

TPS als Supply Chain Navigator

Prof. Dr. Karlheinz Haberlandt

1. **Die 10 TPS-Besonderheiten**
2. **TPS als Planungssystem – grafischer Überblick**
Interne Supply Chain
Meilensteine des Planungsprozesses
3. **TPS als operatives und dispositives Planungssystem**
 - 3.1. Rollierende Planung der internen Supply Chain mit TPS
 - 3.2. Zeitdynamische Priorisierung
 - 3.3. Prioritätsgesteuerte deterministische Nettobedarfsrechnung
 - 3.4. Multikriterien-gesteuerte Losgrößen- und Rüstzeitoptimierung
 - 3.5. Terminierung mit Constraint Based Planning
 - 3.6. Ergebnisse und Ergebnisanalyse
4. **TPS als PPS-Simulationsmodell**
 - 4.1. Konkurrierende Produktionsziele
 - 4.2. Computersimulation mit TPS
 - 4.3. Strategie: vorrangig Termintreue
 - 4.4. Strategie: Losgrößenoptimierung
 - 4.5. Strategie: Termingenauigkeit
 - 4.6. Strategie: überlappte Fertigung
 - 4.7. Strategie: Rüstzeitoptimierung
 - 4.8. Strategie: Auftragssteuerung
 - 4.9. Kombination der Strategien
 - 4.10. Delta-Krisenliste
5. **Voraussetzungen und Nutzen**
 - 5.1. TPS System-Integration
 - 5.2. TPS-Nutzen

1. Die 10 TPS-Besonderheiten

- **Total Planning System (TPS)**
 - umfasst den gesamten Leistungsprozess der internen Supply Chain
 - vollständig integriertes operatives Planungsmodell industrieller Unternehmungen
 - Einsatz innovativer Simulationstechnik mit Fuzzy Logic¹⁾
- **Täglich vollständige Neuplanung – Rollierende Detail-Planung (RDP)**
 - stets aktuelle operative und dispositive Rollierende Detail-Planung (RDP)
 - kurzfristig vollständige Aktualisierung sämtlicher Vertrieb-, Material-, Produktionsdaten
 - realitätsnahe (=isomorphe) flexibel anpassbare Planung
- **Durchgängig integrierte einstufige Planung**
 - keine Trennung in Grob- und Feinplanung, Überwindung des MRP II
 - Planung ausgehend vom Kundenbedarf bis hin zur Auslieferung (from forecast to fullfill)
 - durchgängige terminliche Verknüpfung von Kunden- und Fertigungsaufträgen
- **Zeitdynamische²⁾ Priorisierung des Kundenbedarfs**
 - tägliche zeitdynamische²⁾ Neuberechnung der Prioritäten aller Aufträge
 - Kombination und Berücksichtigung aller relevanten anwender-individuellen Prioritätskriterien
 - Vererbung der Kundenauftrags-Prioritäten bis auf die letzte Komponente und Arbeitsfolge
- **Prioritätsgesteuerter Abgleich aller Bedarfe entsprechend der aktuellen und geplanten Verfügbarkeit aller relevanten Ressourcen**
 - strikte und durchgängige Einhaltung der Prioritätsfolge in allen Planungsmodulen
 - vollständige und lückenlose deterministische Nettobedarfsrechnung³⁾ und Materialdisposition
 - Verfügbarkeits- und Terminvererbung auf alle TPS-Module und alle Planungselemente
- **Planung und Terminierung gegen begrenzte Ressourcen mit innovativen Optimierungsverfahren**
 - Losgrößen- und Rüstzeitoptimierungen mit Fuzzy Logic¹⁾
 - zeit- und kostenoptimale Planung auch mit alternativen Arbeitsplänen
 - Constraint Based Planning unter Berücksichtigung sämtlicher erforderlichen Ressourcen
- **Advanced Planning System (ASP) für alle ERP-Systeme als Ergänzung**
 - offenes TPS-Datenmodell für alle ERP-Systeme geeignet
 - flexibel anpassbares (=isomorphes) Modell für die operative und dispositive Planung
 - ersetzt die konventionelle Grob- und Feinplanung einschließlich aller Leitstände
 - vollständige und nachvollziehbare Dokumentation jeden Rechenschritts (keine black box)
- **Außergewöhnlich hohe Performance der Planberechnung**
 - komplette Neuberechnung großer Datenmengen (für tausende Aufträge) in wenigen Minuten
 - Einsatz für laufende kurzfristig aktualisierte operative und dispositive Planung
 - parallele Einsatzmöglichkeiten als operatives Planungssystem und als Simulationsmodell⁵⁾
- **Engpass-orientierte Steuerung und Optimierung der Supply Chain**
 - sofortiges Erkennen sämtlicher oft wandernder Engpässe (Signalfunktionen)
 - Berechnung zufriedenstellender Alternativen mittels Simulationstechniken (Heuristik)⁴⁾
 - proaktive Engpassvermeidung statt reaktiver Engpassbeseitigung
- **Benutzerfreundliches und instruktives Informations- und Berichtssystem**
 - instruktive, flexible und umfassende Berichte für alle Arbeits- und Führungsebenen
 - innovatives Key Performance Indicator-System (Factory Efficiency) auf OLAP-Basis
 - Integration mit BDE-MDE-Daten zum Manufacturing Execution System (MES)

¹⁾In der TPS-Anwendung oft in etwa geschätzte Größen (unscharfer Mengen) häufig als Grenzwerte definiert

²⁾Berücksichtigung der sich täglich verkürzenden Terminabstände durch Berechnung neuer höherer Prioritäten

³⁾Ermittlung des tatsächlich benötigten Bedarfs mittels Ableitung aus den Aufträgen und den Erzeugnisstrukturen (Stücklisten/Rezepturen)

⁴⁾Planvolle Suche nach einem zufriedenstellenden Ergebnis

⁵⁾Planungsmodell ohne vorgegebenen Lösungsalgorithmus

2. TPS als Planungssystem - grafischer Überblick

TPS umfasst die gesamte interne Supply Chain, von der Priorisierung des Bedarfs bis zur Auslieferung an die Kunden. verbunden mit einem benutzerfreundlichen Informationssystem auf OLAP-Basis.

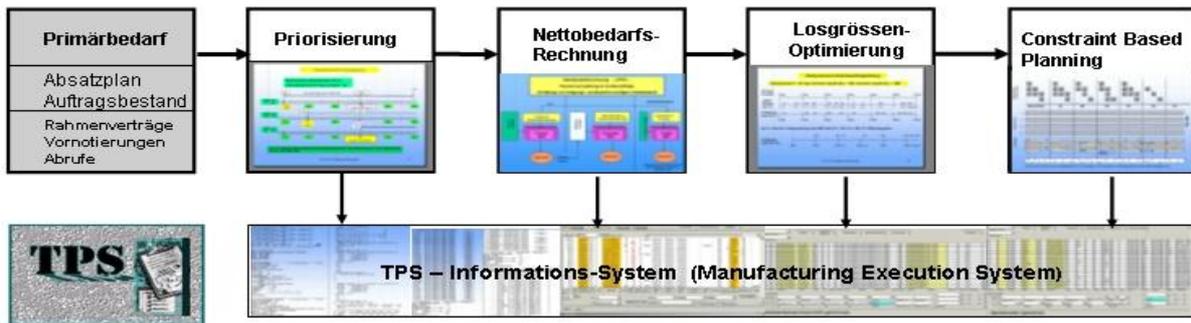
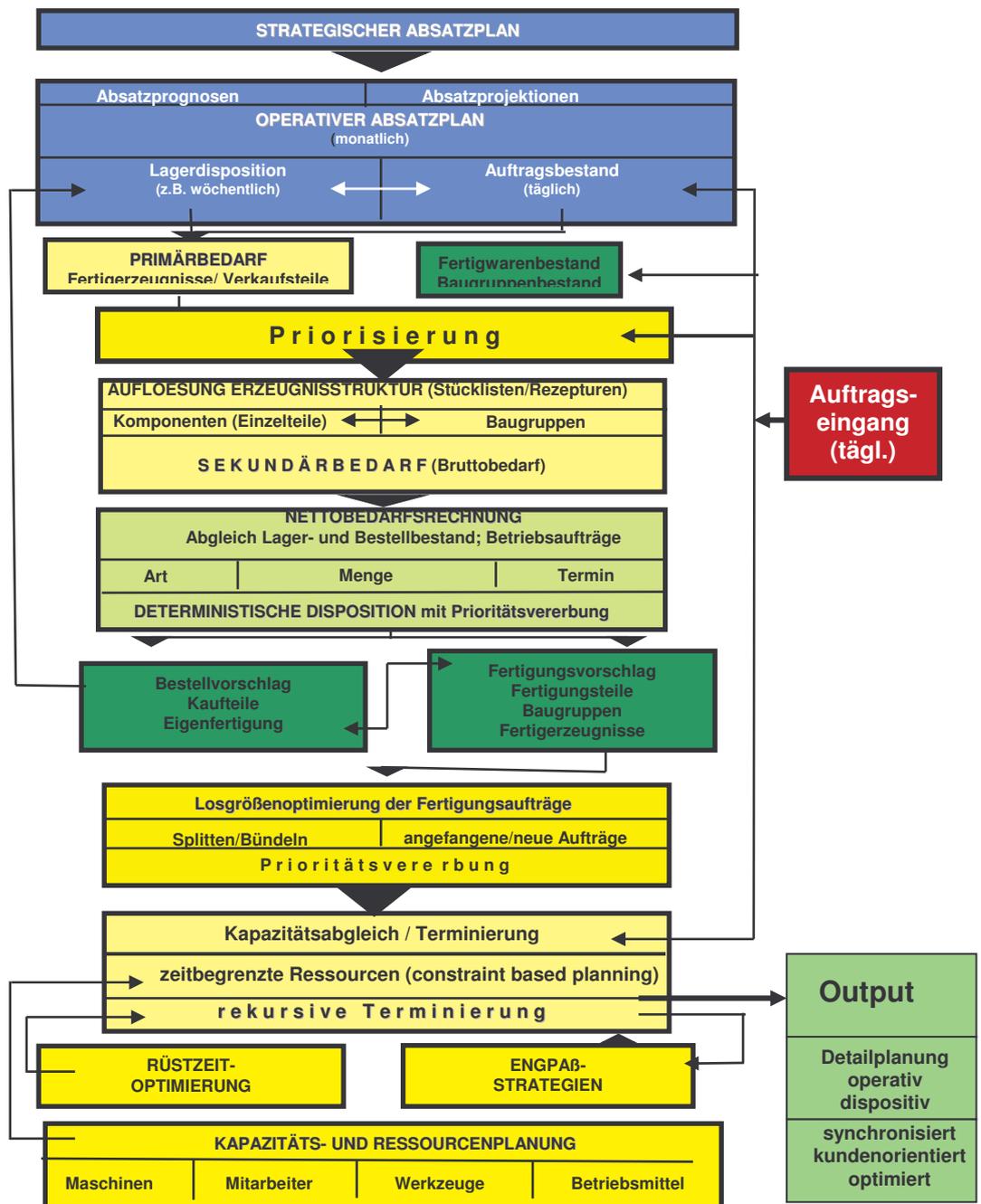


Abbildung 1: Die Glieder der internen Supply Chain

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Meilensteine des Produktionsprozesses.



3. TPS als operatives und dispositives Planungssystem

3.1. Rollierende Planung der Internen Supply Chain mit TPS

Total Planning System (TPS) umfasst die operative und dispositive Planung des gesamten Leistungsprozesses der produzierenden Unternehmung vom Primärbedarf (Bedarfe der Kunden) ausgehend bis zur Auslieferung der Produktionsergebnisse an den Kunden. TPS ist für alle Fertigungssysteme (Prozessfertigung oder diskrete Fertigung) einsetzbar. TPS wird in der Regel als Standard-Werkzeug für die Produktionsplanung im weitesten Sinne eingesetzt.

TPS ist hierfür ein flexibles Planungsmodell, das an die jeweiligen realen Produktionsverhältnisse und Strukturen des Leistungsprozesses einfach angepasst werden kann. Darüber hinaus ist TPS auf Grund seiner sehr hohen informationstechnischen Leistungsfähigkeit (Performance) gleichzeitig als System zur Berechnung alternativer Maßnahmen und Strategien bestens geeignet. TPS verwendet dabei die heuristische Simulationstechnik in Verbindung mit Fuzzy Logic.

Als betriebswirtschaftlich orientiertes Planungsmodell basiert TPS (=Tägliche Planung und Steuerung oder Total Planning System) auf der Rollierenden Detail-Planung (RDP). Täglich, oder bei Bedarf kurzfristiger (pro Schicht), erfolgt ein kompletter Neuaufwurf der gesamten Planung. - Warum?

Täglich ändern sich in allen Bereichen des Leistungsprozesses die Planungsgrundlagen. Kundenaufträge wurden ausgeliefert und abgeschlossen, neue Aufträge wurden hereingenommen, die Bestände an fertigen, unfertigen Waren, an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen haben sich verändert (Entnahmen, Ausgaben, Einlagerungen); die Produktion hat ein Tages- bzw. Schichtergebnis das i.d.R. im Detail oft von den Vorgaben abweicht. Zahlreiche Änderungen betreffen unmittelbar den Folgetag oder die Folgeschicht, viele aber auch den in der Zukunft liegenden Leistungsprozess. Mittels der Rollierenden Detail-Planung (RDP) werden diese Änderungen kontinuierlich und grundlegend neu eingeplant. Die Planung wird dadurch voll flexibel und die Pläne bleiben stets aktuell.

3.2. Zeitdynamische Priorisierung

Ausgangspunkt der Planung ist bei TPS der Primärbedarf. Das sind die Anforderungen der Kunden nach Art, Menge und Termin in Form von Bestellungen (Auftragsbestand einschließlich Feinabrufe) und/oder in Form von Plänen (Rahmenverträge, Vornotierungen, Absatzpläne). ERP-Systeme mit einem Modul für die Absatzplanung haben für jedes Erzeugnis ein Zeitraster der Bedarfsmengen, das sich täglich ändern kann. Die Kundenbedarfe können und müssen letztlich in allen Systemen - virtuell oder real - grundsätzlich nur sequentiell abgearbeitet werden. Die Sequenz der Bearbeitung, das heißt die Reihenfolge der Bedarfsdeckung muss daher geplant und festgelegt werden. Die erste wichtige Besonderheit von TPS ist die Ermittlung dieser Reihenfolge durch eine täglich neue zeitdynamische Priorisierung. Termine als Prioritätskriterien (zum Beispiel der Wunschtermin des Kunden, und/oder der besttätigte Liefertermin) rücken täglich näher. Bei der zeitdynamischen Priorisierung erhöht sich dementsprechend täglich die Priorität für den betreffenden Kundenauftrag. Für die tägliche neu zu berechnende Priorisierung können außer den verschiedenen Terminen beliebig viele unterschiedliche kundenindividuelle Kriterien (zum Beispiel A-, B-, C-Kunden oder -Artikel, Lager- oder Kundenaufträge) kombiniert werden. Mit der TPS-Priorisierung wird gleichzeitig für alle Komponenten und Aktivitäten des Leistungsprozesses ein durchgängiger Kunden- und Kundenauftrags-Bezug hergestellt.

3.3. Prioritätsgesteuerte deterministische Nettobedarfsrechnung

Der täglich neu priorisierte und terminlich im Zeitraster festgelegte Primär-Bedarf wird in der **TPS-Nettobedarfsrechnung** mit den tatsächlich verfügbaren Material-Ressourcen abgeglichen. Dabei gibt es vorab keine irgendwie gearteten Reservierungen. Alle am Vortag festgelegten Zuweisungen (Reservierungen) werden aufgelöst. Damit wird sichergestellt, dass die Aufträge mit den höchsten Prioritäten vorrangig berücksichtigt werden und dass wichtige Eilaufträge nicht über ein Net-Change-Verfahren planerisch hinten angestellt, sondern entsprechend ihrer Priorität vorrangig bearbeitet werden. Der Abgleich der Bedarfe beginnt mit dem Lagerbestand fertiger Produkte und soweit dieser nicht ausreicht mit den in Arbeit befindlichen Fertigerzeugnissen, auf Grund bestehender Fertigungsaufträgen. Dieser Abgleich stellt die **primäre Nettobedarfsrechnung** dar.

Soweit die Bedarfe mit dem Lagerbestand und dem Bestand in Arbeit nicht gedeckt werden können, muss entsprechend produziert, und, soweit Einkaufskomponenten (Rohstoffe und/oder Einkaufsteile) fehlen, extern beschafft werden. Diese Berechnung erfolgt in **der sekundären Nettobedarfsrechnung**. Dabei werden die priorisierten Bedarfe (Kunden-, Plan- und Lageraufträge) entsprechend ihren Erzeugnisstrukturen (Stücklisten oder Re-

TPS als Supply Chain Navigator

zepturen) über sämtliche Stufen in ihre Komponenten als Komponentenbedarf aufgelöst. Dabei wird die Herkunft des Bedarfs (zum Beispiel Kundenauftragsposition) und die Priorität bis auf die letzte Erzeugniskomponente vererbt. TPS erhält die Informationen für diese Nettobedarfsrechnung aus der Materialwirtschaft (Artikelstamm) des ERP-Systems. Für jeden Artikel (Rohstoff, Erzeugniskomponente, Kauf- oder Fertigungsteil) liegen hier die Lagerbestände, Bestellbestände und die Wiederbeschaffungszeiten vor. Die täglichen Ergebnisse der Produktion werden als Lagerzugänge verbucht.

Das Ergebnis der sekundären Nettobedarfsrechnung ist zunächst die Zuordnung der verfügbaren Ressourcen auf die priorisierten Bedarfe mit ihrem Bezug zu den Kundenaufträgen, ihren Prioritäten und ihren Verfügbarkeitsterminen. Durch die sequentielle Abarbeitung des Primärbedarfs entsprechend seiner Prioritäten ist sichergestellt, dass auch die letzte knappe Ressource in der untersten Erzeugnisstufe dem wichtigsten Bedarf zugeordnet wird. Das weitere sichtbare Ergebnis der sekundären Nettobedarfsrechnung sind die Bestell-Vorschläge für die Lieferanten und die Fertigungsvorschläge für die Produktion nach Art, Menge und Terminen. Ein ausgeführter Bestellvorschlag- oder Fertigungsvorschlag führt am Folgetag zu einem Bestellbestand beziehungsweise Fertigungsauftrag mit entsprechenden Verfügbarkeitsterminen.

Die mit TPS realisierte Form der zweistufigen Nettobedarfsrechnung stellt eine kundenauftrags- und absatzplanorientierte Ermittlung des Ressourcenbedarfs dar, die allgemein als **deterministische Disposition** bezeichnet wird. Wenn eine rollierende Absatzplanung mit einem den Beschaffungszeiten der Ressourcen entsprechenden Planungshorizont (siehe Rollierende Detail-Planung) existiert, ist in Kombination mit den Bedarfen aus den Auftragsbeständen keine andere Dispositionsart als diese **deterministische Disposition** überhaupt angebracht. Von spekulativen Beständen – zum Beispiel für knappe Rohstoffe - und entsprechenden Vorratseinkäufen abgesehen, führt die alleinige deterministische Disposition zu optimalen bedarfsgerechten Lagerbeständen und in vielen Fällen zu beträchtlichen Bestandsreduzierungen und minimalen Abschreibungsverlusten auf unbrauchbare Bestände infolge der Anwendung herkömmlicher Dispositionsregeln. In diesem Zusammenhang ist ferner zu beachten, dass in der TPS-Nettobedarfsrechnung keine Trennung in Grob- und Feinplanung stattfindet. Dieser Ansatz aus MRP II ist vollkommen überholt. Außerdem findet keine Rückwärtsterminierung statt. Die Planung und Disposition erfolgen entsprechend der Priorisierung des Kundenbedarfs sequentiell vorwärts und die Terminierung entsprechend den möglichen Verfügbarkeitsterminen der Ressourcen.

Wenn in einer Anwendung TPS ohne Nettobedarfsrechnung eingesetzt werden soll und auf Grund des MRP II-Ansatzes im ERP-System die Verbindung zwischen Kundenauftrag und Fertigungsauftrag verloren gegangen oder niemals bestanden hat, ist in TPS ein Modul verfügbar, mit dessen Hilfe dieser Bezug hergestellt und die Priorisierung auf die Fertigungsaufträge übertragen werden kann.

3.4. Multikriterien-gesteuerte Losgrößen- und Rüstzeitoptimierung

In Abhängigkeit von den strukturellen Besonderheiten (Einzel-, Serien-, Massen-, Fließ- oder Chargen-Fertigung) des vorliegenden Produktionssystems wird mit TPS in der nächsten Planungsphase die Losgrößenoptimierung durchgeführt mit einer neuartigen, ebenfalls zeitdynamischen multikriterien-gesteuerten Methode. Nur das was von Kunden in Auftrag gegeben wurde und was gemäß Absatzplan voraussichtlich verkauft werden soll, wird planerisch in kostenoptimierten Fertigungsperioden erfasst. Dabei bilden Minimal- und Maximallose in unterschiedlicher Größe Grenzwerte für Berechnungen entsprechend der Fuzzy Logic. Das Ergebnis sind zunächst Planwerte, die sich täglich entsprechend den Bedarfsänderungen auch verändern können. Diese Planwerte sind für die anschließende Terminierung der Fertigungsaufträge erforderlich. Entscheidend für die Disposition und damit für die Fixierung eines Fertigungsauftrags ist die täglich unmittelbar anstehende Periode mit der als optimal ermittelten Losgröße.

Für die Optimierung der Rüstzeiten arbeitet TPS mit Fertigungsstufen, die nicht mit den Erzeugnisstufen verwechselt werden dürfen. TPS-Fertigungsstufen sind grundsätzlich dort einzurichten, wo aus fertigungstechnischen Gründen Zwischenlager zu bilden sind. Das ist einerseits für die Nettobedarfsrechnung von Bedeutung, andererseits für differenzierte Losgrößenbildung je Fertigungsstufe und entsprechende Rüstzeitoptimierung.

Zum Zwecke der Rüstzeitoptimierung werden alle Aufträge, die auf einer Fertigungsanlage (Kapazitätseinheit) zu fertigen sind, nach Zeitperioden zusammengefasst (gebündelt) und entsprechend einer flexibel vorzugebenden Reihenfolge sortiert. Die Größe dieser Bündel richtet sich nach der Länge der variabel einstellbaren Zeitperioden. Die Bündelung führt zu entsprechenden Arbeitspuffern, entsprechenden Verlängerungen der Durchlaufzeiten und zu Erhöhungen der in Arbeit befindlichen Warenbestände (siehe hierzu das Kapitel „TPS als PPS-Simulationsmodell“). In der Regel besteht die Notwendigkeit systematischer Rüstzeitoptimierung an einigen wenigen Kapazitätseinheiten mit langen Auf- und Abrüstzeiten (zum Beispiel Mischern, Lackieranlagen, Fließinseln). Für jede dieser Einheiten kann eine separate Fertigungsstufe mit unterschiedlichen Optimierungsperioden und –

TPS als Supply Chain Navigator

Kriterien gebildet werden. Das TPS-Ergebnis sind die täglich unmittelbar zur Disposition anstehenden Losgrößen. Wenn die Optimierungsperioden mehrere Tage umfassen, ist selbstverständlich eine Unterbrechung der Sequenz innerhalb der Periode, also der Warteschlange als Arbeitspuffer vor der „Optimierungseinheit“ möglich. Dabei kann die Planung und Sortierung des Puffers neu aufgesetzt oder ab einem bestimmten Fertigungsstand erst voll abgearbeitet werden, bevor das nächste Fertigungs-Bündel eingeplant wird.

3.5. Terminierung mit Constraint Based Planning

Die Ergebnisse der Losgrößen- und Rüstzeit-Pufferbildung sind als Fertigungsaufträge der sortiert aufbereitete Input für die anschließende Auftragseinlastung bzw. Terminierung. Hier wird ebenfalls entsprechend den vorhandenen und über die verschiedenen Planungsphasen vererbten Prioritäten der Kundenaufträge nur vorwärts gegen begrenzte Ressourcen eingeplant (= Constraint Based Planning). Die Verfügbarkeitstermine der Materialien, der Vorprodukte und der Betriebsmittel (zum Beispiel Werkzeuge oder Messmittel) sind die frühesten Starttermine einer Arbeitsfolge. Die Kalender- und Schichtpläne der Produktionsanlagen und der Mitarbeiter stellen die weiteren begrenzenden Ressourcen-Verfügbarkeiten dar. Die Zeitvorgaben in den Arbeitsplänen der Fertigungsaufträge (tr, te und Mengen) verbunden mit den TPS-Prioritäten stellen die Anforderungen bzw. die abzugleichenden Bedarfe dar. TPS ist so flexibel und variantenreich, dass es ohne zusätzliche Programmierung an die jeweiligen, individuell verschiedenen Produktionsverhältnisse angepasst werden kann. Damit wird TPS zu einem individuellen isomorphen (wirklichkeitsnahen) Planungssystem für jede industrielle Produktion. Mit TPS kann die Produktionsplanung unter Berücksichtigung alternativer Arbeitsfolgen und/oder alternativer Produktionseinheiten optimiert werden. Modular können Rüstzeitoptimierungen, simultane Werkzeugoptimierungen, überlappte Fertigung eingesetzt werden. Eine besondere und aktuelle Variante stellt die personalorientierte Kapazitätsplanung dar. Hier ist die zeitliche und qualitative Verfügbarkeit des Produktionspersonals für die Bedienung der maschinellen Produktionseinheiten das dominante Kriterium für die Terminierung.

Während bei den meisten Optimierungssystemen (APS) die Berechnungsprozesse in einer „Black Box“ stattfinden, die Art und Weise des Zustandekommens der Rechenergebnisse dem Anwender also weitgehend verborgen und damit unbekannt bleiben, wird in TPS jeder einzelne Rechenschritt, von der Priorisierung, über die Nettobedarfsrechnung, bezüglich der Losgrößen- und Rüstzeitoptimierung bis hin zur Ressourcenbelegung und Terminierung der einzelnen Arbeitsfolgen, nachvollziehbar dokumentiert.

3.6. Ergebnisse und Ergebnisanalyse

Das Ergebnis des TPS-Planungslaufs ist der detaillierte, synchronisierte, kundenorientierte operative und dispositive Produktionsplan für den gesamten Leistungsprozess (Supply Chain). Es ist einerseits eine Feinplanung, vor allem für die nächste Planungsperiode (Schicht, Tag, Woche), aber auf dem gleichen Detaillierungsgrad auch die Planung für den gesamten Planungshorizont (soweit wie eben der Absatzplan und die Schichtpläne der Produktion reichen). Wartezeiten, Pufferbildungen und Durchlaufzeiten sind das Ergebnis der Planung, nicht deren Parameter. Für die Produktion enthält der Plan detaillierte Vorgaben für jeden Arbeitsplatz, für jeden Mitarbeiter, für jeden einzelnen Teilprozess der Fertigung. Für die Arbeitsvorbereitung wird der geplante Produktionsprozess transparent, Engpässe und ihre Ursachen werden aufgezeigt und können proaktiv angegangen werden. Die Materialwirtschaft (Einkauf und Lagerhaltung) erhalten den vom aktuellen und geplanten Kundenbedarf abgeleiteten Bedarf für die Einkaufs- und Fertigungsartikel. Der Vertrieb erhält einen verlässlichen Überblick über die aktuelle und künftige Liefersituation und kann bei Bedarf entsprechend gegensteuern.

Im Rahmen eines integrierten Manufacturing Execution System (iMES) werden sämtliche relevanten Plandaten parallel zu den Ist-Daten des Produktionsprozesses (MDE- und BDE-Daten) in einem Produktions-Data Warehouse gespeichert, in OLAP-Technik benutzerfreundlich aufbereitet und verfügbar gemacht. TPS zeigt dabei unter anderem sämtliche Engpässe auf. Wann fehlt wo welches Material, was oder wer ist der Verursacher, wo bildet sich ein Stau in der Produktion, was sind die Ursachen dieser Engpässe.

Weichen die vorgegebenen Kunden-Liefertermine von den berechneten Verfügbarkeitsterminen (Terminunterschreitung oder Terminüberschreitung) negativ ab - und nur das wird zunächst oft als das vordringlichste Problem angesehen -, so beginnt hier die Abweichungsanalyse (vorgegebener Bedarf nach Art, Menge und Termin zur geplanten - errechneten - Bedarfsdeckung). Hier muss die Engpass-orientierte Steuerung der Produktion und der gesamten Leistungskette einsetzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Engpässe ständig wechseln. Für die Suche nach den besten Lösungen kann dann TPS als Simulations-System eingesetzt werden. In Abhängigkeit zu möglichen Maßnahmen und Alternativen sind am TPS-System gezielt an den verschiedenen Stellen Parameter zu verändern und alternative Planungsläufe durchzuführen.

4. TPS als PPS-Simulationsmodell

Das TPS-Software-System geladen mit den relevanten Stamm- und Bewegungsdaten einer industriellen Unternehmung beziehungsweise eines Produktionsbetriebs ist vor allem auch ein numerisches stochastisches Modell für Computersimulationen der Produktions-Planung und Steuerung. Es kann dabei flexibel an die jeweiligen individuellen Produktions-Verhältnisse angepasst werden. Der qualitative und quantitative Rahmen des Modells wird dabei von Art, Menge und Verfügbarkeit der einzusetzenden Ressourcen (Materialien, Maschinen, Mitarbeiter, Werkzeuge) und von den Produktions-Anforderungen (Menge und Art der Kundenaufträge mit ihren Erzeugnisstrukturen und Arbeitsplänen) festgelegt.

4.1. Konkurrierende Produktionsziele

Das grundlegende Zielproblem der industriellen Produktion besteht jedoch in der Divergenz ihrer Teilziele. Die Abbildung 3 zeigt die sieben hauptsächlichen Teilziele, die jeweils eine Mehrzahl teilweise widersprüchlicher Unterziele enthalten. Eine hohe Produktionsflexibilität geht in der Regel zu Lasten minimaler Kosten oder großer Produktionsmengen. Absolute Termintreue steht im Einzelfall oft im Widerspruch zu kurzen Durchlaufzeiten und kostenoptimalen Losgrößen. Abbildung 4 zeigt die Disharmonie von minimalen Herstellkosten (Stückkosten) zu minimalen Durchlaufzeiten. Hohe Kapazitätsauslastung bedingt im Allgemeinen hohe Fertigungs- und Transportlose, was minimalen Durchlaufzeiten zuwider läuft. Minimale Durchlaufzeiten erfordern hohe Materialverfügbarkeit, in der Regel verbunden mit höheren Beständen und damit mit höheren Kosten.

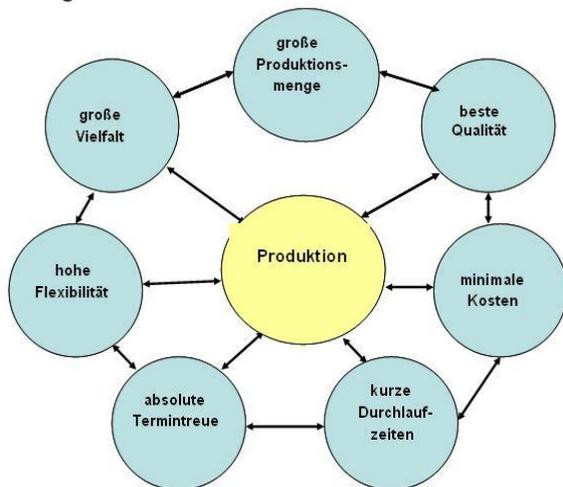


Abb. 3: Die 7 Haupt-Teilziele der Produktion

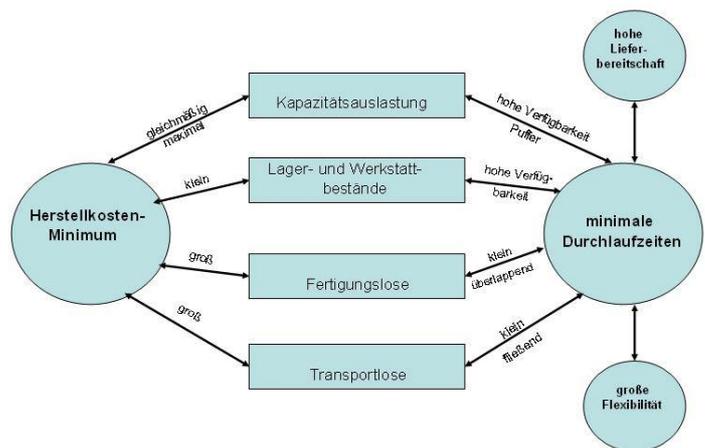


Abb. 4: Disharmonie der Produktionsziele

Die Konkurrenz der Teilziele in der Produktion, - wobei die Teilziele in ihrer Gesamtheit als Produktions-Zielsystem aufzufassen sind -, erfordert ein Austarieren, also einen Optimierungsprozess. Eine mögliche gemeinsame Zielsetzung ist dabei die Maximierung der Produktions-Wertschöpfung, wie sie in dem Kennzahlensystem Factory Efficiency zu Ausdruck kommt.

4.2. Computersimulation mit TPS

Bei der großen Vielzahl von Planungselementen bereits bei einem kleinen Produktionsbetrieb mit relativ wenigen Aufträgen ist es nicht mehr möglich, ein flexibles und gleichzeitig deterministisches Planungsmodell zu entwickeln mit deterministischen Lösungsalgorithmen, die zu eindeutigen Ergebnissen führen. TPS ist daher so konstruiert, dass mit seiner flexiblen Konfiguration kombiniert mit der Beschickung mit den relevanten Produktionsdaten unter teilweisem Einsatz der Fuzzy Logic ein stochastisches und jeweils weitgehend isomorphes Modell der Produktion und der erforderlichen Prozesse entsteht. Die Fülle der Lösungsmöglichkeiten, wie sie auch in jedem Produktionsbetrieb besteht, die ständige Veränderung der Verhältnisse und die dabei konkurrierenden Produktionsziele sind letztlich nur mittels eines planvollen Suchens nach zufriedenstellenden Ergebnissen zu bewältigen. Gerade hierfür stellt TPS ein umfassendes und flexibles heuristisches Simulationsmodell der Produktion dar. Die Vielzahl unterschiedlicher Ziele sowie die ständig wechselnden Verhältnisse und Bedingungen in der Produktion erfordern die Heuristik, also die Kunst, durch planmäßiges Suchen wenigstens annähernd, möglichst aber weitgehend, zu zufriedenstellenden Ergebnissen zu kommen.

TPS als Supply Chain Navigator

Mit TPS kann die Terminierung beziehungsweise Einlastung tausender Aufträge mit einem Vielfachen an Arbeitsfolgen zur Bearbeitung auf Hunderten von Kapazitätseinheiten (Maschinen und/oder Arbeitsplätze) in wenigen Minuten (je nach Modell-Umfang in einer bis zehn Minuten) berechnet werden. Das ermöglicht die Durchführung von Planungsläufen mit der Variation zahlreicher unterschiedlicher Parameter in kurzer Zeit, also echte Computersimulationen der Produktionsplanung eines industriellen Betriebs. Die Skalierbarkeit, Differenziertheit und Modularität des TPS-Systems ermöglicht eine weitgehend exakte Abbildung der Strukturen und Anforderungen jeden Industriebetriebs. TPS kann dadurch zu einem wirklichkeitsgetreuen, also isomorphen Planungsmodell konfiguriert werden.

Die nachstehende Tabelle (Abbildung 5) vermittelt einen Überblick über die Einsatz-Variabilität von TPS bei unterschiedlichen Zielsetzungen und über die jeweiligen Konsequenzen der jeweiligen Zielverfolgung. Dabei ist jedoch zu beachten, dass vom PPS- beziehungsweise ERP-System mit den TPS-Stammdaten und/oder Bewegungsdaten die zur Durchführung der jeweiligen Strategien erforderlichen Informationen bereitgestellt werden müssen. TPS verfügt hierfür über ein offenes, flexibel anpassbares Datenmodell.

Ziele	Strategie	Aktionen	Konsequenzen
Sicherung Termintreue Minimierung DLZ geringe Bestände WIP	Vorrangig Termintreue (Standard-Einstellung)	Frühestmöglicher Start Engpass-Erkennung Krisen-Frühwarnung	Keine Rüstoptimierung Ware zu früh fertig
Rüstzeitverringerung Erhöhung produktive Zeiten Stückkostensenkung	Losgrößenoptimierung (Bündelung; kostenoptimale Periodenlänge; min./max. Losgrößen)	Vergrößerung der Lose Pufferbildung (Warteschlangen)	Verlängerung der DLZ Termingefährdungen Erhöhung Work in Prozess
Termingenauigkeit geringe Lagerbildung	Termingenauigkeit (Iteration der Terminierung)	Spätestmöglicher Start mehrere Planungsläufe	Keine Terminpuffer (Risiko Termintreue) längere Planungsläufe
Verringerung der DLZ Minimierung Work in Prozess	Überlappte Fertigung	Überlappung der Afos mit Iterationsläufen (Artikel-, Auftrag, Afo-orientiert)	Hohe Anforderungen an Organisation des Material- flusses
Rüstzeitminimierung an mehreren Arbeitsplätzen	Rüstzeitoptimierung (Bündelbildung je Fertigungsstufe)	Mehrfache Pufferbildung Stufenkonzept	Verlängerung der DLZ Bestandserhöhungen
Bevorzugung bestimmter Auftragsarten (z.B. Kunden)	Auftragssteuerung (Variation der Prioritäts- Bildung)	Differenzierte Prioritäts- steuerung , zusätzliche Prioritätskriterien	Längere DLZ für bestimmte Artikel (Aufträge)

Abbildung 5: TPS-Simulations-Strategien

4.3. Strategie: vorrangig Termintreue

Mit der Standard-Einstellung von TPS werden vorrangig die Ziele Termintreue (zum Beispiel Einhaltung der den Kunden bestätigten Termine), bei möglichst kurzen Durchlaufzeiten und geringen Beständen verfolgt. Um terminlich auf der sicheren Seite zu sein, werden alle Arbeitsfolgen zum frühest möglichen Termin gestartet. Realisierte und drohende Terminüberschreitungen werden täglich als Krisen-Warnung angezeigt. Ferner werden die Engpässe aufgezeigt, an denen sich die Arbeit aktuell staut beziehungsweise in Zukunft zu stauen droht; die es dann mit geeigneten Maßnahmen (z.B. Überstunden) frühzeitig abzubauen gilt. Diese Strategie hat eine Reihe, gegebenenfalls unerwünschte oder zumindest nachteilige Konsequenzen. Grundsätzlich werden höhere Rüstkosten entstehen, da die Lose und auch die Auftragspuffer zur Rüstzeitoptimierung vor den Engpassmaschinen möglichst klein (entsprechend den durchzuführenden Kundenaufträgen) gehalten werden sollten. Viele Rüstvorgänge erhöhen die Stückkosten, mindern gleichzeitig die Kapazität und damit den möglichen Ausstoß. Eine konsequente, nachhaltige Verfolgung dieser Strategie führt ferner dazu, dass je nach Auftragsbestand eine Reihe Aufträge früher als erforderliche bearbeitet und fertig werden. Das führt zu entsprechend höheren Lagerbeständen.

4.4. Strategie: Losgrößenoptimierung

Die Standard-Losgrößenoptimierung wird in TPS individuell für jedes Erzeugnis und jede einzelne Fertigungskomponente streng nach dem tatsächlichen Kundenbedarf, sowohl weitgehend termingerecht, als auch vorrangig kostenoptimal berechnet und bearbeitet. Dabei werden die Kundenaufträge einer Optimierungsperiode zur Rüstzeitreduzierung in einem Fertigungsauftrag zusammengefasst. Ist der Kundenbedarf in einer Optimierungsperiode größer als die definierte maximale Losgröße, wird der Bedarf auf mehrere Lose gesplittet. Die Optimierungsperiode, die nach der Andler'schen Formel berechnet wird, richtet sich nach dem prognostizierten Jahresbedarf sowie dem Stückkostenminimum und kann individuell entsprechend der rollierenden Bedarfsentwicklung für jede Komponente variiert werden. Ziel dieser Strategie ist zunächst die Rüstzeitverringerung, verbunden mit einer Stückkostensenkung und der Erhöhung der produktiven Zeiten. Eine damit verbundene Vergrößerung der Fertigungslose führt grundsätzlich zur Bildung von Auftragspuffern und in Folge davon zur Verlängerung der Durchlaufzeiten einzelner Erzeugnisse und zur Erhöhung des Bestandes an unfertigen Erzeugnissen. Die Zeitdynamik dieser Losgrößenoptimierung als Effekt der rollierenden Planung hilft zu verhindern, dass am Kundenbedarf vorbeiproduziert wird.

4.5. Strategie: Termingenaugkeit

Bei der Strategie „Termingenaugkeit“ wird im Gegensatz zur Strategie „vorrangigen Termintreue“ die einzelne Arbeitsfolge zeitlich so gestartet, dass die Erzeugnisse und ihre Komponenten erst zum vorgegebenen Termin (zum Beispiel „bestätigter Termin“, „Kundenwuschtermin“, „Akkreditivtermin“) und nicht früher fertig gestellt werden. Die Starttermine zahlreicher Arbeitsfolgen werden dabei in der Regel entsprechend verzögert. Selbstverständlich kann hier dem jeweiligen Zieltermin auch ein zeitlicher Sicherheitspuffer vorgeschaltet werden. Hauptziel dieser Strategie ist es, den Bestand an unfertigen Waren (work in process) dem Bedarf entsprechend zu optimieren, möglichst ohne den Endtermin zu gefährden. Je nach Umfang und Struktur des Auftragsbestands können allerdings für einzelne Arbeitsplätze (Kapazitätseinheiten) mehr Beschäftigungslücken entstehen als in der Standard-Strategie. Um dieses Ziel der Termingenaugkeit zu erreichen, sind eine Iteration der Terminierung, also mehrere Terminierungsläufe erforderlich mit entsprechender Verlängerung der Rechenzeit. In TPS wird jedoch ein Verfahren angewendet, das bereits bei drei Iterationsläufen zur optimalen Terminierung und im Vergleich zu anderen Simulationsmodellen zu sehr kurzen Rechenzeiten führt. Allerdings wird diese Strategie von Produktionsmanagern, die vorwiegend Termintreue und kontinuierliche Produktionsauslastung anstreben, nicht bevorzugt.

4.6. Strategie: Überlappte Fertigung

Ein herausragendes Qualitätsmerkmal von TPS ist die Option, die Arbeitsfolgen eines Fertigungsauftrags zeitlich optimal überlappt planen zu können. Je nach Erzeugnisart mit variablen Rüst- und Ausführungszeiten der einzelnen Arbeitsfolgen und unterschiedlichen Kapazitäten der Transportbehälter können dabei die Überlappungsmengen variieren. Bei einer Serienfertigung mit entsprechenden Losgrößen führt diese Strategie zu einer wesentlichen Verkürzung der Durchlaufzeiten und der Bestände an unfertiger Ware. In TPS wird die Überlappung der einzelnen Fertigungsaufträge mittels Iteration auf der Ebene der jeweiligen Arbeitsfolgen realisiert, wobei vor allem auch die unterschiedlich langen Rüstprozesse berücksichtigt werden. Eine wesentliche Voraussetzung ist jedoch die Organisation eines stringenten Materialflusses, was bei Werkstattfertigung in Mittelbetrieben oft nicht der Fall ist und auf große Widerstände stößt.

4.7. Strategie: Rüstzeitoptimierung

Die Strategie „Rüstzeitoptimierung“ ist vor allem dann anzuwenden, wenn einzelne Fertigungsanlagen lange Rüstzeiten (Auf- und Abrüsten mit Reinigungsarbeiten) erfordern, und außerdem die Rüstzeiten zwischen einzelnen Erzeugnissen erheblich variieren (zum Beispiel Lackieranlagen, Mischanlagen, Press-Straßen als Fließinseln). Hier werden je nach Auftragsstruktur und Prozessanforderungen mehrere verschiedene Fertigungsaufträge mit gleichen Fertigungskriterien zusammengefasst (Bündelbildung) und die Bündel danach entsprechend der rüstoptimalen Reihenfolge in Auftragspuffern aufgereiht. Zur Bildung dieser Auftragspuffer ist die Dauer der Perioden (ein bis mehrere Tage) festzulegen, in welchen die auf der betreffenden Anlage zu fertigenden Aufträge gesammelt und nach den Bearbeitungskriterien sortiert werden. Werden für mehrere Fertigungsanlagen umfangreiche Rüstzeitoptimierungen erforderlich, werden für die jeweiligen Teilprozesse, die eine Reihe von Fertigungsanlagen umfassen können, in TPS die sogenannten Fertigungsstufen gebildet. Es werden dann für jede Fertigungsstufe entsprechende Puffer gebildet. Die Fertigungsstufen werden entsprechend dem Materialfluss angeordnet.

TPS als Supply Chain Navigator

Die Terminierung wird für jede Stufe entsprechend ihrer Sequenz getrennt durchgeführt und die Ergebnisse als Terminvorgaben von einer Stufe auf die nächste Stufe vererbt. Das Ergebnis dieser Strategie ist eine Rüstzeitmin-derung, die entsprechend den maximalen Einzelrüstzeiten und der Anzahl rüstzeitrelevanter Anlagen ein erhebliches Ausmaß annehmen kann. Ein wichtiger Planungsparameter ist hierbei die Dauer der Bündelungsperiode, die mit einem einfachen Befehl beliebig variiert werden kann. Der nicht unerhebliche Nachteil besteht infolge und in Abhängigkeit zum Umfang der Pufferbildung in der Verlängerung der durchschnittlichen Durchlaufzeiten und in entsprechenden Erhöhungen der Bestände in Arbeit.

4.8. Strategie: Auftragssteuerung

Mittels spezifischer Prioritätskriterien mit differenzierten individuell gestaltbaren Ausprägungen und der Variation ihrer Gewichtung kann die Terminierung und Durchlaufzeit verschiedener Auftragsarten gesteuert werden. So können Kunden- und Lageraufträge, bestimmte Artikelgruppen oder Kundengruppen vorrangig terminiert werden. Typisch ist auch die Differenzierung nach Kunden-, Plan- und spezifischen Eilaufträgen. Entsprechend der Gestaltung der zeitdynamischen Priorisierung in TPS bilden sich typische Auftragscluster, die für jeden Fertigungsbetrieb eine bedarfsgerechte Abwicklung der Fertigung ermöglichen.

4.9. Kombination der Strategien

Selbstverständlich können die hier aufgezeigten Grundstrategien in unterschiedlicher Gewichtung und Intensität miteinander kombiniert werden. Ein Strategiemix wird in der Regel auch der praktische Anwendungsfall sein. Parallel zur laufenden Produktion entsprechend einer bestehenden TPS-Planung, können beliebig unterschiedliche und beliebig viele Alternativen mit dem vorhandenen oder einem modifizierten Datenbestand in kurzer Zeit als Simulation ausgetestet werden. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt über das benutzerfreundliche flexible OLAP-Berichtswesen, wobei der Grad der jeweiligen Zielerreichung mittels entsprechender Kennzahlen quantifiziert wird.

Die tatsächliche Produktion weicht im Allgemeinen täglich mehr oder weniger stark von der Planung für den laufenden Tag ab. Entsprechend der Rollierenden Detail-Planung erfolgt jedoch mindestens täglich eine komplette Neuplanung, wodurch die Abweichungen korrigiert und entsprechende Plankorrekturen kurzfristig und letztlich automatisch berücksichtigt werden.

4.1. Delta-Krisenliste

Unter Terminaspekten werden bereits entstandene und/oder künftig drohende Terminüberschreitungen als Krise bezeichnet. Diese werden in TPS in der sogenannten Krisenliste, die nach den verschiedensten Kriterien (Zum Beispiel Auftragsarten oder Kundengruppen) sortiert werden kann, angezeigt. Die Ursachen der Terminüberschreitungen sind die verschiedensten Ressourcenengpässe, die in TPS per Drill-Down aufgezeigt werden können. Sollen größere Sonderaufträge zusätzlich und vorrangig gefertigt werden, kann mit diesen zusätzlichen Anforderungen ein neuer TPS-Lauf durchgeführt werden. Die neue Krisenliste wird mit der alten abgeglichen. Das Ergebnis ist die Delta-Krisenliste, welche die terminlichen Konsequenzen der geplanten Sondermaßnahme für die vorhandenen Kundenaufträge und bezüglich der künftigen Engpässe aufzeigt. Damit können entsprechende Engpass-überwindende Handlungsalternativen entwickelt werden.

5. Voraussetzungen und Nutzen

5.1. TPS System-Integration

Die Anbindung von TPS an ein ERP-System ist problemlos durchführbar. TPS braucht für die automatische Verarbeitung im Wesentlichen nur eine Übergabedatei mit einigen Tabellen. Diese werden vom ERP-System in einem vordefinierten Verzeichnis zur Verfügung gestellt.

In einem automatischen Verarbeitungs-Skript wird festgestellt, ob die Datei vorhanden ist. Falls ja, wird diese von TPS importiert. Danach erfolgt der TPS-Verarbeitungslauf. Die Ergebnisse werden als Output-Datei zur Verfügung gestellt, falls dies gewünscht wird. Diese Ergebnisse (z.B. Materialdispositionen, Termine der Kunden- und Fertigungsaufträge, Engpassinformationen) können in das ERP-System integriert und mit seinem spezifischen Berichtswesen verarbeitet werden.

Die Rückübernahme ist nach Abstimmung mit dem ERP-System individuell zu gestalten, stellt aber für Datenbank basierende Systeme kein Problem dar. Die gesamte Verarbeitung kann und ist bei bestehenden Installationen komplett automatisierbar. Beispielskripte sind verfügbar und können je nach Kundenwunsch angepasst werden (Einbindung BDE-Systeme, Einbindung von MIS-Systemen etc.).

Das TPS-System wird als Runtime-Version ausgeliefert. Es arbeitet unter allen Windows-Betriebssystemen, alternativ unter UNIX oder LINUX. Die Hardware-Anforderungen richten sich nach dem Umfang der zu bearbeitenden Daten. Bei 1.500 Kundenauftragspositionen, 3.000 Fertigungsaufträgen, 50 000 Arbeitsfolgen und 250 Kapazitätseinheiten (Arbeitsplätze) reichen bereits ein Hauptspeicher von 256 MB und ca. 5 GB Plattenspeicher aus. Der Rechenlauf dauert bei diesem Umfang und einem Pentium IV-Processor ca. 1 Minute.

5.2. TPS-Nutzen

Höhe, Art und Umfang des mit dem TPS-Einsatz zu bewirkende Nutzens hängen zunächst selbstverständlich von der individuellen Ausgangslage ab. Auf Grund der einfachen Integration in ein bestehendes ERP-System als Component Software kann der bestehende DV-gestützte Planungs- und Steuerungsprozess grundlegend verbessert werden. Die Verwendung von TPS in der ersten Einführungsphase nur als Simulationsmodell erlaubt problemlos Parallel-Läufe zum bestehenden System. Die Ergebnisvergleiche können dabei alle Dispositionsparameter (z.B. Bestell- und Fertigungsvorschläge, Losgrößen, Termine, Engpassaussagen, Rüstvorgänge) betreffen.

TPS im produktiven Einsatz erbringt zunächst eine erhebliche Arbeitersparnis für die gesamte Fertigungsdisposition und die Terminüberwachung. Allein diese Tatsache kann im Vorfeld zu erheblichen personellen Widerständen führen. Die personellen Einsparungen amortisieren die TPS-Investition bereits in wenigen Monaten. Dabei ersetzt TPS nicht nur den klassischen Fertigungsleitstand, sondern überwindet den mit unrealistischen und unwirtschaftlichen Konsequenzen verbundenen Bruch der zweistufigen MRP-II-Planung, die in den meisten ERP-Systemen noch vorherrscht. Dadurch führt TPS zu einer fundamental neuen Ausrichtung des Produktions-Planungs- und Steuerungsprozesses mit entsprechenden organisatorischen Veränderungen. Ist TPS mit seinen Planungs- und Optimierungsregeln einmal „zufriedenstellend“ eingestellt, arbeitet das System täglich oder schichtweise ohne manuelles Zutun, also automatisch. Der wöchentliche Wartungsaufwand (zum Beispiel Änderung und Ergänzung der Stammdaten) beträgt dabei weniger als eine Stunde. Die Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung, die Produktionsmeister und die Werksleitungen werden von Routinearbeiten entlastet, erhalten stimmige Arbeitsinformationen, mit wesentlich reduzierten Anforderungen hinsichtlich kurz- und mittelfristiger Improvisationsaktivitäten.

Je nach Ausgangslage und gewählter Planungsstrategie kann die Durchlaufzeit um bis zu 50 % reduziert, und die Lager erheblich (20-30 %) abgebaut werden. Bei entsprechender Rüstzeitminimierung sinken zwar die Stückkosten und steigt die Kapazität, die durchschnittliche Durchlaufzeit wird jedoch entsprechend erhöht. Ein wichtiger Kapazitätseffekt wird jedoch durch die engpassorientierte proaktive Produktionsplanung erzielt, die erst auf Grund der von TPS ermittelten Engpässen, möglich wird. Entscheidend wird meistens die Termintreue bei möglichst kurzen Durchlaufzeiten sein, so dass ein hier eingeschwungenes Optimum letztlich nur über die Steigerung der Produktionsleistung unter Einhaltung der betriebsindividuell marktseitig vorgegebenen Bedingungen beurteilt werden kann. Hier bietet TPS die Möglichkeit, in Verbindung mit einer systematischen Erfassung der Produktions-Ist-Daten im Rahmen eines Manufacturing Execution System (MES) mit dem neuartigen, hierarchischen Kennzahlensystem „Factory Efficiency“ die Wirtschaftlichkeit der Produktion und damit auch des TPS-Systems exakt zu ermitteln und nachhaltig zu überwachen.