vergangenheit zur Bedarfsplanung auftragsbasierte Methoden (VOLLMANN, BERRY, WHYBARK 2005), der Ansatz der reellwertigen Auftragsgewichtung (STÄBLEIN, SCHÜTTE, BRACHT 2008), der coderegelbasierter Ansatz zur Prognose auf einer virtuellen Ebene zwischen Teile- und Produktebene (OHL 2000), Schätzungen von Merkmalskombinationen (DICKERSBACH 2005), graphisch probabilistische Modelle (HOLTZE 2000) sowie die Berechnung von Intervallschranken für Sekundärbedarfe (STÄBLEIN 2008) Beachtung.

Bei volatilen Marktverhältnissen in Verbindung mit einer zunehmenden Produktkomplexität und Variantenvielfalt zeigen diese Verfahren immer häufiger konzeptionelle Defizite, die sich in der Qualität der Bedarfsplanung ausprägen. Alle Methoden verlangen nach einem Produktionsprogramm mit idealen Primärbedarforderungen, die sich widerspruchsfrei zur Produktdokumentation und gegebenen Produktionskapazitäten verhalten sowie die Nachfrage in der Zukunft punktgenau quantifizieren. Diese ideale Datensituation liegt in der Praxis jedoch nicht vor. Vielmehr sind die Prognosedaten im Regelfall stark fehlerbehaftet (OHL 2000).

Keines der erwähnten Verfahren ist in der Lage, die quantifizierte Unsicherheit der Nachfrage, beispielsweise in Form von Bedarfsintervallen, auf Konsistenz zur Produktdokumentation und zu einer Kapazitätssituation zu prüfen bzw. automatisch einzustellen, um erst im Anschluss einen Sekundärbedarfsplan abzuleiten.

4 Eine neue Methodik zur robusten Primär- und Sekundärbedarfsplanung

Mit der hier vorgeschlagenen Methodik ist eine deutlich bessere und robuste Planung des Primär- und Sekundärbedarfs durch eine vollständige Integration der Produktdokumentation (Einbauregeln der Stückliste, Baubarkeits- und Zusteuerregeln der Produktübersicht) möglich. Auf der Primärbedarfsebene wird es den planenden Bereichen zum Einen ermöglicht werden, zukünftige Verbauquoten für Sonderausstattungsmerkmale in Form von Bedarfsbandbreiten vorzugeben. Zum Anderen besteht die Option, einen stückzahlintervallbasierten Basistypenmix in die Planung aufzunehmen und a priori einen quantifizierten Flexibilitätsbedarf in die weiteren Planungen integrieren zu können. Da in der Praxis nicht vorausgesetzt werden kann, dass sich Primärbedarfsprognosen variantenreicher Produkte im Allgemeinen konsistent zur komplexen Produktübersicht und einer gegebenen Kapazitätssituation verhalten, wird mit dieser Arbeit eine Methodik bereitgestellt, die eine intervallbasierte Prognose prüft und ggf. konsistent zur Produktübersicht und Kapazitätsengpässen für kritische Bauteile "richtet". Die Arbeit entwickelt hierzu einen optimierungsbasierten Berechnungsansatz, der die komplexen Abhängigkeits-

beziehungen der Merkmale untereinander berücksichtigt und außerdem nicht explizit prognostizierte Häufigkeiten der Sonderausstattungsmerkmale in Abhängigkeit dieses Wissens sowie der Primärbedarfsprognose gezielt einschränkt. Zur Beschreibung des zulässigen Lösungsraums werden die logischen Regeln mit Hilfe einer neuen Intervallarithmetik algebraisiert, welche die Kombinierbarkeit der Merkmale berücksichtigt und nicht wie ein bestehender Intervallplanungsansatz (STÄBLEIN 2008) von logischer Unabhängigkeit der Merkmale ausgeht. Dadurch wird das Kombinationswissen der Produktübersicht noch effektiver genutzt und die Berechnung eines konsistenten Primärbedarfsplans ermöglicht und gewährleistet. Der beschriebene erste Methodenbestandteil ist in Abbildung 1 dargestellt.

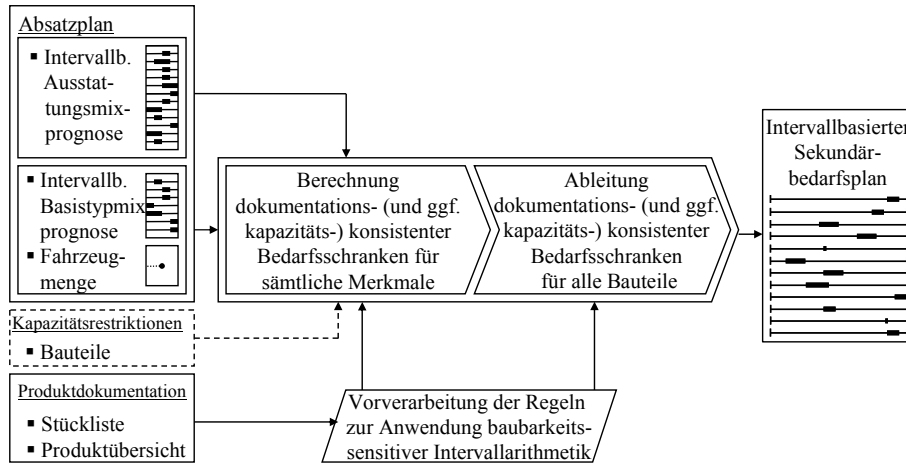


Abbildung 1: Grundarchitektur des Gesamtverfahrens im Überblick

Aufbauend auf dem Verfahrensschritt zur Herstellung eines konsistenten Primärbedarfsplans widmet sich der zweite Methodenbestandteil der Transformation des errechneten intervallbasierten Primärbedarfsplans in einen korrespondierenden Sekundärbedarfsplan. Der entwickelte Verfahrensschritt bestimmt zuerst das relative Bedarfsintervall einer jeden Positionsvariante aus den konsistent zur Produktübersicht berechneten Verbrauchquotenhäufigkeiten für sämtliche Codes, indem auf die zum Teil hochkomplexen logischen Einbauregeln der Stückliste ebenfalls die neu entwickelte Intervallarithmetik angewendet wird. In einem finalen Berechnungsschritt erfolgt die Aggregation der absoluten Positionsvariantenbandbreiten zu Bauteilbedarfsintervallen. Zur effektiven Bedarfsbestimmung der physischen Bauteile wird ein entsprechendes Optimierungsmodell aufgebaut.

Das entwickelte Gesamtverfahren bietet erstmalig die Möglichkeit, die Nachfragevolatilität komplexer und variantenreicher Serienprodukte durch intervallbasierte Primärbedarfsprognosen auf Produktebene abzubilden, zur Produktdokumentation konsistent einzustellen und in Sekundärbedarfsbereiche umrechnen zu können. Dadurch wird eine entscheidende Datengrundlage zur robusten und flexiblen Fabrik- und Prozessplanung in der gesamten Wertschöpfungskette eines Herstellers von komplexen und variantenreichen Produkten geschaffen.

5 Anwendung und Ergebnisvergleich mit einem existierenden Bedarfsplanungsansatz

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit der entwickelten Methodik wird ein Vergleichsszenario skizziert. Auf Grundlage eines intervallbasierten Primärbedarfsplans soll ein Sekundärbedarfsplan mit dem entwickelten Ansatz sowie mit einem bestehenden Intervallplanungsansatz berechnet werden. Dieses Szenario soll bei identischen, also konsistenten Planungsprämissen mit einem Spannweitenvergleich der berechneten Sekundärbedarfspläne die Effektivität der entwickelten Berechnungsmethodik herausstellen. Für dieses Testszenario wurde eine repräsentative Fahrzeugunterbaureihe eines deutschen Automobilherstellers herangezogen. Um "Chancengleichheit" bei der Ableitung des Sekundärbedarfsplans zu gewährleisten, wurden dem bestehenden Intervallplanungsansatz die mit der neuen Methodik berechneten dokumentationskonsistenten Verbauquoten für kundenwählbare Codes zugeführt (traditionell werden diese mit anderen, nicht zwangsläufig zur Produktübersicht konsistenten Verfahren prognostiziert, s.o.). Für die Berechnung wurde von keinem vorliegenden Kapazitätsengpass für eine Ressource ausgegangen. Die somit identischen Planungsprämissen beschränken sich jedoch nur auf die Verbauquoten der kundenwählbaren Merkmalausprägungen. Eine Zuführung der berechneten Verbauquoten für nicht prognostizierte Codes für den bestehenden Ansatz erfolgte nicht.

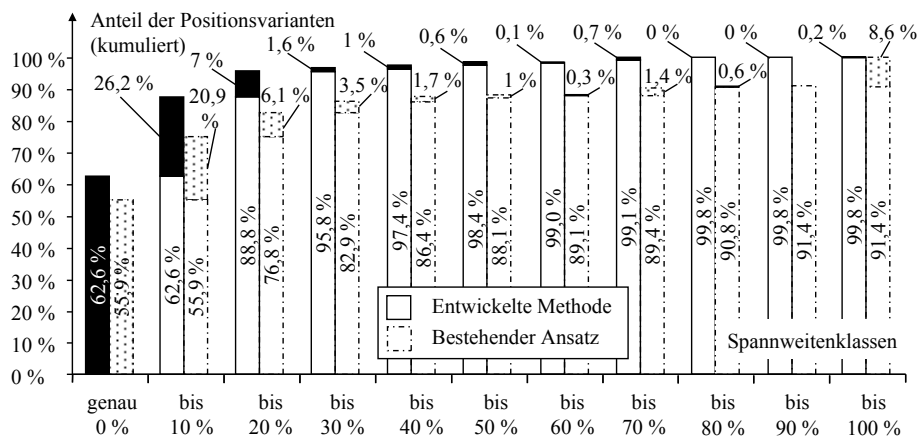


Abbildung 2: Vergleich bei konsistenten Verbauquoten für wählbare Optionen

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Berechnung des Sekundärbedarfsplans jeweils nach dem bestehenden Intervallplanungsansatz (BIPA) und der hier entwickelten Methodik zur robusten und konsistenten Bedarfsplanung (MKIB) festgehalten. An der Abszisse ist die jeweilige relative Intervallspannweite bezogen auf die geplante Fahrzeugmenge aufgetragen, d. h. die Differenz zwischen Ober- und Unterschranke. Alle Spannweiten mit einem höheren Wert als 0 % werden in 10 %-Klassen aufgeteilt. Die Ordinate zeigt den jeweiligen kumulierten Anteil der Bauteile an der jeweiligen Spannweitenklasse.

Die Darstellung zeigt für das hier gewählte Szenario folgendes Ergebnis: mit dem bestehenden Intervallplanungsansatz lässt sich eine durchschnittliche Spannweite

von 14,1 % pro Bauteil errechnen. Durch die Berechnung der Verbauquoten nicht prognostizierter Codes und durch die Anwendung der neu entwickelten Arithmetik auf die Einbauregeln der Stückliste ist es hingegen möglich, eine durchschnittliche Spannweite von 4,1 % zu gewährleisten. Bei konsistenten Planungsprämissen konnte für die ausgewählte Fahrzeugunterbaureihe mit der entwickelten Methodik eine Spannweitenreduzierung um mehr als den Faktor 3 gegenüber der bisher verfügbaren Berechnungsmöglichkeit in diesem Szenario erzielt werden.

6 Zusammenfassung

Premium-Automobilhersteller begegnen der zunehmenden Marktsättigung mit einem immer differenzierteren Produktportfolio und versuchen potentiellen Kunden bei stetig abnehmenden Lieferzeiten ein Höchstmaß an Individualisierbarkeit ihres zukünftigen Fahrzeugs zu bieten. Die Gewährleistung dieser "Build-to-Order"-Fertigung eines variantenreichen Produkts zu marktakzeptierten Lieferzeiten gelingt den Herstellern jedoch nur dann kosteneffektiv, wenn das Zuliefernetzwerk nach dem Prinzip "Build-to-Forecast" auf Basis eines Produktionsprogramms in produktive Vorleistung geht und dabei in der Lage ist, flexibel auf Nachfrageschwankungen reagieren zu können. Der Bedarfsplanung der OEM kommt angesichts der stetig voranschreitenden Auslagerung von Wertschöpfungsumfängen sowie der Tatsache, dass auf Basis zukünftiger Bedarfsinformationen Produktionskapazitäten und -flexibilitäten digital geplant und eingerichtet werden müssen, eine immer größere Bedeutung und Kostenwirkung zu. Gleichzeitig mangelt es jedoch zur robusten Planung des zukünftigen Bedarfs variantenreicher Serienprodukte an geeigneten Methoden. Im mittelfristigen Horizont werden Planungssysteme eingesetzt, die einen prognostizierten Primärbedarf nur "scheingenau", also als fixen Punktbedarf, verarbeiten können und diesen außerdem unzureichend bzw. inkonsistent zur Produktübersicht in die Sekundärbedarfsebene abbilden.

In diesem Beitrag wird deshalb ein neues Verfahren zur robusten Bedarfsplanung von variantenreichen Serienprodukten vorgestellt. Auf der Primärbedarfsebene soll es den planenden Bereichen ermöglicht werden, zukünftige Verbauquoten für Sonderausstattungsmerkmale in Form von Bedarfsbandbreiten vorzugeben und a priori einen Flexibilitätsbedarf in die weiteren Planungen aufnehmen zu können. Da in der Praxis nicht vorausgesetzt werden kann, dass sich Primärbedarfsprognosen variantenreicher Produkte im Generellen konsistent zur komplexen Produktdokumentation verhalten, ist es unabdingbar eine Methodik bereitzustellen, die eine intervallbasierte Prognose prüft und ggf. konsistent zur komplexen Produktdokumentation "richtet". Der Beitrag zeigt hierzu einen optimierungsbasierten Berechnungsansatz, der die komplexen Abhängigkeitsbeziehungen der Merkmale untereinander berücksichtigt und außerdem nicht explizit prognostizierte Merkmalshäufigkeiten in Abhängigkeit dieses Wissens sowie der Primärbedarfsprognose einschränkt. Es resultiert ein intervallbasierter Primärbedarfsplan, der sich konsistent zur Produktdokumentation verhält.

Der zweite Methodenbestandteil widmet sich der Transformation des intervallbasierten Primärbedarfsplans in einen korrespondierenden Sekundärbedarfsplan. Der entwickelte Verfahrensschritt berücksichtigt hierbei die zum Teil hochkomplexen logischen Einbauregeln der Stückliste und bestimmt ein möglichst kleines Bedarfs-

intervall einer jeden Sachnummer. Das in diesem Beitrag vorgestellte Gesamtverfahren bietet somit im variantenreichen Umfeld erstmalig die Möglichkeit, intervallbasierte Primärbedarfsprognosen auf Merkmalsebene vorzugeben und in Bedarfsbereiche in der Teileebene umrechnen zu können, wodurch eine entscheidende Datengrundlage zur robusten Fabrik- und Prozessplanung in der gesamten Wertschöpfungskette geschaffen wird.

Literatur

- AGRAWAL, MANI; KUMARESH, T. V; MERCER, GLENN: The false promise of Mass Customization. In: McKinsey Quarterly, New York, 38(2001)3, S. 62-71.
- DICKERSBACH, THOMAS: Characteristic Based Planning with mySAP SCM: Scenarios, Processes and Functions. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- HOLTZE, PETER: Data Mining in der Bedarfsprognose von Komponenten und Teilen. Clausthal: Dissertation, Technische Universität Clausthal, 2000.
- HUANG, GEORGE; LAU, JASON; MAK, L. K.: The Impacts of Sharing Production Information on Supply Chain Dynamics. In: International Journal of Production Research, London, 41(2003)7, S. 1483-1517.
- MEYR, HERBERT: Supply Chain Planning in the German Automotive Industry. In: OR Spektrum, Berlin, 26(2004)4, S. 447-470.
- OHL, STEFAN: Prognose und Planung variantenreicher Produkte am Beispiel der Automobilindustrie. Karlsruhe: Dissertation, Universität Karlsruhe, 2000.
- SINZ, CARSTEN: Verifikation regelbasierter Konfigurationssysteme. Tübingen: Dissertation, Universität Tübingen, 2004.
- STÄBLEIN, THOMAS: Integrierte Planung des Materialbedarfs bei kundenauftragsorientierter Fertigung von komplexen und variantenreichen Serienprodukten. Clausthal: Dissertation, Technische Universität Clausthal, 2008.
- STÄBLEIN, THOMAS; SCHÜTTE, ANDREAS; BRACHT, UWE: Integrierte Planung der mittelfristigen Komponenten- und Teilebedarfe für variantenreiche Serienprodukte. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, München, 103(2008)3, S. 126-132.
- VDA - Dynamik in automobilen Supply Chain-Systemen - Treiber, Auswirkungen, Stellhebel. <http://www.vda.de/de/downloads/485/>, Stand: 02.12.2009. (=2008a)
- VDA 5009: Forecast-Qualitätskennzahl: Definition und Anwendung. November 2008. <http://www.vda.de/de/downloads/503/?PHPSESSID=9og1qei7leo92g7mooop26jeur0>, Stand: 02.12.2009. (=2008b)
- VOLLMANN, THOMAS; BERRY, WILLIAM.; WHYBARK, CLAY: Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management. New York: McGraw-Hill, 2005.