

Methoden und Werkzeuge zur flussorientierten Kapazitätsplanung und -steuerung

Friedhelm Nyhuis, GTT Gesellschaft für Technologie Transfer mbH, Hannover

1 Einleitung

Die Anforderungen des Marktes nach kürzeren Lieferzeiten mit gleichzeitig verbesserter Termintreue sowie die firmenübergreifende Integration von Unternehmen in mehrstufige Lieferketten erfordern eine ständige Verbesserung der Reaktionsfähigkeit in der Produktion.

In der Vergangenheit wurde die Lieferfähigkeit über Bestände ausgeglichen, insbesondere über Produkt- oder Baustufenbestände. Die heutigen Rahmenbedingungen wie z.B. die zunehmende Teilevielfalt, die Schwankungen des Marktbedarfs und die Reduzierung der Innovationszyklen erfordern ein Umdenken in der logistischen Auslegung von Produktionssystemen in Richtung höherer Flexibilität und Reaktionsfähigkeit. Mit diesen Forderungen ergeben sich neue bzw. erweiterte Anforderungen an die Funktionalität von Systemen zur Produktionsplanung- und -steuerung (PPS).

Die heute eingesetzten PPS-Methoden und -Systeme betrachten überwiegend das Aufgabengebiet der Auftragssteuerung unter dem Aspekt der Harmonisierung von Belastungen und Beständen in der Produktion. Sofern sie über differenzierte Planungsalgorithmen verfügen, sind diese darauf ausgelegt, die Belastungen bei schwankendem Kapazitätsbedarf zu verschieben. Dabei wird in der Regel nur ein Teil der für die Auftragsbearbeitung benötigten Ressourcen betrachtet. Die Planungsergebnisse weisen deshalb bezogen auf den Rechenaufwand und den Optimierungsanspruch nur eine geringe Realisierungswahrscheinlichkeit auf.

Wenn man die Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung aus einer marktorientierten logistischen Sicht betrachtet, dann ergibt sich in erster Linie die Aufgabe, die Kapazitäten/Ressourcen dynamisch an den Kapazitäts-/Ressourcenbedarf anzupassen. Wenn man einen Idealzustand mit einer vollständigen Anpassung des Kapazitätsangebots an den dynamischen Kapazitätsbedarf erreicht, reduziert sich die Aufgabenstellung der PPS-Systeme auf eine einfache Auftragsdurchlaufplanung sowie auf das logistische Konfigurieren und das laufende Überwachen (Monitoring) der Materialflussskette.

Der folgende Beitrag erläutert die in der Software FAST/pro implementierten Methoden und Werkzeuge, die eine dynamische fluss- und bedarfsorientierte Kapazitätsregelung unterstützen. FAST/pro wurde als Add-on-Software zur Unterstützung von PPS-/ERP-Systemen entwickelt. Die Allgemeingültigkeit der FAST/pro-Methodik drückt sich u.a. darin aus, dass die Software in zahlreichen Unternehmen mit unterschiedlichen Auftrags-, Fertigungs- und Produktstrukturen erfolgreich eingesetzt wird. Zu den Anwendern gehören sowohl Einmalfertiger des Anlagenbaus als auch Massenfertiger der Automobilindustrie.

2 Anwendung der Durchlaufdiagramm-Methodik zur Analyse und Planung der Auftragsabwicklung in der Produktion

Das Trichtermodell und das Durchlaufdiagramm sind Werkzeuge zur Darstellung von Prozessparametern des Arbeitsplatzdurchlaufs. Das Trichtermodell zeigt den Prozesszustand als aktuelle Prozesswerte für einem definierten Zeitpunkt oder in Form von Mittelwerten für einen definierten Zeitraum (Bild 1, links). Die Trichterfüllung repräsentiert den Arbeitsvorrat vor dem Arbeitsplatz. Der Wert wird üblicherweise in Vorgabestunden (geplante Auftragszeit) berechnet. Der Abfluss aus dem Trichter wird mit dem Leistungsparameter Abgang pro Zeiteinheit beschrieben. Analog erfolgt die Definition des Zuflussparameters als Zugang pro Zeiteinheit. Der Quotient Bestand / Abgang beschreibt die Warteschlangenlänge am Arbeitsplatz (Bestandsreichweite).

Während das Trichtermodell eine anschauliche zeitpunkt- oder eine zeitraumbezogene Betrachtung der Prozessparameter ermöglicht, ist das Durchlaufdiagramm (Bild 1, rechts) ein ideales Werkzeug, um den dynamischen Verlauf der Prozessparameter des Arbeitsplatzes (z.B. Bestand, Auslastung, Durchlaufzeit und Termintreue) anschaulich darzustellen. Die Grafik in Bild 1 zeigt, wie das Durchlaufdiagramm aus dem Trichtermodell abgeleitet werden kann. Ausgehend von einem aktuellen Bestand am Arbeitsplatz (Anfangsbestand) werden über der Zeitachse der Zugang und der Abgang in Form von kumulierten Fortschrittswerten aufgetragen.

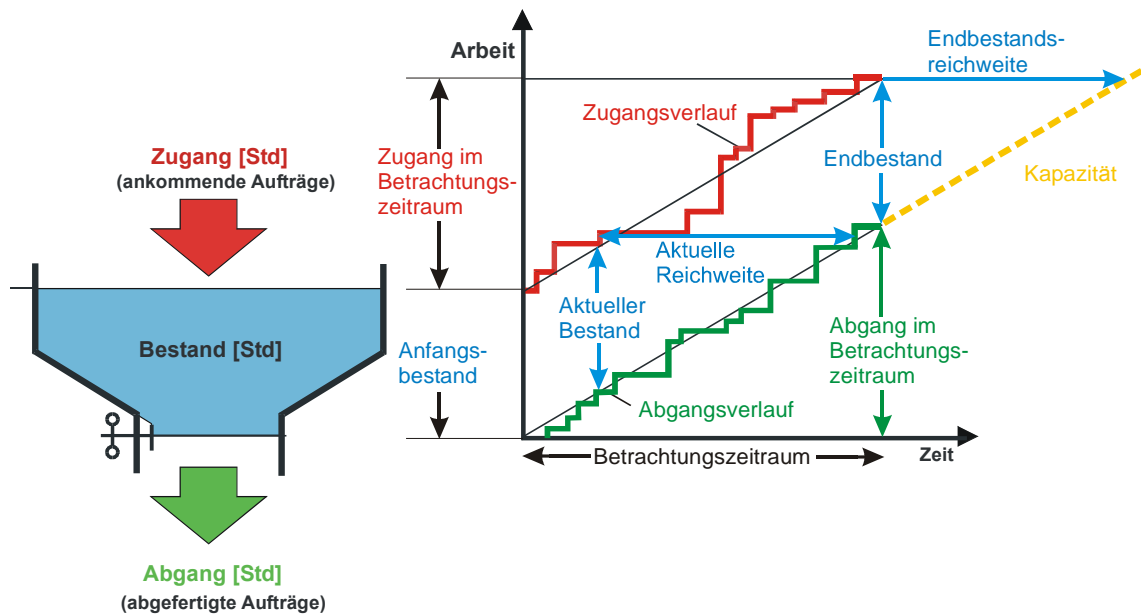


Bild 1: Trichtermodell und Durchlaufdiagramm

Jeder Stufensprung auf der Abgangsachse entspricht dabei einer Rückmeldung des Arbeitsplatzes. Die Höhe des Stufensprungs repräsentiert die Vorgabezeit des abgemeldeten Arbeitsgangs. Bei Arbeitsplätzen, die aus mehreren Teilsystemen bestehen, können gleichzeitig auch mehrere Rückmeldungen gebucht werden. In diesem Falle setzt sich ein Stufensprung der Abgangskurve aus mehreren Einzelbuchungen zusammen. Jeder Stufensprung auf der Zugangskurve entspricht der Fertigstellung eines Arbeitsgangs an dem vorgelagerten Arbeitsplatz bzw. der Bereitstellung von Material für die Bearbeitung des ersten Arbeitsgangs. Der Stufensprung entspricht analog zur Abgangsdarstellung dem Arbeitsinhalt, der an dem betrachteten Arbeitsplatz zu bearbeiten ist.

Der Bestand am Arbeitsplatz ergibt sich aus dem vertikalen Abstand der Zu- und Abgangskurve zu einem beliebigen Zeitpunkt. Wie man dem Verlauf der Zu- und Abgangskurve entnehmen kann, hatte der Arbeitsplatz im gesamten Betrachtungszeitraum genügend Bestand, um durchgängig arbeiten zu können. Die Steigung der Abgangskurve (Leistungskurve) kann demnach als Kapazitätswert für die künftige Planung des Arbeitsplatzes verwendet werden, wenn der gewählte Betrachtungszeitraum grundsätzlich einem repräsentativen Zeitraum für die Bewertung des Arbeitsplatzes darstellt und wenn die Prozessparameter des Arbeitsplatzes nicht geändert werden (Personalbesetzung, Arbeitszeiten, Bearbeitungstechnologie usw.).

Die Durchlaufzeit bzw. Reichweite des Arbeitsplatzes ergibt sich aus dem horizontalen Abstand der Mittelwertkurven des Zu- und Abgangsverlaufs. Aufgrund von Reihenfolgevertauschungen bei der Abarbeitung der Aufträge entspricht die gemessene Durchlaufzeit der einzelnen Arbeitsgänge in der Regel nicht der berechneten Bestandsreichweite am Arbeitsplatz. Die Meßwertabweichungen hängen wesentlich von der Länge des Auswertungszeitraums, von der Schwankungsbreite der Bestandsreichweite und vom Abfertungsverhalten am Arbeitsplatz ab.

Neben den Prozessparametern des Ist-Durchlaufs bietet das Durchlaufdiagramm auch die Möglichkeit der Analyse der Terminalsituation. Bild 2 zeigt zusätzlich zum Ist-Abgangsverlauf auch den Soll-Abgangsverlauf der Arbeitsgänge am Arbeitsplatz. Der Soll-Abgangsverlauf spiegelt das Ergebnis der Rückwärtsterminierung wider.

Die Soll-Abgangskurve verläuft oberhalb und nahezu parallel zum Ist-Abgangsverlauf bzw. zur Kapazitätskurve. Die Lage oberhalb des Ist-Abgangsverlaufs bedeutet, dass es sich um eine Rückstandssituation handelt. Der vertikale Abstand entspricht dabei dem Rückstand in Stunden. Der horizontale Abstand entspricht dem Rückstand in Tagen (Rückstandsreichweite). Die Rückstandsreichweite drückt aus, wie viele Tage der Arbeitsplatz bezogen auf die aktuelle Kapazität arbeiten muß, um den Rückstand abzubauen. Die Parallelität der Soll- und Ist-Kurven zeigt auf, dass der Rückstand ohne eine Kapazitätserhöhung oder eine Belastungsanpassung nicht abgebaut werden kann. Welche dieser Maßnahmen angewendet wird, hängt in der Praxis jeweils von der aktuellen

Unternehmenssituation ab. Im Durchlaufdiagramm kann man lediglich Erkennen, dass ein Handlungsbedarf zum Ausgleich der Rückstandssituation besteht.

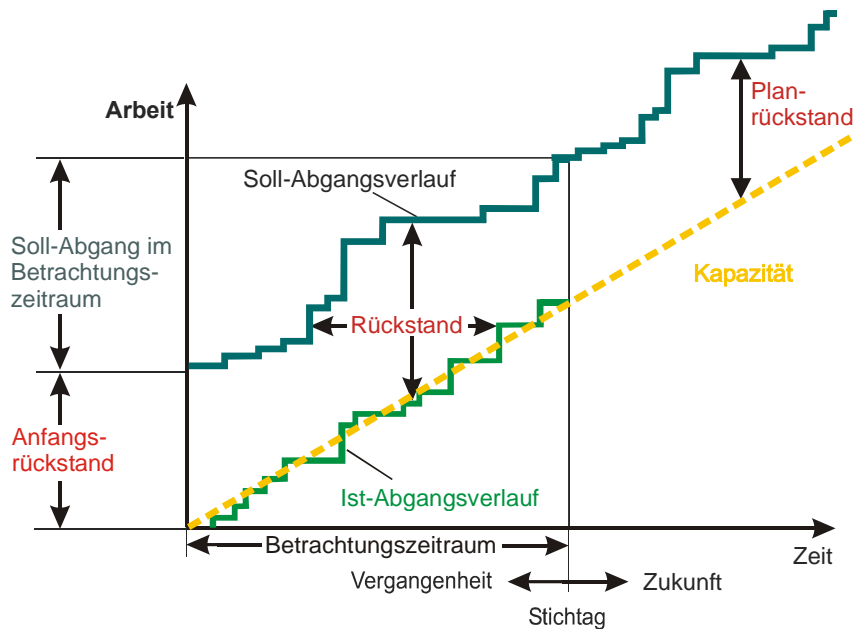


Bild 2: Darstellung der Terminsituation im Durchlaufdiagramm

3 Anwendung von Terminierungs- und Einplanungsmethoden zur Kapazitätsplanung

Eine unmittelbare Ableitung des Kapazitätsbedarfs aus dem Durchlaufdiagramm ist in Rückstandssituationen (Bild 2) grundsätzlich nicht möglich, wenn der betrachtete Arbeitsplatz im Materialfluss hinter einem Engpassarbeitsplatz liegt. In diesem Fall erfolgt der Zugang der Arbeitsgänge an einem Arbeitsplatz nicht zu den Terminen, die mit Hilfe einer einfachen Rückwärts- oder Vorwärtsterminierung ermittelt wurden. Es ist vielmehr notwendig, den künftigen Zugangsverlauf anhand einer dynamischen Materialflusssimulation unter Berücksichtigung der Konkurrenzsituation der Aufträge zu ermitteln.

Vor der Beschreibung der dynamischen Materialflusssimulation sollen zunächst die klassischen Terminierungsarten zur Durchlaufterminierung von Aufträgen erläutert werden (Bild 3).

3.1 Klassische Terminierungsmethoden

Bei allen aufgeführten Terminierungsarten erfolgt eine Differenzierung nach Durchführungszeit (Summe aus Rüst- und Bearbeitungszeit), Übergangszeit und Mindestübergangszeit.

Rückwärtsterminierung

Die Rückwärtsterminierung orientiert sich am Soll-Ende des Auftrages. Ausgehend vom Soll-Ende des Auftrages werden die Ecktermine der einzelnen Arbeitsgänge und damit letztlich der Soll-Starttermin des ersten Arbeitsgangs ermittelt.

Vorwärtsterminierung

Die Vorwärtsterminierung orientiert sich am Soll-Start des Auftrages bzw. am aktuellen Datum. Ausgehend vom Soll-Start werden die Ecktermine der einzelnen Arbeitsgänge und damit letztlich der Soll-Endtermin des letzten Arbeitsgangs ermittelt.

Übergangszeitverkürzung

Eine Übergangszeitverkürzung wird bei der Terminierung eingesetzt, wenn der Soll-Starttermin gemäß

Rückwärtsterminierung in der Vergangenheit liegt und wenn das Soll-Ende des Auftrages nicht in die Zukunft verschoben werden soll. Bei der klassischen Übergangszeitverkürzung erfolgt eine gleichmäßige prozentuale Verkürzung für alle Arbeitsgänge.

Belastungsterminierung

Die Belastungsterminierung ist eine von GTT entwickelte Variante der Übergangszeitverkürzung, bei der die Übergangszeiten nicht gleichmäßig verkürzt werden. Ausgehend vom ersten Arbeitsgang werden die Übergangszeiten jeweils auf die Mindest-Übergangszeit verkürzt, bis erstmals der Soll-Endtermin der Rückwärtsterminierung eines Arbeitsgangs erreicht wird. Von diesem Arbeitsgang an erhalten alle weiteren Arbeitsgänge die Standard-Übergangszeit.

Von diesen Terminierungsarten ist die Rückwärtsterminierung grundsätzlich nicht für eine Kapazitätsplanung verwendbar, wenn ein Arbeitsgangtermin der Vergangenheit liegt. Die Anwendung der Vorwärtsterminierung ist bei einer kundenorientierten Fertigung nicht sinnvoll, weil die Soll-Termine nicht eingehalten werden. Die Terminierung mit Übergangszeitverkürzung sowie die Belastungsterminierung liefern bei ausreichendem Kapazitätsangebot (keine Engpasssituation für Auftragsdurchlauf) grundsätzlich realistische Kapazitätsbedarfe. Die Belastungsterminierung bietet dabei den Vorteil, dass sie versucht, einen gegenüber dem Soll-Durchlauf aufgetretenen Rückstand möglichst schnell auszugleichen (Ermittlung des idealen Kapazitätsbedarfs). Der Kapazitätsbedarf wird damit auf einen früheren Zeitpunkt als bei der Übergangszeitverkürzung gesetzt. In dem Terminierungsbeispiel wird bei der Belastungsterminierung der Arbeitsgang „C“ zeitgleich wie die Rückwärtsterminierung eingeplant, während die Übergangszeitreduzierung den Termingleichstand erst zum letzten Arbeitsgang vorsieht. Die Belastungsterminierung unterstützt damit eine Beruhigung der Auftragsabwicklung im Sinne des FIFO-Prinzips (FIRST IN FIRST OUT).

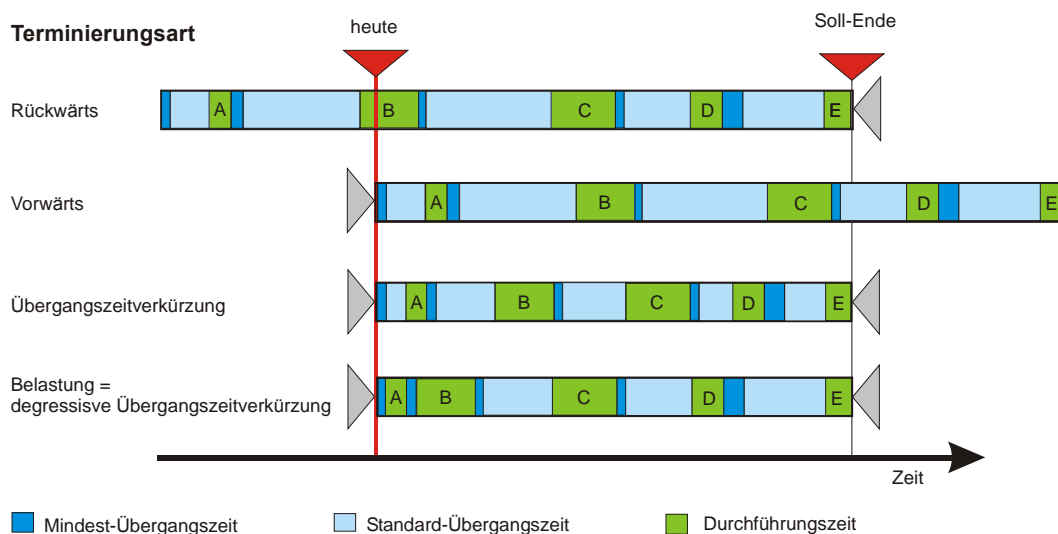


Bild 3: Klassische Terminierungsarten zur Ermittlung des Kapazitätsbedarfs

3.2 Materialflusssimulation als Werkzeug zur dynamischen Kapazitätsplanung

Bei der Materialflusssimulation handelt es sich um eine in der FAST/pro-Software eingesetzte spezielle Art der Kapazitätsterminierung, bei der die Einplanung der Aufträge unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen erfolgt (z.B. Maschinen- und Personalkapazitäten, Material).

Die Einplanung erfolgt grundsätzlich in der Reihenfolge der Dringlichkeit der Aufträge (Restschlupf je Arbeitsgang). Durch Vergabe externer Prioritäten auf Auftragsebene kann die Dringlichkeit übersteuert werden. Bei der Einplanung der Aufträge wird für alle Arbeitsgänge geprüft, wann die Bearbeitung des Arbeitsinhaltes unter der gegebenen Kapazitätssituation beendet sein kann. Dabei werden der Ankunftszeitpunkt und die Vorgabezeit des Arbeitsganges sowie die dynamische Kapazität und die bereits zuvor verplante Kapazität des jeweiligen Arbeitsplatzes berücksichtigt. Wenn die kapazitive Einplanung zu einem voraussichtlichen Auftragsendtermin führt, der später liegt als der Soll-Endtermin

des Auftrages, dann wird geprüft, ob durch Vorziehen des Auftrages eine bessere Endtermineinhaltung erreicht werden kann.

Wenn bei der Einplanung eine Plan-Übergangszeit ermittelt wird, die länger ist als die maximal zulässige Übergangszeit (Planungsparameter im Arbeitsplatzdatensatz), dann wird optional eine Prüfung durchgeführt, ob der Auftrag auch zu einem späteren Zeitpunkt gestartet werden könnte, ohne einen späteren Plan-Endtermin an dem Engpassarbeitsplatz zu erreichen (kapazitive Rückwärtseinlastung).

Als Ergebnis der Materialflusssimulation liefert FAST/pro realistische Fertigstellungstermine für die einzelnen Arbeitsgänge und damit realistische Informationen über Engpass- und Leerlaufsituationen an den Arbeitsplätzen. Mit Hilfe von Kennzahlen werden einerseits die statischen und dynamischen Engpässe und andererseits die dynamischen Kapazitätsbedarfe der Arbeitssysteme ermittelt.

4 Praktische Vorgehensweise zur dynamischen Kapazitätsplanung mit FAST/pro

Die dynamische Kapazitätsplanung erfolgt in folgenden aufeinander aufbauenden Schritten:

- **Definition und Einstellung der Kapazitätsdaten**
- **Durchlaufterminierung des Auftragsbestandes**
- **Ermittlung statischer Engpässe**
- **Materialflusssimulation/Kapazitätsterminierung**
- **Ermittlung des dynamischen Kapazitätsbedarfs**

Die einzelnen Schritte werden anhand eines Praxisbeispiels auf der Basis eines realen FAST/pro-Datenbestandes erläutert.

4.1 Definition und Einstellung der Kapazitätsdaten

Anhand eines Engpassarbeitsplatzes werden Anwendungsfunktionen von Durchlaufdiagrammen erläutert (Bild 4). Im Beispiel handelt es sich um ein Bearbeitungszentrum zur Bearbeitung von komplexen Gußteilen in einer klassischen Werkstattfertigung. Der Arbeitsplatz arbeitet im 3-Schicht-Betrieb.

Das Durchlaufdiagramm zeigt über der Zeitachse (X-Achse) den Bestand, die rückgemeldete Arbeit (Ist-Abgang) und der Kapazitätsbedarf auf Basis der Vorgabestunden laut Arbeitsplanung an. Die Anzeige der Leistung, des Kapazitätsbedarfs und der Kapazität erfolgt dabei als kumulativer Kurvenverlauf, um die dynamische Entwicklung der einzelnen Werte und der Abweichungen der Werte untereinander besser erkennen zu können. Die Leistungskurve in der Grafik zeigt beispielsweise einen gleichmäßigen Verlauf in den Monaten Februar, April und Mai, während im März keine Leistung verbucht wurde (Maschinenausfall durch eine Reparatur). Die Gesamtleistung in Höhe von zirka 1300 Vorgabestunden läßt auf einen 3-Schicht-Betrieb mit einer durchschnittlichen Leistung von etwa 22 Vorgabestunden je Arbeitstag schließen.

Die Kapazitätsbedarfskurve verläuft insgesamt (bezogen auf den Zeitraum vom Februar bis zum Juli) etwa parallel zur Leistungskurve. Der aktuelle Rückstand zum Stichtag (5. Juni 2000) in Höhe von zirka 500 Stunden ergibt sich überwiegend aus dem Leistungsverlust durch die Maschinenreparatur im März.

Die Rückstandselemente (rote Rechtecke Abgangsrückstand) zeigen den aktuellen Rückstand für einzelne Arbeitsgänge an (Länge des Rechtecks). Die Höhe der Rechtecke entspricht der Vorgabezeit des rückständigen Arbeitsgangs am betrachteten Arbeitsplatz. Der größte Rückstand eines Arbeitsgangs beträgt an dem Beispielarbeitsplatz mehr als drei Monate.

Aus der Entwicklung des Bestandsverlaufs (Ist-Bestand) kann man erkennen, dass der Arbeitsplatz offensichtlich einen Engpass darstellt, da die Bestandsreichweite (Quotient aus Arbeitsplatzbestand und mittlerer Kapazität) bereits seit Anfang April über 15 Arbeitstage beträgt. Der aktuelle Rückstand in Höhe von 500 Stunden entspricht einer Reichweite von mehr als fünf Wochen.

Der künftige Rückstandsverlauf ergibt sich aus dem Abstand zwischen der Kapazitätskurve (Dyn Kapazität Zukunft) und dem Kapazitätsbedarf (Soll-Abgang). Die Kapazitätskurve wurde dabei durch

Extrapolation aus dem Leistungsverlauf der Vergangenheit ermittelt. Wenn die Kapazität nicht durch Sondermaßnahmen erhöht werden kann (z.B. Zusatzschichten an den Wochenenden) und die am Arbeitsplatz eingeplanten Aufträge nicht auf andere Maschinen verlagert werden können, dann wird der Rückstand bis Ende Juli gegenüber der aktuellen Situation weiter steigen.

Dieses Beispiel vermittelt einen ersten Eindruck von den Nutzungsmöglichkeiten von Durchlaufdiagrammen zur Einstellung und Überprüfung der Kapazitätsdaten sowie zur kapazitiven Bewertung des aktuellen Auftragsbestandes.

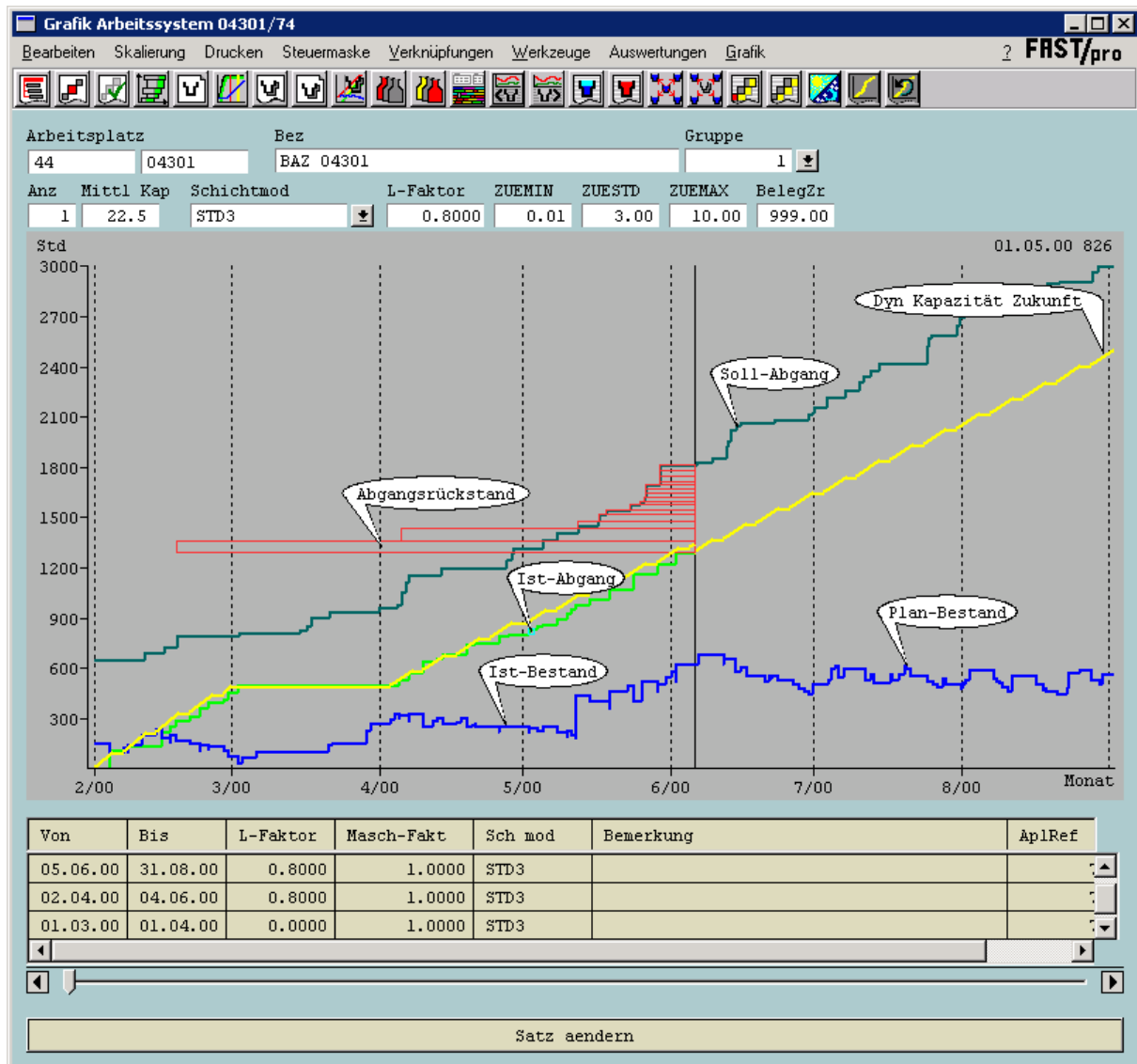


Bild 4: Einstellung von Kapazitätsdaten mit Hilfe des Durchlaufdiagramms

Aus den Rückmeldungen der Vergangenheit (Ist-Abgang = Leistung) und den im Unternehmen verwendeten Schichtmodellen wird der sogenannte Leistungsfaktor ermittelt. Der Leistungsfaktor ist der Quotient aus der rückgemeldeten Leistung (Vorgabestunden laut Arbeitsplanung) und der Laufzeit der Maschine. Der Beispielarbeitsplatz weist im Auswertungszeitraum bei einem 3-Schicht-Betrieb einen Leistungsfaktor von 0.8 (80 Prozent) auf. Im Monat März ist der Leistungsfaktor wegen der Reparatur auf 0.0 gesetzt worden. Der Leistungsfaktor ist zumindest für die letzten acht Wochen vor dem Stichtag repräsentativ, da der Arbeitsplatz durchgängig ausreichenden Bestand aufwies.

Über die in der Zukunft geplanten Schichtmodelle und den aus der Vergangenheit ermittelten Leistungsfaktor lassen sich damit realistische Kapazitätswerte für die Kapazitätsbedarfsanalyse und

die Simulation des Auftragsdurchlaufs ermitteln. Der Bestandsverlauf am Arbeitsplatz wird benötigt, um Leerlaufverluste aufgrund von Arbeitsmangel bei der Berechnung des Leistungsfaktors berücksichtigen zu können.

4.2 Durchlaufterminierung des Auftragsbestandes

Die Durchlaufterminierung der Aufträge erfolgt sowohl als Rückwärtsterminierung zur Ermittlung der aktuellen Terminalsituation (Soll-Durchlauf) als auch als Belastungsterminierung (Opt-Durchlauf) zur Ermittlung des optimalen Kapazitätsbedarfs.

Das Terminierungsbeispiel (Bild 5) zeigt den Auftrag 146030000, dessen Soll-Starttermin (Woche 18) bereits um mehrere Wochen überschritten ist (aktuelles Datum = Woche 23). Die Übergangszeiten wurden bei der Terminierung so verkürzt, dass nur noch die Wochenenden (orangefarbene Durchlaufzeitanteile) als theoretisch freie Übergangszeiten des optimalen Auftragsdurchlaufs angezeigt werden. Das Verkürzungspotential des Auftrags reicht noch für eine rechtzeitige Fertigstellung aus, wenn an jedem Arbeitsplatz die benötigte Kapazität termingerecht zur Verfügung gestellt werden kann.

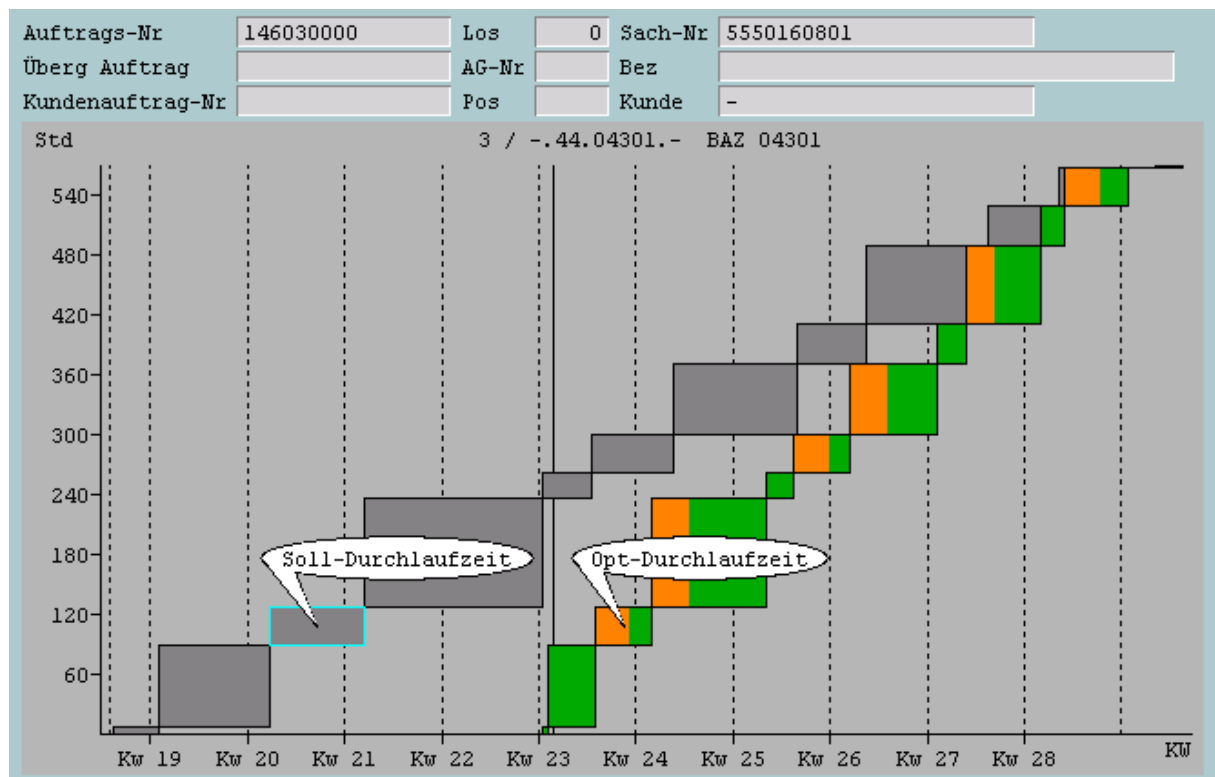


Bild 5: Darstellung der Durchlaufterminierungsergebnisse im Einzelauftrags-Durchlaufdiagramm

4.3 Ermittlung statischer Engpässe (Kapazitätsanalyse)

Der Vergleich des künftigen Kapazitätsbedarfs mit dem aktuellen Kapazitätsangebot für einen festgelegten Zukunftszeitraum (z.B. 40 Arbeitstage) liefert einen ersten Überblick über die Engpassituation. In FAST/pro werden verschiedene Kapazitätskennzahlen ermittelt, mit deren Hilfe die Kapazitäts- bzw. Engpassituation in der Produktion bewertet werden kann.

Kapazitätsbedarfsgrad (Bedgrad)

Ein Arbeitsplatz wird als statischer Engpass betrachtet, wenn der Kapazitätsbedarfsgrad (Verhältnis von Kapazitätsbedarf zum aktuellen Kapazitätsangebot für einen vorgegebenen Betrachtungs-

zeitraum) größer als 100 Prozent ist. Der Bedarfsgrad basiert auf den Terminen der Rückwärtsterminierung (Soll-Durchlauf).

Normal-Bedarfsgrad (Normgrad)

Der Normal-Bedarfsgrad repräsentiert der Steigungsunterschied zwischen der Bedarfs- (Soll-Abgangs-) und der Kapazitätskurve. Er berücksichtigt den aktuellen Rückstand des Arbeitsplatzes nicht. Ein Normal-Bedarfsgrad über 100 Prozent weist darauf hin, dass künftig ein Rückstand auftreten kann bzw. ein vorhandener Rückstand künftig weiter ansteigen wird.

Plan-Nutzungsgrad (Nutzgrad)

Der Plan-Nutzungsgrad ist das Verhältnis von geplanter Leistung zur angebotenen Kapazität für einen festgelegten Auswertungszeitraum. Wenn ein Engpassarbeitsplatz einen Plan-Nutzungsgrad deutlich unter 100 Prozent aufweist, dann liegt offensichtlich ein Zuflussproblem aufgrund eines vorgelagerten Engpassarbeitsplatzes vor.

Belastungsgrad (BelGrad)

Der Belastungsgrad gibt Auskunft darüber, wieviel Belastung auf den Arbeitsplatz zukäme, wenn alle vorgelagerten Arbeitsplätze keinen Engpass darstellen (Verhältnis vom optimalen Auftragszufluss gemäß Belastungsterminierung zum aktuellen Kapazitätsangebot). Die Berechnung der idealen Belastungstermine - ideal bezogen auf die Auftragstermine – berücksichtigt die Bearbeitungszeiten, die Mindestübergangszeiten der Arbeitsplätze sowie die auftragsstrukturbezogenen Ecktermine und Störungen (z.B. fehlendes Material).

Mschgr	Bez	Perioden Start	Kapazität [Std]	Anz Apl	Schicht-Modell	Bedgrad [%]	Bedarf Anteil	Nutzgrad [%]	Nutzung Anteil	Belgrad [%]
04301	BAZ 04301	05.06.00	752	1	STD3	172.71		99.19		203.89
04302	BAZ 04302	05.06.00	563	1	STD1+4	171.36		78.55		186.61
04303	BAZ 04303	05.06.00	940	1	STD3	132.66		83.89		144.65
03364	Drehen 03364	05.06.00	640	1	STD2	120.34		82.97		120.34
04186	Bohren 04186	05.06.00	640	1	STD2	116.16		95.79		116.95
05365	BAZ 05365	05.06.00	2256	3	STD3	110.61		56.11		131.98
56471	Pressen	05.06.00	640	1	STD2	110.52		89.86		116.32
07193	Schleifen	05.06.00	368	1	STD1	106.23		98.59		118.76
00000	Kontrolle	05.06.00	3760	5	STD3	101.08		78.99		103.57
05101	Feinbohren	05.06.00	320	1	STD	95.40		81.41		114.52
50000	Pressen	05.06.00	320	1	STD	94.95		78.28		102.52
05000	BAZ	05.06.00	640	1	STD2	93.17		93.17		93.47
01243	Drehen 01243	05.06.00	736	1	STD2	89.54		70.99		92.00
05364	BAZ 05364	05.06.00	1880	2	STD3	87.16		84.14		93.16
05112	Feindreihen	05.06.00	576	1	STD2	86.98		75.42		89.04

Bild 6: Ermittlung der statischen Engpässe anhand von Kapazitätskennzahlen

Die Kapazitätsliste zeigt als Hitliste die Arbeitsplätze absteigend nach Engpassituation sortiert. Die Auswertung gilt für einen Auswertungszeitraum von 40 Arbeitstagen. Die beiden Arbeitsplätze mit einem Bedarfsgrad von über 130 Prozent (BAZ 04301 und BAZ04303) und einem aktuell eingestellten 3-Schicht-Betrieb stellen echte Engpässe dar, da selbst die Einführung von Wochenendschichten die Engpassituation nicht auflöst. Demgegenüber sollte eine Kapazitätsanpassung für den Arbeitsplatz BAZ 04302 grundsätzlich leichter sein, da der Arbeitsplatz nur in einem erweiterten 1-Schicht-Betrieb (12 Stunden/Tag) arbeitet.

In dem Auswertungsbeispiel (Bild 6) wird das Bearbeitungszentren 05365 gleichzeitig sowohl als Engpass (Bedarfsgrad > 110 Prozent) als auch als leerlaufgefährdet (Plan-Nutzungsgrad < 60

Prozent) ausgewiesen. Der dynamische Verlauf dieser Situation lässt sich im Durchlaufdiagramm z.B. durch den Vergleich der Soll-Abgangskurve mit der Plan-Zugangskurve leicht erkennen (Bild 7).

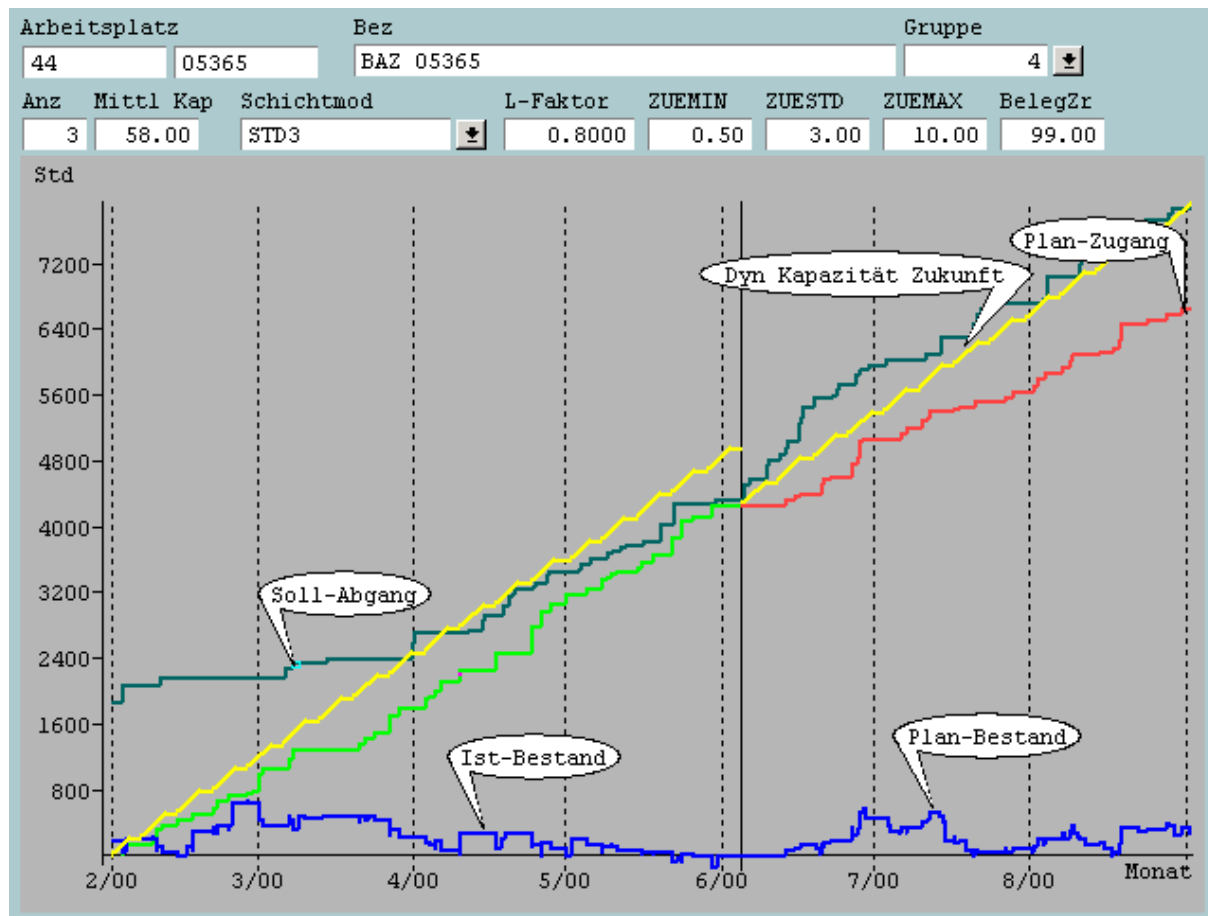


Bild 7: Darstellung eines Engpassarbeitsplatzes mit Leerlaufisiko aufgrund vorgelagerter Engpässe

Die Plan-Zugangskurve liegt deutlich unterhalb der Kapazitätskurve. Sie wurde durch eine simulative Auftragseinplanung in FAST/pro ermittelt. Man sieht, dass in den nächsten zwei Wochen kein Auftragszufluss zu erwarten ist und dass damit die vorhandene Kapazität nicht genutzt werden kann. Der von FAST/pro ermittelte Plan-Abgang zeigt dementsprechend einen hohen Kapazitätsverlust durch Leerlauf. In der Praxis ist diese Situation insbesondere bei denjenigen Arbeitsplätzen problematisch, die eine Engpasssituation aufweisen und bereits im 3-Schicht-Betrieb arbeiten. In dem Beispiel beträgt der aktuell zu erwartende Rückstand etwa vier Wochen (horizontaler Abstand zwischen dem Kapazitätsbedarf und dem Plan-Abgang).

Eine Lösung des zuvor beschriebenen Problems kann darin bestehen, den bzw. die vorgelagerten Engpassarbeitsplätze zu ermitteln und an diesen die Kapazitäten dynamisch so anzupassen, dass das Leerlaufproblem an dem betrachteten Arbeitsplatz behoben oder zumindest reduziert werden kann.

FAST/pro bietet für diese Fragestellung verschiedene Werkzeuge an, die das Auffinden von Zuflussengpässen unterstützen. Der Einsatz dieser Werkzeuge hängt u.a. von der jeweiligen Auftrags- und Fertigungsstruktur ab.

4.3.1 Materialflussanzeige zur Bewertung von Engpassituationen

Bild 8 zeigt die Materialflussbeziehungen zwischen dem betrachteten Arbeitsplatz 05365/80 (rot markiert) sowie seinen direkten Vorgängern im Materialfluss bezogen auf die aktuell eingeplanten

Aufträge. Die Arbeitsplätze sind in der Grafik als Trichter dargestellt. Die Pfeilbreite der Materialflussbeziehungen entspricht dem Stundenvolumen, das an dem Zielarbeitsplatz abgearbeitet ist. Die Materialflussbeziehungen zu den Nachfolgerarbeitsplätzen wurden in der Grafik ausgeblendet.

Der aktuell vor dem Arbeitsplatz liegende Auftragsbestand wird als blaue Trichterfüllung angezeigt. Die Trichterhöhe entspricht dabei einer Reichweite von fünf Tagen. Aus der Grafik kann man einerseits erkennen, dass der Materialzufluss von mehreren direkten Vorgängerarbeitsplätzen erfolgt und dass der Arbeitsplatz 04303/76 den mit Abstand größten Anteil davon liefert. Der Arbeitsplatz 04303/76 weist eine Direktbestandsreichweite von etwa vier Tagen auf.

Betrachtet man diesen Arbeitsplatz näher, dann stellt man fest, dass er selbst ebenfalls im Materialfluss hinter einem Engpass liegt und dass der Durchfluss zum Arbeitsplatz 05365/80 nur erhöht werden kann, wenn der weiter vorn im Fluss liegende Engpass (Arbeitssystem 04301/74) beseitigt wird.

Arbeitssystem 04301/74 hat einen fünffachen Überlauf (fünf Überlaufpfeile), d.h. eine Direktbestandsreichweite von mehr als 25 Tagen. Anhand der hohen Rückstandsreichweite des Arbeitsplatzes (rote Säule mit vier Überlaufpfeilen = mehr als 20 Tage Rückstand) kann man diesen Arbeitsplatz als den wesentlichen Zuflussengpass identifizieren.

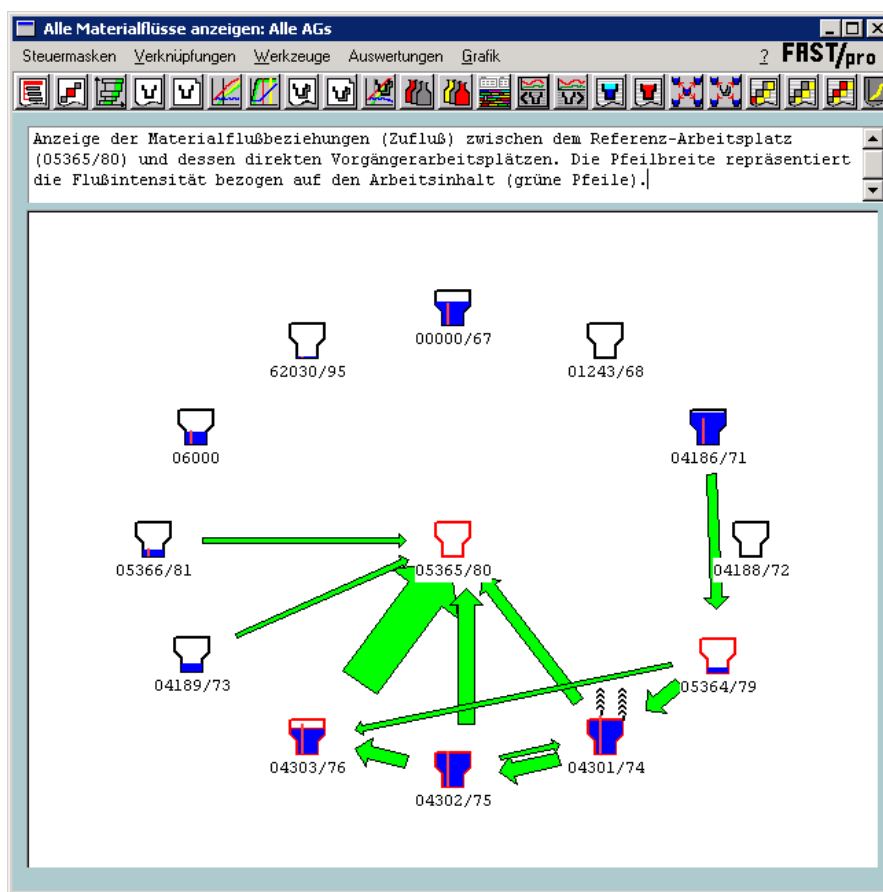


Bild 8: Materialflussbeziehungen des Arbeitsplatzes mit Leerlaufisiko

4.3.2 Hitliste der Zuflussengpässe

Die Hitliste der Zuflussengpässe ist ein weiteres Hilfsmittel zur Ermittlung von Arbeitsplätzen, die den Zufluss zu anderen Arbeitsplätzen behindern. Die Hitliste basiert darauf, dass für jeden Arbeitsplatz alle bei der Materialflusssimulation ermittelten Durchlaufverzögerungen aufgrund von vorgelagerten

Engpässen ausgewertet werden. Für jeden Arbeitsplatz erhält man dann eine Liste, die absteigend nach der Anzahl der Verzögerungstage an vorgelagerten Arbeitsplätzen sortiert ist (Bild 9).

Vorg-Maschgr	Vorgänger Bezeichnung	Anz AG Plan	AnzVorAG	DLZ-Abw Plan [Tage]	SolIDLZ Summe Plan [Tage]	PlanDLZ Abw rel [%]	AuftrZt Plan [Std]	Menge Plan
04301	BAZ 04301	26	2.8	893.85	121	839.0	2008.51	3466
04302	BAZ 04302	32	2.4	273.40	99	376.8	2032.70	4775
05364	BAZ 05364	15	5.2	125.22	61	306.9	1081.34	1499
04303	BAZ 04303	11	3.8	54.03	36	250.0	1174.11	1409
56263	Pressen	15	9.9	50.86	18	379.4	918.74	1700
05365	BAZ 05365	7	2.4	42.11	38	209.5	323.17	911
01243	Drehen 01243	6	8.3	35.17	14	344.5	151.34	306
04186	Bohren 04186	7	27.7	24.99	13	295.8	183.23	633
03364	Drehen 03364	5	19.2	23.57	10	325.3	127.76	419
50000	Pressen	2	26.8	18.17	5	479.9	31.07	93
56471	Pressen	2	4.0	7.78	5	253.7	53.79	172
62026	Handarbeit	2	3.3	1.36	4	134.8	160.27	408
00000	Kontrolle	1	35.5	0.97	1	165.2	24.66	76
01451	Drehen 01451	2	15.0	0.54	5	110.0	49.32	202
06000	Fräsen	2	15.3	0.04	1	106.3	49.99	117

Bild 9: Zuflussengpässe eines Arbeitsplatzes mit Leerlaufisiko

Die Liste enthält u.a. folgende Kennzahlen:

Anz AG Plan

Anzahl der Arbeitsgänge, die an dem Arbeitsplatz einen Durchlaufverzug aufweisen

AnzVorAG

Anzahl der Arbeitsgänge, die durchschnittlich zwischen dem Auswertungsarbeitsplatz und dem Referenzarbeitsplatz liegen.

DLZ-Abw Plan

Abweichung zwischen der Soll-Durchlaufzeit und der bei der Materialflusssimulation ermittelten Plan-Durchlaufzeit.

SolIDLZ Summe Plan

Summe der Soll-Durchlaufzeiten der Arbeitsgänge, die eine Plan-Durchlaufzeitabweichung aufweisen.

PlanDLZ Abw rel

Relative Durchlaufzeitabweichung bezogen auf den Soll-Durchlauf.

AuftrZt Plan

Planauftragszeit der Arbeitsgänge, die an dem Auswertungsarbeitsplatz verzögert werden. Es handelt sich dabei um das Auftragsvolumen, das an dem Referenzarbeitsplatz zu bearbeiten ist.

Menge Plan

Anzahl der Einzelteile, die von der Verzögerung betroffen sind.

Mit Hilfe dieser Liste lassen sich auch weit entfernte Zuflussengpässe in komplexen Materialflussstrukturen erkennen.

4.4 Ermittlung dynamischer Engpässe

Neben den statischen Engpässen können mit Hilfe der Simulationsfunktionen von FAST/pro auch dynamische Engpässe ermittelt werden. Bei statischen Engpässen reicht die verfügbare Kapazität in einem definierten Zeitraum insgesamt nicht aus, um den Kapazitätsbedarf zu befriedigen. Bei den dynamischen Engpässen kann diese Situation bei schwankendem Kapazitätsbedarf temporär auftreten, so dass die dynamischen Engpässe über die zuvor vorgestellten Kapazitätskennzahlen nicht erkannt werden können. Dynamische Engpässe treten in der Praxis in jedem Unternehmen auf, weil bei dynamischen Kapazitätsbedarfsschwankungen das Kapazitätsangebot nicht ausreichend angepasst wird.

Der Lösungsweg zur Analyse der dynamischen Engpässe besteht darin, analog zur Hitliste der Zuflussengpässe die im Rahmen der Auftragssimulation ermittelten Plan-Durchlaufzeiten mit den geplanten Standard-Durchlaufzeiten der Arbeitsplätze zu vergleichen. Die Arbeitsplätze mit den insgesamt größten Plan-Durchlaufzeitabweichungen stellen demnach die größten Durchflussbehinderer dar. Bild 10 zeigt ein Beispiel für eine Hitliste der dynamischen Engpässe. In dieser Liste werden nur diejenigen Aufträge ausgewertet, die nach aktuellem Planungsstand nicht rechtzeitig fertiggestellt werden können.

Die Hitliste weist neben dem bereits bei der statischen Engpassanalyse als Engpass ermittelten Arbeitsplatz 04301 einen Kontrollarbeitsplatz als wesentlichen Engpassfaktor aus, weil der Durchlauf von 284 Aufträgen mit insgesamt 821 Kontrollarbeitsgängen an diesem Arbeitsplatz um insgesamt 578 Tage verzögert wird. Die Verzögerung ist zwar mit etwa 0,7 Tagen je Arbeitsgang scheinbar gering, aufgrund des häufigen Auftretens der Kontrollarbeitsgänge ist der Auftragsdurchlauf jedoch nennenswert blockiert.

Mit Hilfe dieser Auswertungsmethodik kann man die Bedeutung der Arbeitsplätze zur Auftragstermineinhaltung bzw. Auftragsdurchlaufzeit ermitteln und ggf. taktische Kapazitätsmaßnahmen auch bei denjenigen Arbeitsplätzen umsetzen, die nicht direkt als statische Engpässe ausgewiesen werden.

Mschgr	Bez	Anzahl Aufträge	Anzahl AG	PlanDLZ Abw abs [Tage]	PlanDLZ Abw abs	PlanDLZ Summe [Tage]	PlanDLZ Anteil [%]	PlanDLZ Anteil	SollDLZ Summe [Tage]	SollDLZ Anteil [%]	SollDLZ Anteil
04301	BAZ 04301	50	56	1127		1300	22.6		233	2.7	
00000	Kontrolle	284	821	578		788	13.7		880	10.1	
04302	BAZ 04302	59	72	426		545	9.4		227	2.6	
05112	Feindreihen	124	129	342		484	8.4		324	3.7	
05000	BAZ	32	50	201		237	4.1		134	1.5	
07193	Schleifen	64	70	189		264	4.6		254	2.9	
01451	Drehen 01451	21	29	140		194	3.4		98	1.1	
04186	Bohren 04186	35	91	139		185	3.2		155	1.8	
56471	Pressen	82	103	131		229	4.0		303	3.5	
05435	BAZ	16	43	88		121	2.1		74	0.8	
56263	Pressen	58	59	76		100	1.7		73	0.8	
03364	Drehen 03364	11	23	76		115	2.0		92	1.1	
05364	BAZ 05364	75	84	73		127	2.2		287	3.3	
50000	Pressen	42	92	67		133	2.3		209	2.4	

Bild 10: Liste der dynamischen Engpässe (Durchflussbehinderer)

5 Bewertung von Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung

Anhand der zuvor erläuterten Methodik zur Analyse der statischen und dynamischen Kapazitätsengpässe können gezielte Kapazitätsanpassungen vorgenommen werden. Im Anwendungsbeispiel wurden an drei Arbeitsplätzen Kapazitätserhöhungen vorgenommen. Anschließend wurde eine erneute Kapazitätssimulation durchgeführt, um die Auswirkungen zu analysieren und zu bewerten.

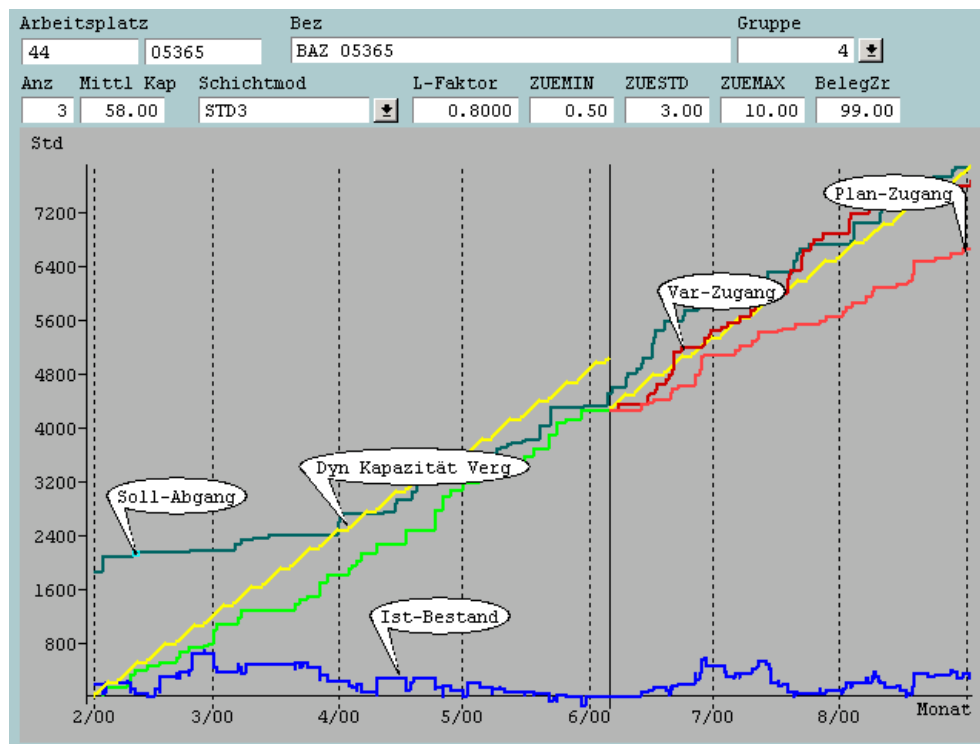


Bild 11: Bewertung der Kapazitätsvarianten mit Hilfe des Durchlaufdiagramms. Der erhöhte VAR-Zugang resultiert aus der Kapazitätsanpassung an vorgelagerten Arbeitsplätzen.

Mschgr	Bez	Anzahl Aufträge	Anzahl AG	PlanDLZ Abw abs [Tage]	PlanDLZ Abw abs	VarDLZ Abw abs [Tage]	VarDLZ Abw abs	Var-Plan DLZ Abw rel [%]	Var-Plan DLZ Abw re	Var-Plan DLZ Abw abs [Tage]
04301	BAZ 04301	50	56	1473	416	416	416	-63.4		-1071
00000	Kontrolle	284	821	578	1030	1030	1030	51.6		449
04302	BAZ 04302	59	72	426	238	238	238	-40.1		-220
05112	Feindreihen	124	129	342	299	299	299	-11.6		-57
05000	BAZ	32	50	201	196	196	196	-2.3		-5
07193	Schleifen	64	70	189	194	194	194	2.1		6
01451	Drehen 01451	21	29	140	131	131	131	-4.6		-9
04186	Bohren 04186	35	91	139	157	157	157	7.5		14
56471	Pressen	82	103	131	104	104	104	-12.5		-29
05435	BAZ	16	43	88	85	85	85	-2.7		-3
04303	BAZ 04303	69	74	79	86	86	86	1.7		3
56263	Pressen	58	59	76	73	73	73	-2.9		-3
03364	Drehen 03364	11	23	76	66	66	66	-8.6		-10
05364	BAZ 05364	75	84	73	63	63	63	-6.4		-8
50000	Pressen	42	92	67	73	73	73	4.4		6
05201	Feindreihen	39	63	47	45	45	45	-3.2		-2
06000	Fräsen	50	85	43	40	40	40	-3.4		-2
62035	Handarbeit	80	114	39	22	22	22	-18.6		-21
62525	Handarbeit	51	57	24	26	26	26	12.9		6
07651	Schleifen	28	28	20	16	16	16	-36.3		-24

Bild 12: Vergleich der Kapazitätsvarianten anhand der dynamischen Engpassliste
Aufgrund der Kapazitätsanpassungen an den Engpassarbeitsplätzen wird der Durchlauf wesentlich beschleunigt (Differenz zwischen VARDLZ Abw abs und PlanDLZ Abw abs),

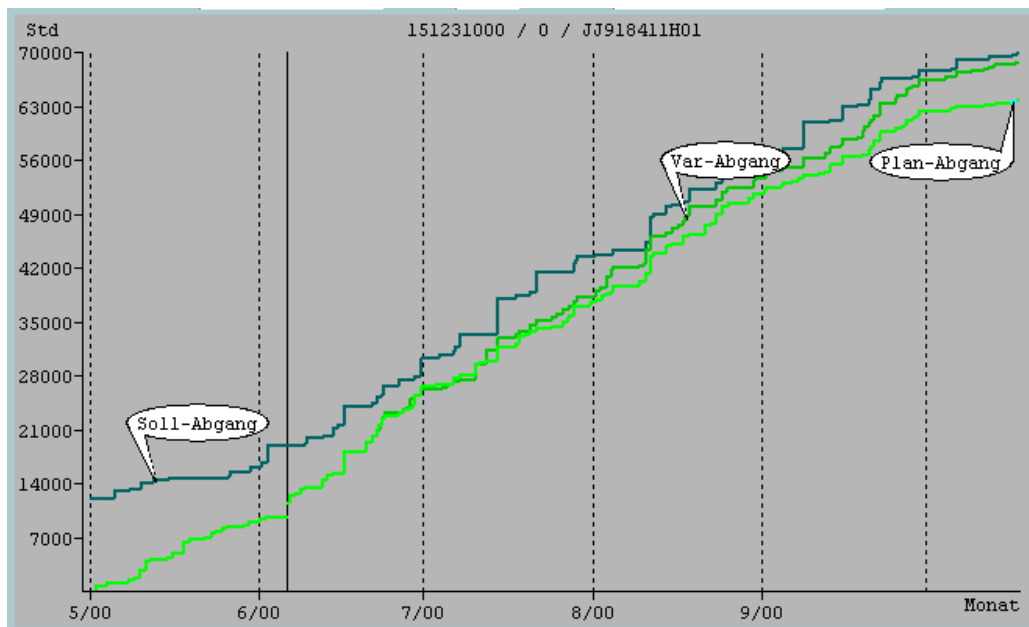


Bild 13: Vergleich der Kapazitätsvarianten anhand des Auftrags-Durchlaufdiagramms
Wegen der Kapazitätsanpassung ergibt sich insgesamt ebenfalls eine höhere Leistung (VAR-Abgang) und damit ein geringerer Lieferrückstand.

6 Zusammenfassung

Eine räumliche Kapazitätsplanung sowie statische und dynamische Engpassanalysen sind wichtige Funktionen, um den Auftragsdurchlauf im Unternehmen aktiv planen und regeln zu können. FAST/pro stellt mit seinen Planungs-, Monitoring- und Simulationsfunktionen für diesen Aufgabenbereich vielfältige Werkzeuge zur Unterstützung der gängigen PPS-Systeme zur Verfügung. Die zahlreichen praktischen Anwendungen von FAST/pro belegen den operativen Nutzen des Werkzeugs im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Branchen, Auftragsstrukturen und Firmengrößen. Der Einsatz erstreckt sich dabei über alle Hierarchieebenen der Unternehmen von der Geschäftsleitung bis zur operativen Anwendung in der Produktion.