

# Manufacturing Execution Systems/ Advanced Planning and Scheduling Systems

## Teil 1: Grundlagen einer Systemauswahl

Ronny-Alexander Koch, Capgemini Deutschland GmbH, Thomas Rücker, Herfried M. Schneider, IPOL – Institut für Produktionsorganisation und Logistik GmbH Ilmenau und Sören Stodt, Hella GmbH & Co. KGaA

Spezielle Softwaresysteme zur Produktionsfeinplanung – Manufacturing Execution Systems oder Advanced Planning & Scheduling Systems – unterstützen die operative Produktionsplanung und -steuerung in Industriebetrieben. Die Vielzahl der am Markt angebotenen Systeme macht einen fundierten Auswahlprozess von der Anforderungserhebung bis zur Endauswahl notwendig. Ein umfassendes Modell, das diesen Prozess systematisch unterstützt und vereinfacht, ist Gegenstand des folgenden Beitrags. Die Methodik geht über eine fragebogenbasierte Abfrage hinaus und überprüft die Systemfähigkeiten mithilfe von strukturierten Fallstudien. Der erste Teil des Beitrags beschreibt die Prozessschritte von der Erhebung der Anforderungen an das System bis zu deren Strukturierung in einem Anforderungskatalog.

Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 [1, 2] – die ganzheitliche Vernetzung der Ressourcen innerhalb einer Fabrik sowie die Integration aller am Wertschöpfungsprozess beteiligten Partner – ist für Industrieunternehmen Chance und Herausforderung zugleich. Eine umfassende Vernetzung über alle Ebenen der Wertschöpfungskette soll effiziente Prozessabläufe gewährleisten und Medienbrüche sowie dadurch verursachte Verzögerungen, Qualitätsmängel und Fehler vermeiden. Unterstützt durch Softwaresysteme werden optimale Planungen und somit eine Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit [1] angestrebt. Besonders Potenzial zur Verbesserung der Planung in Industrieunternehmen findet sich in der Feinplanung, d. h. in der Verfeinerung der Grobplanung auf operativer Ebene unter Berücksichtigung prozessnaher Einflussfaktoren und des im kurzfristigen Zeithorizont erwarteten Zustands des betreffenden Produktionssystems [3].

Fortgeschrittene Planungssysteme – in der Praxis als Manufacturing Execution Systems (MES) oder Advanced Planning and Scheduling Systems (APS Systems) bezeichnet – zielen mit ihrer Planungsphilosophie mithilfe von Algorithmen und Heuristiken auf eine Optimierung der Feinplanung unter Berücksichtigung aller bestehenden Restriktionen.

Die Entscheidung zur Auswahl eines für das Produktionssystem geeigneten APS-Systems sollte

aufgrund der hohen Investitionsaufwendungen und der langfristigen Wirksamkeit der Entscheidung gut abgewogen werden.

Durch die große Anzahl der auf dem Markt angebotenen Systeme [4] mit teilweise sehr unterschiedlichen Funktionsumfängen und Lösungsansätzen, mit unterschiedlichen Leistungsbeschreibungen der Systemanbieter, gestaltet sich der Auswahlprozess jedoch aufwändig. Marktübersichten [5] gestatten einen ersten Überblick zu Anbietern, unterstützten Aufgabenbereichen und Referenzen sowie zur Anzahl bisheriger Installationen. Für eine konkrete Systemauswahl – bspw. für ein Unternehmen mittlerer Größe – sind darüberhinausgehende Informationen für eine Investitionsentscheidung notwendig.

Der Beitrag beschreibt den Auswahlprozess von MES und APS-Systemen im Hinblick auf die werksinterne Feinplanung und soll insbesondere Unternehmen mittlerer Größe bei der Auswahlentscheidung systematisch unterstützen.

Als erster Teil dieses Auswahlprozesses wird eine Methodik zur Klassifikation des vorliegenden Produktionssystems, zur Anforderungserhebung und zur Erstellung eines Anforderungskatalogs vorgestellt (Bild 1).

### Special Software Systems for Detailed Production Planning – MES or APS Systems – Support the Operative Production Planning and Control in Industrial Plants.

The large number of systems offered on the market makes a well-founded selection process from requirement collection to final selection necessary. A comprehensive model that systematically supports and simplifies this process is the subject of the following article. The methodology goes beyond a questionnaire-based query and validates system capabilities using structured case studies. The first part of the article describes the process steps from the survey of the requirements of the system to their structuring in customer specifications. The second part of the system selection process is described in detail in the second part of the article.

#### Keywords:

manufacturing execution systems (MES), advanced planning and scheduling (APS), production planning, production fine planning, system selection, customer specifications

M. Sc. Ronny-Alexander Koch ist Unternehmensberater im Bereich Business Technology Consulting bei der Capgemini Deutschland GmbH.

Dr. rer. pol. Thomas Rücker ist Geschäftsführer der IPOL – Institut für Produktionsorganisation und Logistik GmbH Ilmenau.

Prof. em. Dr. oec. habil. Herfried M. Schneider ist wissenschaftlicher Direktor der IPOL – Institut für Produktionsorganisation und Logistik GmbH Ilmenau.

M. Sc. Sören Stodt ist Projektmanager im Bereich Operations Strategy beim Automobilzulieferer Hella GmbH & Co. KGaA.

herfried.schneider@ipol.eu  
www.ipol.eu

Im darauf aufbauenden zweiten Teil des Beitrags wird eine Methodik zur Überprüfung und Bewertung der Systemfähigkeiten beschrieben. In vergleichbaren Quellen [6], die einen Systemauswahlprozess darstellen, verläuft die Überprüfung der Systemfähigkeiten im Rahmen der Feinauswahl meist fragebogenbasiert, ohne anschließende Verifizierung der Anbieterangaben. Die hier vorgestellte Methodik geht mithilfe strukturierter Fallstudien über eine ausschließlich fragebogenbasierte Abfrage von Anforderungen hinaus.

### Produktionsfeinplanung

Die Produktionsfeinplanung generiert, aufbauend auf den Vorgaben einer Produktionsplanung der übergeordneten Ebenen (u. a. Programmplanung, Bedarfsauflösung), detaillierte Produktionspläne für einen kurzen Zeithorizont (Minuten, Stunden, Tage) unter Berücksichtigung aktuellster Informationen aus dem operativen Produktionsbetrieb. Sie nutzt dazu die Informationen aus den Stammdaten der ERP-/PPS-Systeme. Als Schwerpunkte der Feinplanung gelten das Sequencing und das Scheduling der Produktionsaufträge mit den dazugehörigen exakten Liefer- bzw. Fertigstellungsterminen, ggf. minutengenauen Auftragsreihenfolgen auf den benötigten Ressourcen mit den entsprechenden Personalbedarfen. Als Ergebnis der Feinplanung wird eine detaillierte Produktionssequenz für eine definierte Planperiode ausgegeben, die in der Realität auch umsetzbar ist. Dazu muss die Feinplanung alle Besonderheiten eines Produktionssystems, insbesondere die den Lösungsraum einschränkende Restriktionen, berücksichtigen können.

### Advanced Planning and Scheduling Systems

Advanced Planning and Scheduling Systems haben ihren Ursprung im Supply Chain Management (SCM). Die Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme (PPS-Systeme), die meist in ERP-Systeme integriert sind und häufig nach dem MRPII-Konzept planen, kommen vielen Ansprüchen in Bezug auf das SCM – insbesondere vor dem Hintergrund einer unternehmensübergreifenden Planung und Zusammenarbeit – nicht nach [7-9]. So ist bspw. eine schnelle Neuplanung bei Änderungen in der Supply Chain – aufgrund eines notwendigen Batchlaufs – oder die verbindliche Zusage möglicher Liefertermine unter Berücksichtigung aller notwendigen

Restriktionen, die in einem Produktionssystem vorliegen, nicht möglich [9]. Vor diesem Hintergrund und befähigt durch leistungsfähige Informations- und Kommunikationstechnologie mit elektronischem Datenaustausch (EDI) über das Internet wurden APS-Systeme in den 1990er Jahren entwickelt, die mit fortgeschrittenen mathematischen Methoden die Anforderungen an die Planung erfüllen sollten [9].

In Bild 1 ist der Prozess zur Auswahl eines Produktionsfeinplanungssystems dargestellt, der in dieser Form im Rahmen einer Studie mit acht Industrieunternehmen unterschiedlicher Branchen und mit acht Systemanbietern verifiziert wurde und der im Folgenden näher beschrieben wird.

### Klassifikation eines Produktionssystems

Den ersten Ansatzpunkt zur Erhebung von Anforderungen an ein Feinplanungssystem liefert das jeweilige Produktionssystem, das maßgeblich durch die Branche beeinflusst wird, in der das betreffende Unternehmen tätig ist. Es lässt sich anhand von Merkmalen und Merkmalsausprägungen charakterisieren. Sechs Merkmale, davon drei Leitmerkmale [10], die vornehmlich der Typisierung des Produktionssystems dienen, sind grundlegend für die Ableitung der Anforderungen [11, 12]. Die sechs Merkmale mit ihren Ausprägungen sind in Bild 2 in einem morphologischen Kasten dargestellt.

### Ermittlung der Anforderungen an MES/APS-Systeme

Die Einordnung des vorliegenden Produktionssystems in die dargestellte Typologie (Bild 2) ist eine notwendige Voraussetzung zur Ermittlung der Anforderungen an ein Feinplanungssystem. In die Ermittlung der unternehmensspezifischen Anforderungen aus den Merkmalsausprägungen sind zweckmäßigerweise Experten einzubeziehen, denen die Eigenheiten der Feinplanung des jeweiligen Unternehmens bekannt sind.

Zudem sollten Anforderungen, die nicht unmittelbar auf eine spezifische Ausprägung des Produktionssystems zurückzuführen sind, erfasst werden. Dabei lässt sich zwischen aufgabenorientierten Anforderungen, wie bspw. „Unterstützung von flexiblen Schichtplänen“, und ergänzenden Anforderungen, wie z. B. „Auswertung von Belegungsplänen mittels Kennzahlen“, unterscheiden.

Im Folgenden sind die oben genannten sechs Leitmerkmale kurz beschrieben. Zusätzlich wird zu jedem Merkmal eine exemplarisch abgeleitete Anforderung dargestellt, um die Auswirkungen

**Bild 1: Übersicht Auswahlprozess.**



der möglichen Ausprägungen auf die notwendige Funktionalität eines Feinplanungssystems hervorzuheben.

**Auftragsauslösungsart:** Die Auftragsauslösungsart determiniert die Beziehung zwischen dem Absatzmarkt und dem Produktionssystem und beschreibt, wie der Primärbedarf ausgelöst wird: mithilfe von Absatzprognosen (Lageraufträge) oder durch Kundenaufträge. Letztere können durch das Kriterium der Lieferbeziehung weiter in Einzelaufträge und langfristige Rahmenverträge differenziert werden. Exemplarische Anforderung zur Merkmalsausprägung „langfristige Rahmenverträge“: Das System muss vertraglich vereinbarte Strafzahlungen im Falle von versäumten Lieferterminen (Bandabriss) bei der Auftragsreihenfolgeplanung berücksichtigen können.

**Fertigungsauftragsgröße:** Die Fertigungsauftragsgröße bezieht sich direkt auf das geplante Produktionsprogramm und drückt die Art der Leistungswiederholung aus: Einzelfertigung, Sorten- und Serienfertigung oder Massenfertigung. Exemplarische Anforderung zur Merkmalsausprägung „Sorten- und Serienfertigung“: Das System muss reihenfolgeabhängige Rüstzeiten je Ressource abbilden und einplanen können.

**Organisationsform der Fertigung:** In Falle diskreter Produktionssysteme sind die zwei Anordnungsprinzipien Objekt- und Verrichtungsprinzip relevant. Aus diesen lassen sich die Fließfertigung und die Werkstattfertigung sowie die kombinierte Form der Gruppenfertigung ableiten. Exemplarische Anforderung zur Merkmalsausprägung „Werkstattfertigung“: Das System muss bei der Planung thermotechnischer Systeme (bspw. Planung eines Ofen) die notwendigen Liegezeiten zum Auskühlen berücksichtigen können.

**Ressourcensubstituierbarkeit:** Für die Herstellung eines Produkts kann eine Ressource oder können mehrere gleiche bzw. unterschiedliche Ressourcen zur Verfügung stehen, die jeweils untereinander substituiert werden können. Exemplarische Anforderung zur Merkmalsausprägung „substituierbar“: Das System muss unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten von Werkzeugen für ein gleiches Enderzeugnis berücksichtigen können.

**Variabilität der Reihenfolge:** Die Variabilität kann durch eine technologische Zwangsfolge determiniert sein. Die Arbeitsgangfolge ist dann nicht variabel. Sind mehrere Arbeitsgangreihenfolgen organisatorisch denkbar (z. B. A-B-C oder C-A-B), ist die Reihenfolge variabel.

Merkmalsausprägung	Merkmalsausprägung		
Betriebsauftragsauslösungsart	Kundenaufträge in Form von Einzelbestellungen	Kundenaufträge auf der Basis von Rahmenverträgen	Lageraufträge
Fertigungsauftragsgröße	Einzelfertigung	Sorten- / Serienfertigung	Massenfertigung
Organisationsform der Fertigung	Werkstattfertigung	Gruppenfertigung	Fließfertigung
Betriebsmittel- und Prozesssubstituierbarkeit	nicht substituierbar		substituierbar
Variabilität der Ablauffolge	nicht variabel		variabel
Spezialisierungsgrad der Ressourcen	niedrige Spezialisierung	mittlere Spezialisierung	hohe Spezialisierung

Exemplarische Anforderung zur Merkmalsausprägung „variabel“: Das System muss im Falle eines kurzfristigen Engpasses, unter Berücksichtigung der Auslastung des Produktionssystems und der bisher durchgeführten Arbeitsschritte, einen alternativen Arbeitsplan auswählen können.

**Spezialisierungsgrad von Ressourcen:** Der Spezialisierungsgrad bestimmt, wie flexibel sich Ressourcen für unterschiedliche Tätigkeiten einsetzen lassen. Hoch spezialisierte Ressourcen lassen sich lediglich für eine Tätigkeit, niedrig spezialisierte Ressourcen demgegenüber für unterschiedlichste Tätigkeiten einsetzen. Exemplarische Anforderung zur Merkmalsausprägung „niedrige Spezialisierung“: Das System muss Arbeitsschritte abbilden und planen können, bei denen in einem Zyklus verschiedenartige Erzeugnisse entstehen.

### Erstellung des Anforderungskatalogs

**Strukturierung der Anforderungen in Anforderungsbündel:** Für die Erstellung eines Anforderungskatalogs ist die Strukturierung der erhobenen Anforderung zu Anforderungsbündeln analog zu den Ausprägungsmerkmalen der Typisierungsmatrix sinnvoll. Zudem sollten jene Anforderungen, die sich nicht unmittelbar auf die Eigenschaften des betreffenden Produktionssystems beziehen, in aufgabenorientierte (Betriebsmittelplanung, Materialplanung, Personalplanung, Auftragsplanung) und ergänzende Anforderungsbündel (Auswertung, Visualisierung) strukturiert werden. Gleichzeitig ist es notwendig, die erhobenen Anforderungen eindeutig und unmissverständlich zu formulieren. Dabei können Beispiele zur Erklärung hilfreich sein.

**Gewichtung der Anforderungen:** Nach der Erhebung und Formulierung aller Anforderungen ist es sinnvoll, diese nach ihrer Relevanz zu priorisieren. Die folgenden Abstufungen führen zu einer ersten Priorisierung von Anforderungen.

- **Muss:** Das System ist ohne die Erfüllung dieser Anforderung nicht einsetzbar.

Bild 2: Typisierungsmatrix für Produktionssysteme.

- Soll: Das System ist ohne die Erfüllung dieser Anforderung weniger attraktiv. Die Soll-Anforderungen können in einem zusätzlichen Schritt mithilfe eines Gewichtungsfaktors weitergehend priorisiert werden.

*Definition der Erfüllungsmöglichkeiten von Anforderungen:* Neben der Erhebung der Anforderungen ist es notwendig, Möglichkeiten zu definieren, ob und wie Anforderungen erfüllt werden können. Bei Feinplanungssystemen existiert i. d. R. ein Spielraum zur Anpassung, um die Erfüllung einer Anforderung zu erreichen, die im Standardsystem nicht vorgesehen ist. Die Bandbreite reicht dabei von der Ergänzung einer Kennzahl (geringer Aufwand) bis hin zur Entwicklung einer Speziallösung (hoher Aufwand).

Die unterschiedlichen Möglichkeiten und Grade der Erfüllung von Anforderungen, ggf. durch eine Softwareanpassung, sollen deshalb durch eine weitere Differenzierung der Antwortmöglichkeit „Anforderung kann erfüllt/nicht erfüllt werden“ zum Ausdruck kommen. So wird zusätzlich zwischen einer möglichen Lösung im Standardsystem, die jedoch noch nicht bei einem Kunden implementiert wurde, und einer Lösung, die bereits im Rahmen eines Kundenprojekts realisiert wurde, unterschieden. Lösungen, die bereits in Projekten umgesetzt wurden, besitzen eine höhere Wahrscheinlichkeit der erfolgreichen Umsetzung als solche, die noch nicht bei einem Kunden realisiert wurden. Letztere waren bisher keinem Praxistest unterworfen und sind daher im Hinblick auf die Fallstudien besonders zu hinterfragen. Demnach ergibt sich das folgende Antwortschema für jede einzelne Anforderung.

Die Erfüllung einer Anforderung ist:

- derzeit nicht möglich.
- möglich, erfordert eine Softwareanpassung.
- möglich, noch nicht bei einem Kunden implementiert.
- möglich und bereits bei einem Kunden implementiert.

Zusätzlich zu diesen vier Antwortmöglichkeiten kann für jede Anforderung ein Kommentarfeld eingefügt werden, in dem Anmerkungen oder Rückfragen hinzugefügt werden können.

Der erstellte Anforderungskatalog bildet den Hauptbestandteil eines vollständigen Lastenheftes, mit dem ein Systemanbieter kontaktiert werden sollte. Zusätzlich zu Anforderungen an die Feinplanung – beschrieben im Anforderungskatalog – bietet es sich an, weitere Details und Anforderungen zu beschreiben. Die Normen VDI 2519 und VDI 3694 bieten einen Überblick über Inhalte und den möglichen Aufbau eines Lastenheftes. Im Folgenden sind bereits beispielhafte

Inhalte aufgelistet, die den erstellten Anforderungskatalog hin zu einem vollständigen Lastenheft ergänzen:

1. Vorstellung des Projekts
  - Wo soll die Software eingesetzt werden?
  - Was soll durch die Softwareeinführung erreicht werden?
  - Welche zeitliche Planung liegt dem Projekt zugrunde?
  - Wie ist die Projektorganisation?
2. Ist- und Soll-Prozess der Feinplanung
  - Wie läuft die Feinplanung aktuell ab?
  - Wie soll die Feinplanung nach der Softwareeinführung ablaufen?
3. Aktuelle Softwarelandschaft und Softwarearchitektur im Unternehmen
  - Welche Softwaresysteme sind derzeit im Einsatz?
  - Welche Informationen stellen die verschiedenen Systeme zur Verfügung?
  - Welche Schnittstellen zu bestehenden Systemen sind gewünscht?
4. Inbetriebnahme und Einsatz des Systems
  - Wie soll der Testbetrieb des Systems ablaufen?
  - Wie ist die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Softwareanbieter während der Inbetriebnahme und darüber hinaus vorgesehen?

Ausblick: Grundlagen einer Systemauswahl – Der Feinauswahlprozess

Die in einem Anforderungskatalog erfassten und strukturierten Anforderungen bilden den Ausgangspunkt für den zweiten Teil des Systemauswahlprozesses, der die Evaluierung der Fähigkeiten unterschiedlicher Feinplanungssysteme mit anschließender Systemauswahl umfasst (Bild 1). Mithilfe eines Marktüberblicks [5] kann eine Grobauswahl potenzieller Feinplanungssysteme vorgenommen werden. Die in die engere Wahl einbezogenen Systeme sind danach auf der Grundlage des Anforderungskatalogs und einer Demonstration der Fähigkeiten im Rahmen einer Fallstudie in einem Modell zu bewerten. Diese Bewertung erzeugt Transparenz, in welchem Umfang die Systeme – auch im Vergleich untereinander – die Unternehmensanforderungen erfüllen, sodass darauf aufbauend eine weitere Systemeingrenzung (Feinauswahl von zwei bis drei Systemen) vorgenommen werden kann. Dieser Teil des Systemauswahlprozesses wird im zweiten Teil des Beitrags näher beschrieben.

Schlüsselwörter:

Manufacturing Execution Systems (MES), Advanced Planning and Scheduling (APS), Produktionsplanung, Produktionsfeinplanung, Systemauswahl, Lastenheft

Literatur

[1] Bischoff, J. (Hrsg): Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Mülheim an der Ruhr 2015.

[2] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Studie, Stuttgart 2013.

[3] Richtlinie VDI-5600: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems -MES), Blatt 2: Wirtschaftlichkeit. Düsseldorf 2013.

[4] Wochinger, T.; Kluth, A.; Kipp, R.: Marktspiegel Business Software – MES-Fertigungssteuerung 2015/2016. Aachen Stuttgart 2015.

[5] Theuer, H.: Marktüberblick: Schlanke MES. In: productivity 22 (2017) 2, S. 41-57.

[6] Kilger, C.; Wetterauer, U.: Der Auswahlprozess. In: Stadler, H.; Kilger, C.; Meyr, H. (Hrsg.): Supply Chain Management und Advanced Planning – Konzepte, Modelle und Software, Berlin Heidelberg 2010, S. 357-372.

[7] Fleischmann, B.; Meyr, H.; Wagner, M.: Advanced Planning. In: Stadler, H.; Kilger, C.; Meyr, H. (Hrsg.): Supply Chain Management und Advanced Planning – Konzepte, Modelle und Software. Berlin Heidelberg 2010, S. 89-122.

[8] Corsten, H.; Gössinger, R.: Einführung in das Supply Chain Management. München Wien 2001.

[9] Buzacott, J.; Corsten, H.; Gössinger, R.; Schneider, H. M.: Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Konzepte und integrative Entwicklungen. München 2010.

[10] Hahn, D.: Produktionsverfahren (Produktionstypen). In: Grochla, E.; Wittmann, W. (Hrsg): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. Band 2, 4. Aufl. Stuttgart 1975.

[11] Große-Oetringhaus, W. F.: Fertigungstypologie unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsablaufplanung. Berlin 1974.

[12] Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V.: PPS – Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Konzepte, Anwendungen, 2. Aufl. Wiesbaden 1992.

# Auswahl von Manufacturing Execution Systems/Advanced Planning and Scheduling Systems

Teil 2: Grundlagen einer Systemauswahl – vom Anforderungskatalog zur Feinauswahl

Ronny-Alexander Koch, Caggemini Deutschland GmbH, Thomas Rücker, Herfried M. Schneider, IPOL – Institut für Produktionsorganisation und Logistik GmbH Ilmenau und Sören Stodt, Hella GmbH & Co. KGaA

Spezielle Softwaresysteme zur Produktions-Feinplanung – Manufacturing Execution Systems oder Advanced Planning & Scheduling Systems – unterstützen die operative Produktionsplanung und -steuerung in Industriebetrieben. Die Vielzahl der am Markt angebotenen Systeme macht einen fundierten Auswahlprozess von der Anforderungserhebung bis zur Endauswahl notwendig. Ein umfassendes Modell, das diesen Prozess systematisch unterstützt und vereinfacht, ist Gegenstand des folgenden Beitrags. Die Methodik geht über eine fragebogenbasierte Abfrage hinaus und überprüft die Systemfähigkeiten mithilfe von strukturierten Fallstudien. Im ersten Teil des Beitrags [1] wurden die Prozessschritte von der Erhebung der Anforderungen an das System bis zu deren Strukturierung in einem Anforderungskatalog beschrieben. Der nachfolgende zweite Teil umreißt die Prozessschritte von der System-Grobauswahl bis hin zur System-Feinauswahl.

Im ersten Teil des Beitrags [1] wurde eine Methodik zur Klassifikation des jeweiligen Produktionssystems, zur Anforderungserhebung und zur Erstellung eines Anforderungskatalogs vorgestellt. Der vorliegende zweite Teil beschreibt darauf aufbauend eine Methodik zur Überprüfung und objektiven Bewertung der Systemfähigkeiten mit anschließender System-Feinauswahl. Durch die Nutzung der hier vorgestellten Methodik werden in überschaubarer Zeit die Voraussetzungen und Fähigkeiten für das komplexe Bewertungs- und Entscheidungsproblem zur Auswahl eines Feinplanungssystems geschaffen. Dabei kann auf die im Beitrag dargestellten Werkzeuge zurückgegriffen werden. Diese umfassen u. a. den Leitfaden für die Live-Demonstrationen, das mathematische Bewertungsmodell, das auf die Erfüllung von Softwareanforderungen zugeschnitten ist, und die weiteren praktischen Handlungsempfehlungen für die Schattenplanung und die Referenzkundenbesuche.

Die Methodik ist in den Auswahlprozess, der bereits im ersten Teil des Beitrags vorgestellt wurde, integriert und umfasst die Schritte von der Grobauswahl bis hin zur Auswertung der Ergebnisse und Feinauswahl (Bild 1).

## Grobenauswahl

Die auf dem Anforderungskatalog basierende Grobauswahl muss die Vielzahl angebotener Softwaresysteme auf eine überschaubare Anzahl reduzieren. Für einen ersten Überblick bieten sich die periodisch veröffentlichten Marktspiegel bzw. Marktübersichten [2] mit ihren summarischen Angaben zum Funktionsumfang der Systeme an. Für die Feinplanung sind vor allem die folgenden drei Funktionsbereiche relevant, die wiederum jeweils mehrere Einzelanforderungen abdecken:

- Personaleinsatzplanung
- Produktionsplanung
- Produktionssteuerung

Aufgrund des Abstraktionsgrades von Marktspiegeln ist i. d. R. nicht erkennbar, in welcher Qualität Einzelanforderungen durch die Systemfunktionalität erfüllt werden.

Für die Grobauswahl lässt sich vorerst die Anforderungserfüllung mit 1 oder 0 – erfüllt/nicht

## Special Software Systems for Detailed Production Planning MES or APS Systems – Support the Operational Production Planning and Control in Industrial Companies

The large number of systems offered on the market makes a well-founded selection process necessary from the requirement survey to the final system selection. A comprehensive model that systematically supports and simplifies this process is the subject of this two-part article. The methodology goes beyond a questionnaire-based query and verifies system capabilities using structured case studies. The first part of the article [1] describes the process steps from the survey and collection of requirements of the customer to the system to their structuring in customer specifications. The present second part outlines the process steps of the system rough selection up to its fine selection. The individual selection steps are methodically supported by practical references as well as by the use of concrete tools. Using the described methodology selected systems can be objectively compared – a prerequisite for effective and efficient system selection for industrial companies.

### Keywords:

Manufacturing Execution Systems (MES), Advanced Planning and Scheduling (APS), production planning, production fine planning, system selection, customer specifications

M. Sc. Ronny-Alexander Koch ist Unternehmensberater im Bereich Business Technology Consulting bei der Caggemini Deutschland GmbH.

Dr. rer. pol. Thomas Rücker ist Geschäftsführer der IPOL – Institut für Produktionsorganisation und Logistik GmbH Ilmenau.

Prof. Dr. oec. habil. Herfried M. Schneider ist Wissenschaftlicher Direktor der IPOL – Institut für Produktionsorganisation und Logistik GmbH Ilmenau.

M. Sc. Sören Stodt ist Projektmanager im Bereich Operations Strategy beim Automobilzulieferer Hella GmbH & Co. KGaA

herfried.schneider@ipol.eu  
www.ipol.eu

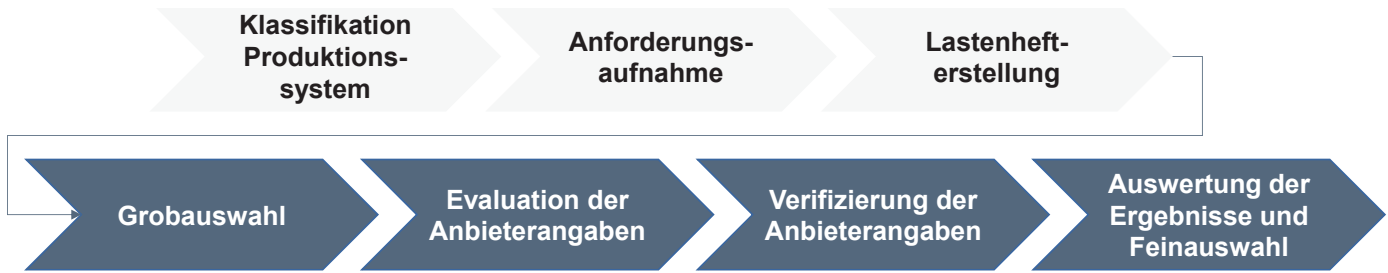


Bild 1: Übersicht Auswahlprozess.

erfüllt – bewerten. Mithilfe der Summe der Bewertungen innerhalb der relevanten Funktionsbereiche kann nunmehr eine Rangfolge der Systemanbieter hinsichtlich der Anforderungserfüllung gebildet werden. Die zwölf bis fünfzehn Anbieter, die nach eigenen Angaben die meisten Anforderungen erfüllen können, werden in den weiterführenden Auswahlprozess einbezogen.

### Evaluation der Anbieterangaben

Zur Vertiefung dieser Grobauswahl ist eine Beurteilung der Qualität der Anforderungserfüllung erforderlich. Dazu werden die in die weitere Analyse einbezogenen Systemanbieter gebeten, den Erfüllungsgrad einer jeden Anforderung mittels vier Bewertungsmöglichkeiten zu definieren.

Jede Anforderung  $i$  (Laufvariable für Anforderungen des Anforderungskatalogs) wird mit einer Punktzahl ( $w$ ) bewertet:

- Die Erfüllung einer Anforderung  $i$  ist
1. derzeit nicht möglich. ( $w_i=0$  Punkte)
  2. möglich, erfordert eine Softwareanpassung. ( $w_i=1$  Punkt)
  3. möglich, noch nicht bei einem Kunden implementiert. ( $w_i=3$  Punkte)
  4. möglich und bereits bei einem Kunden implementiert. ( $w_i=3$  Punkte)

Die Bewertungsmöglichkeiten drei und vier sind trotz gleicher Punktzahl voneinander zu

differenzieren. Anforderungen, die mit dem Erfüllungsgrad drei bewertet wurden, sollten im Rahmen der Fallstudie näher untersucht werden, da deren Erfüllung in der Praxis noch nicht erprobt wurde.

Die Bewertung aller angegebenen Erfüllungsgrade im Anforderungskatalog für alle ausgewählten Systemanbieter schließt den ersten Teil der Bewertung ab.

Da der Erfüllungsgrad zu einer Anforderung im Lastenheft von System zu System variiert, wird die Variable  $w_i$  im Folgenden um einen Systemindex  $s$  auf  $w_i^s$  erweitert.

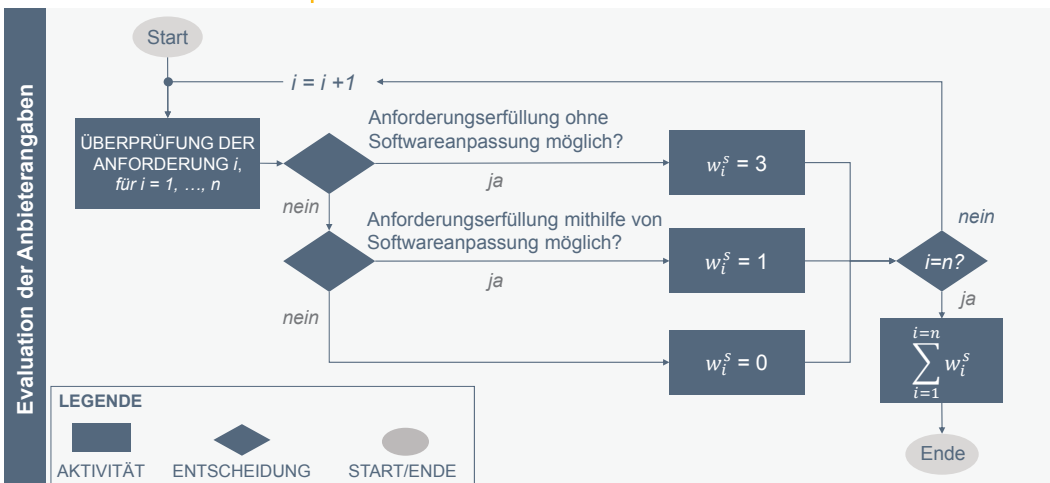
Bild 2 fasst die Schritte zur Evaluation der Anbieterangaben schematisch und vereinfacht zusammen.

Sollte ein System eine „Muss-Anforderung“, wie in Teil 1 des Beitrags beschrieben, nicht vollumfänglich erfüllen können (Bewertung kleiner als 3 Punkte), wird dieses System aus dem weiteren Auswahlprozess ausgeschlossen.

### Verifizierung der Anbieterangaben

Im zweiten Teil der Bewertung werden die Anbieterangaben mithilfe einer strukturierten Fallstudie verifiziert. Dadurch sollen potenzielle Fehler sowie Unter- bzw. Überbewertungen bei der Einschätzung der Systemfähigkeiten seitens der Anbieter reduziert bzw. vermieden werden.

Bild 2: Bewertungsmodell Teil 1: Evaluation der Anbieterangaben.



Gleichzeitig kann dabei Einsicht in die jeweilige Umsetzung charakteristischer Eigenschaften der die Produktions-Feinplanung adressierenden Softwaresysteme – Manufacturing Execution Systems oder Advanced Planning & Scheduling Systems – genommen werden, bspw. in die transparente Darstellung der Produktionsabläufe im System oder in die Fähigkeiten der Echtzeitplanung.

Je nach Umfang des Anforderungskatalogs und verfügbarer Zeit können häufig nicht alle Anforderungen im Rahmen der Fallstudie verifiziert werden. Eine Vorauswahl sollte sich daher auf solche Anforderungen konzentrieren,

- die eine hohe Relevanz aufweisen.
- die im Anforderungskatalog mit Antwortmöglichkeit 3 bewertet wurden.
- bei denen die im Anforderungskatalog dargestellten Lösungsansätze nicht nachvollziehbar sind.

Es ist sinnvoll, die Fallstudie in mindestens drei inhaltliche Abschnitte zu untergliedern:

1. Fähigkeit des untersuchten Systems, ein Produktionssystem abbilden zu können;
2. Anforderungen an die Planung vor dem Hintergrund eines Auftragsdurchlaufs;
3. Lösungsansätze zu spezifischen Planungsproblemen mit hoher Komplexität.

Zur Strukturierung sollten jedem Abschnitt mehrere Leitfragen zugeordnet werden, die die wesentlichen Anforderungen spezifizieren. Durch die Beantwortung der Leitfragen und weitergehende kritische Nachfragen können die zugeordneten Anforderungen verifiziert werden. Durch dieses Vorgehen wird es möglich, das System auch über die gestellten Anforderungen hinaus kennen zu lernen.

Um die einzelnen Anforderungen angemessen bewerten zu können, ist eine aktive Beteiligung – in Form von kritischen Verständnisfragen bei Unklarheiten – im Verlauf der Fallstudie notwendig. Diese Beteiligung kann durch die Teilnahme von Experten und späteren Anwendern aus unterschiedlichen Fachabteilungen gefördert werden. Eine exemplarische Agenda für eine Fallstudie – einschließlich beispielhafter Leitfragen – ist in Bild 3 dargestellt.

Die Verifizierung des Erfüllungsgrades der Anforderungen  $j$  (Laufvariable für Anforderungen, die in der Fallstudie verifiziert werden) erfolgt mithilfe des Bewertungsfaktors  $b_j^s$  auf Basis der Erkenntnisse aus der Fallstudie, wobei  $s$  generell die Laufvariable für das untersuchte System darstellt.

Für Anforderungen, deren Erfüllungsgrad zuvor mit drei Punkten ( $w_j^s=3$ ) bewertet wurde, gilt Folgendes.

## Exemplarische Agenda und Leitfragen

### 1. Unternehmens- und Systemvorstellung

#### 2. Abbildung des Produktionssystems

- Wie lässt sich das System einrichten?
- Wie können Ressourcen im System abgebildet (hinzugefügt oder entfernt) werden?
- Welche Informationen können den Ressourcen zugewiesen werden?
- Wie können Erzeugnisse im System abgebildet werden?
- Wie können externe Ressourcen und Arbeitsschritte in die Planung integriert werden?

#### 3. Auftragsdurchlauf

- Auftragseingang und -annahme
  - Wie gelangen Kundenaufträge (Abrufe/Einzelbestellungen) in das System?
  - Wie werden Fertigungsaufträge erstellt?
  - Welche Daten können den Aufträgen zugeordnet werden?
  - Wie kann geprüft werden, ob eine Auftragsannahme sinnvoll bzw. möglich ist?
- Einplanung des Auftrags
  - Wie wird ein Auftrag in ein bestehendes Auftragsnetz eingeplant?
  - Wie werden Restriktionen bei der Einplanung berücksichtigt?
  - Wie wird das Personal in der Planung berücksichtigt?
  - Wie werden Abhängigkeiten und Gemeinsamkeiten von Aufträgen berücksichtigt?
  - Wie kann manuell in die Planung eingegriffen werden?
  - Wie können bei der Einplanung Engpässe erkannt werden?
  - Wie bietet das System eine Entscheidungsunterstützung?
  - Wie wird ein machbarer Belegungsplan erzeugt?
- Reaktionsfähigkeit des Systems: Wie kann auf ungeplante Ereignisse während der Produktion reagiert werden?
  - Szenario 1: Ausfall einer Anlage/eines Werkzeugs
  - Szenario 2: Ausfall eines hoch qualifizierten Mitarbeiters
  - Szenario 3: Materialanliefertermin verspätet sich
  - Szenario 4: Kunde erhöht die Dringlichkeit eines Auftrags (Erhöhung der Priorisierung)
- Auswertungen: Wie kann ein möglicher Belegungsplan ausgewertet werden?
  - Welche visuellen Auswertungsmöglichkeiten stehen zur Verfügung?
  - Wie lässt sich ein Belegungsplan kennzahlenbasiert auswerten?

#### 4. Spezifische Planungsprobleme. Wie können spezifische Planungsprobleme mit dem System gelöst werden?

Die Erfüllung einer Anforderung  $j$ :

1. ist nicht glaubhaft oder ist nicht ohne erheblichen Anpassungsaufwand vorstellbar ( $b_j^s=0$ ).
2. weicht stark vom Kern der Anforderung ab bzw. es bestehen erhebliche Zweifel, ob die Anforderung vollumfänglich erfüllt werden kann. Lediglich Lösungsansätze sind vorhanden ( $b_j^s=1/3$ ).
3. ist möglich, weicht jedoch leicht vom Kern der Anforderung ab bzw. es bestehen leichte Zweifel, ob die gewünschte Anforderung vollumfänglich erfüllt werden kann ( $b_j^s=2/3$ ).
4. wurde vollumfänglich demonstriert oder lässt sich aus den demonstrierten Funktionen nachvollziehbar ableiten ( $b_j^s=1$ ).

Für Anforderungen, deren Erfüllungsgrad zuvor mit einem Punkt ( $w_j^s=1$ ) bewertet wurde, gilt Folgendes.

**Bild 3: Exemplarische Agenda und Leitfragen.**

Die Erfüllung einer Anforderung j:

1. ist nicht glaubhaft oder ist nicht ohne erheblichen Anpassungsaufwand vorstellbar ( $b_j^s=0$ ).
2. ist glaubhaft und mit geringem Anpassungsaufwand vorstellbar ( $b_j^s=1$ ).

Die Bewertung einer in der Fallstudie verifizierten Anforderung j ( $\tilde{w}_j^s$ ) erfolgt über eine einfache Multiplikation (1) des  $w_j^s$  mit dem Bewertungsfaktor  $b_j^s$ .

$$\tilde{w}_j^s = w_j^s * b_j^s \tag{1}$$

Mithilfe des oben dargestellten Bewertungsverfahrens ist lediglich eine Bewertung verifizierter Anforderungen möglich. Für die Anforderungen, die im Vorfeld für eine direkte Verifizierung im Rahmen der Fallstudie ausgeschlossen wurden, bietet sich darauf aufbauend eine indirekte Bewertung mithilfe eines Korrekturfaktors  $c^s$  an.

Der Korrekturfaktor  $c^s$  (2) ergibt sich aus dem Quotienten der durch die Bewertung erreichten Punktzahl nach der Fallstudie (Zähler) und der erreichten Punktzahl vor der Fallstudie (Nenner). Der Korrekturfaktor ist demnach zudem eine Kennzahl, die ausdrückt, wie realistisch die Systemanbieter ihre Fähigkeiten in Bezug auf die gestellten Anforderungen eingeschätzt haben – aus Sicht der überprüfenden Partei. Für jedes untersuchte System ergibt sich  $c^s$  folgendermaßen:

$$c^s = \frac{\sum_{j=1}^{m^s} \tilde{w}_j^s}{\sum_{j=1}^{m^s} w_j^s} \tag{2}$$

mit  $m^s \triangleq$  Anzahl der in der Fallstudie direkt bewerteten Anforderungen im Anforderungskatalog.

Alle Angaben im Anforderungskatalog, die nicht direkt in der Fallstudie bewertet werden können ( $w_k^s$ ), werden mithilfe des Korrekturfaktors indirekt wie folgt bewertet:

$$\tilde{w}_k^s = w_k^s * c^s \tag{3}$$

mit  $k \triangleq$  Laufvariable für Anforderungen, die nicht direkt in der Fallstudie verifiziert werden können.

Aufbauend auf der Bewertung aller Angaben der Systemanbieter zu den Anforderungen lassen sich die Ergebnisse der Bewertung hin-

sichtlich der Eignung einzelner Systeme auswerten.

### Auswertung der Ergebnisse und Feinauswahl

Zur Bestimmung der Eignung eines Systems wird ein Quotient (4), der sog. Eignungsgrad  $e^s$ , gebildet. Dieser setzt sich aus der Summe der bewerteten Angaben im Anforderungskatalog und aus der maximal durch ein System erreichbaren Punktzahl über alle Anforderungen n zusammen:

$$e^s = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i^s}{n * 3} \tag{4}$$

Über das oben beschriebene Schema hinaus ist es auch möglich, wichtige Anforderungen mit einem Faktor  $f_i$  zu gewichten. Der Eignungsgrad für ein System ( $e^s$ ) ergibt sich dann folgendermaßen:

$$e^s = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i^s * f_i}{\sum_{i=1}^n 3 * f_i} \tag{5}$$

Das System mit dem höchsten Eignungsgrad erfüllt die gestellten Anforderungen am besten.

Bild 4 fasst die Schritte zur Verifizierung der Anbieterangaben und zur Auswertung der Ergebnisse schematisch und vereinfacht zusammen.

Da die Auswahlentscheidung in der Praxis neben den reinen Systemfähigkeiten häufig weitere Aspekte zu berücksichtigen hat, ist eine weitergehende Analyse zweckmäßig.

Zur Berücksichtigung und Gewichtung weiterer Einflussfaktoren – wie bspw. der Aspekte der unterstützenden Dienstleistungen (Support), der Investitionssicherheit, der Branchenkompetenz, der Investitionshöhe und der Betriebskosten – eignet sich eine Nutzwertanalyse [3]. In deren Ergebnis wird für jedes System ein numerischer Wert (Score) ermittelt, der auf der Grundlage aller in die Entscheidung einfließenden Aspekte eine Präferenzordnung für die Systemauswahl zu bilden erlaubt.

Im Rahmen der Feinauswahl erscheint es zweckmäßig, die drei bis vier Systeme, die nach dem oben beschriebenen Schema die besten Nutzwerte erzielt haben, einer weiteren detaillierten Betrachtung zu unterziehen.



### Empfehlungen für die System-Endauswahl

Für eine finale Auswahlentscheidung sind die ausgewählten Systeme unter realen Bedingungen zu testen. Dazu bieten sich zwei Vorgehensweisen für die folgenden Schritte an: Referenzkundenbesuche und Schattenplanung („Proof of Concept“).

#### Referenzkundenbesuch

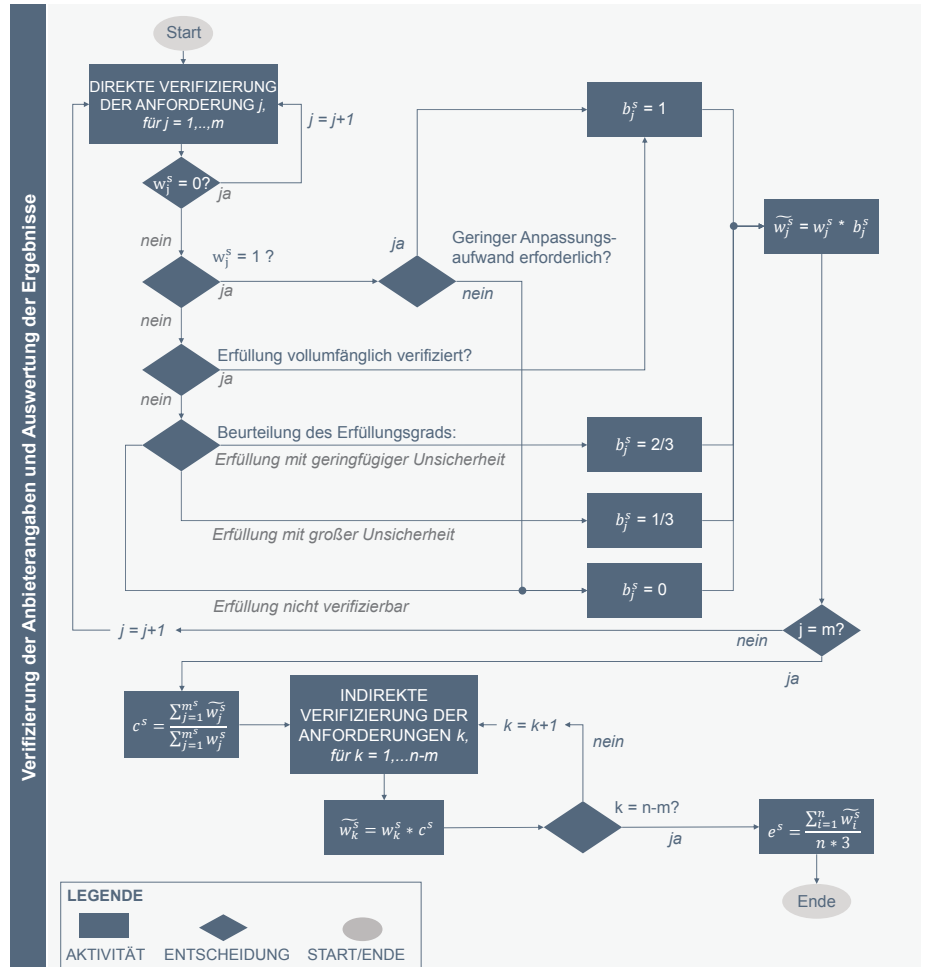
Dieser Besuch dient dazu, das bzw. die präferierte(n) Feinplanungssystem(e) in der Praxis und unter realen Bedingungen in Betrieb kennenzulernen. Durch die praktische Begutachtung des Systems wird die Entscheidungsfähigkeit weiter erhöht.

Um die Übertragbarkeit der Erkenntnisse zu gewährleisten, sollten Referenzkunden der Systemanbieter über ein ähnliches Produktionssystem sowie über die gleiche Branchenzugehörigkeit wie das Zielunternehmen verfügen. Mindestens folgende Punkte sollten thematisiert werden:

- Schnittstellen zur Systemeinbindung (bspw. Schnittstellen zum ERP-System)
- Herausforderungen bei der Anwendung der eingeführten Module
- Planungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den zu planenden Objekten
- Informationsfluss von Planungsebene zu Ausführungsebene
- Notwendige Prozessanpassungen durch Implementierung des Feinplanungssystems
- Dauer der Systemimplementierung
- Projektorganisation während der Implementierungsphase
- Empfehlungen und Konzepte zur Erhöhung der Stammdatenqualität
- Erfahrungswerte mit unterstützenden Dienstleistungen (Support)
- Erfolge durch die Systemeinführung.

#### Schattenplanung („Proof of Concept“)

Ziel der Schattenplanung ist, ein System parallel zum bereits bestehenden Planungsprozess unter realen Bedingungen – im laufenden Produktionsbetrieb – zu testen. Dabei sollen die Systemfähigkeiten im Einsatz geprüft werden – insbesondere die Anpassungsfähigkeit des Systems an das gegebene Produktionssystem (einschl. Anpassung an Prozesse) sowie die Benutzerfreundlichkeit des Systems. Dazu wer-



den die ausgewählten Systeme in definierten abgegrenzten Unternehmensbereichen implementiert und genutzt. Die Planungsergebnisse lassen sich mithilfe von Kennzahlen messen, wie bspw. Anzahl Rüstvorgänge, Lagerbestand, Anzahl Sonderfahrten, Liefertreue etc.

### Zusammenfassung

In den zwei Teilen des Beitrags wird ein Vorgehen zur strukturierten Auswahl eines Produktionsfeinplanungssystems beschrieben. Das Vorgehen umfasst mehrere Schritte, von der Anforderungsaufnahme über die System-Grob- und Feinauswahl bis hin zu einem Ausblick auf die System-Endauswahl. Die einzelnen Auswahlsschritte werden durch praktische Hinweise sowie durch die Verwendung konkreter Werkzeuge methodisch unterstützt. Mithilfe der beschriebenen Methodik lassen sich ausgewählte Systeme objektiv vergleichen – eine Voraussetzung für die effektive und effiziente Systemauswahl für Industriebetriebe.

#### Schlüsselwörter:

Manufacturing Execution Systems (MES), Advanced Planning and Scheduling (APS), Produktionsplanung, Produktionsfeinplanung, Systemauswahl, Lastenheft

**Bild 4:**  
Bewertungsmodell  
Teil 2: Verifizierung der  
Anbieterangaben  
und Auswertung der  
Ergebnisse.

#### Literatur

- [1] Koch, R.; Rücker, T.; Schneider, H.; Stodt, S.: Auswahl von Manufacturing Execution Systems/Advanced Planning and Scheduling Systems, Teil 1: Grundlagen einer Systemauswahl – Der Weg zum Anforderungskatalog. In: Industrie 4.0 Management 34 (2018) 3.
- [2] Theuer, H.: Marktüberblick: Schlanke MES. In: productivity 22 (2017) 2, S. 41-57.
- [3] Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, 5. Aufl. Winnemark 2014.