

Der Arbeitsplangenerator als PPS-Komponente bei Einzel- und Kleinserienfertigung

Stefan **Schröder**, Westland Gummiwerke, Melle-Westerhausen

1. Arbeitspläne als elementare Produktionsdaten

In der Diskussion über PPS-Systeme, ERP-Systeme oder Supply Chain Systems wird in der Regel stillschweigend unterstellt, daß die wichtigsten Produktionsdaten wie Teilestämme, Erzeugnisstrukturen und Arbeitspläne jederzeit rechtzeitig und richtig zur Verfügung stehen. Für den Ressourcenabgleich und die Terminierung kommt dabei den Arbeitsplänen eine außerordentlich wichtige Rolle zu. Auch hier gilt die Regel "garbage in garbage out".

Vom Leistungsprogramm einer Unternehmung hängt es ab, wie umfangreich die Arbeitspläne sind, wie viele erforderlich sind, wie vielfältig sie gestaltet sein müssen und wie oft mit welchem Aufwand neue Arbeitspläne anzulegen sind. Je nach Fertigungssystem haben diese Arbeitspläne ein unterschiedliches Gewicht. In einer "künstlichen Fließfertigung" mit festgelegten Strukturen und relativ wenigen Varianten, sehen Arbeitspläne völlig anders aus und werden viel seltener neu anzulegen sein, als in einem System der Werkstattfertigung mit Serienfertigung oder mit einer kombinierten Einzel- und Kleinserienfertigung. Diese Strukturen der Werkstattfertigung treffen wir verhältnismäßig häufig bei der Zulieferungs- und Ausrüstungsindustrie an.

Was wird von den Arbeitsplänen erwartet, wie müssen sie gestaltet sein und welche Anforderungen müssen sie erfüllen? Alle relevanten Arbeitsfolgen des zu fertigenden Teils bzw. Erzeugnisses müssen definiert und den relevanten Arbeitsplätzen bzw. Kapazitätseinheiten mit den entsprechenden Vorgabezeiten zugeordnet werden. Dabei ist zu beachten, daß für gleiche Arbeitsfolgen häufig verschiedene Betriebsmittel alternativ eingesetzt werden können. Je nach Arbeitsplatz und einzusetzendem Betriebsmittel sind Arbeitshinweise und zusätzliche Betriebsmittel (z.B. Werkzeuge, Zeichnungen, Meßmittel) anzugeben. Für die Zeitwirtschaft sind die Angabe der Sollzeiten, i.d.R. getrennt nach Rüst- und Ausführungszeiten unabdingbar.

In den zurückliegenden Zeiten rigoroser Arbeitsteilung und der meistens damit verbundenen Akkordentlohnung wurde einer Zerlegung in Arbeitsfolgen und der Ermittlung von Vorgabezeiten (siehe z.B. REFA-Methode) verhältnismäßig große Aufmerksamkeit gewidmet und auch ein entsprechend hoher Ermittlungsaufwand getrieben. Im Zuge der Automatisierung, dem Trend zum Zeitlohn, allenfalls zum Prämienlohn, droht in vielen Unternehmen eine sichere Basis für Zeitvorgaben und sichere Zuordnung der Arbeitsfolgen verloren zu gehen. Wenn in einer Unternehmung mit Werkstattfertigung in Verbindung mit Kleinserien- und Einzelfertigung Dutzende oder Hunderte von neuen Arbeitsplänen zu erstellen sind, wird eine Automatisierung der Arbeitsplanerstellung nahezu unumgänglich. Hier bietet sich der Einsatz eines Arbeitsplangenerators in der Art eines Expertensystems an, der im weiteren am Beispiel der Firma Westland näher beschrieben wird.

2. Das Leistungsprogramm der Firma Westland

Das Unternehmen Westland Gummiwerke ist eine GmbH + Co KG, die sich in zwei Sparten - Walzen und technische Artikel - mit Kautschukverarbeitung beschäftigt. Firmensitz und wichtigster Produktionsstandort ist Melle. In einem weiteren Werk in Fürstenau werden Walzen bearbeitet, in Otrocovice, Tschechien werden technische Artikel hergestellt. Insgesamt werden zur Zeit ca. 350 Mitarbeiter beschäftigt.

Die Sparte technische Artikel umfaßt im wesentlichen Gummiformartikel als Präzisionsteile und als Gummiverbindungen mit anderen Werkstoffen (z.B. Gummi-Metall-Verbindungen). In geringem Umfang werden auch Sportartikel und Gummiplatten hergestellt.

In der Sparte Walzen werden Rollen, Druckwalzen für die grafische Industrie sowie Walzen für sonstige technischen Anwendungszwecke hergestellt. Dabei werden die Bereiche der Erstausrüstung und der Regummierung unterschieden.

Bei der Erstausrüstung handelt es sich um neue Walzenkerne der Druckmaschinenindustrie, die in kleinen Serien erstmals gummiert werden. Im Bereich der Regummierung werden bereits zum Einsatz gekommene Walzen mit einer neuen Gummierung versehen. Hierbei handelt es sich i.d.R. um eine Einzelfertigung.

Für die Produktion der Sparte Walzen ist von folgendem jährlichen Mengengerüst auszugehen:

Auftragspositionen	ca. 40.000
gefertigte Walzen	ca. 135.000
aktuelle Auftragspositionen	1.800 bis 2.400
Anzahl Walzen pro Auftragsposition	1 bis 100
aktuelle Fertigungslose	1.000 bis 1.200
Anzahl verschiedener Arbeitsgänge	27
maximal mögliche Arbeitsgänge pro Walze	23
minimal notwendige Arbeitsgänge	1
durchschnittl. Anzahl Arbeitsgänge	13

Die Walzen haben völlig unterschiedliche Dimensionen. Sie haben einen Durchmesser von 15 bis 600 mm und können eine Länge von 8 cm bis zu 6 m erreichen. Es werden bis zu 100 verschiedene Gummimischungen aufgebracht mit völlig unterschiedlichen Härtegraden. Insgesamt sind 75 verschiedene Kapazitätseinheit im Einsatz, wobei zahlreiche Maschinen (z.B. Schleifmaschinen) für bestimmte Walzen alternativ eingesetzt werden können. Dieser Sachverhalt führt zu völlig unterschiedlichen Bearbeitungszeiten.

Ferner ist zu beachten, daß die einzelnen Walzen völlig unterschiedliche Arbeitsgänge durchlaufen können. Bei Walzen, deren Oberfläche nur neu übergechliffen werden soll, beginnt der Arbeitsplan beispielsweise erst mit der Arbeitsfolge Schleifen. Eine alte Walze, die regummiert werden soll, muß zuerst entgummiert werden, während ein neuer Walzenkern zuerst entfettet werden muß.

Es gibt Arbeitsgänge, die in einer Bearbeitung des Walzenkerns bestehen (z.B. Kernbearbeitung, Lagersitz Schleifen, Auswuchten). Diese Arbeiten werden durch einen metallverarbeitenden Betrieb auswärts durchgeführt. Ferner sind ggf. Transporte zwischen dem Stammwerk in Melle und der Produktionsstätte in Fürstenau zu berücksichtigen.

Auf Grund dieses Sachverhaltes sind die Arbeitspläne nahezu für jeden Auftrag individuell zu erstellen. Entsprechend dem derzeitigen Mengengerüst sind durchschnittlich täglich 150 bis 200 neue Arbeitspläne zu erstellen.

Die Westland Gummiwerke führen zur Zeit das TPS-System des Steinbeis-Transferzentrum Betriebswirtschaft ein. Voraussetzung für die automatisierte Fertigungssteuerung ist dabei das rechtzeitige Vorhandensein der aktuellen Arbeitspläne unter Berücksichtigung alternativer Arbeitsfolgen und alternativer Betriebsmittel. Daher lag es nicht nur nahe, sondern es war nahezu unumgänglich, auch die Erstellung der Arbeitspläne mittels des vom Steinbeis-Transferzentrum Betriebswirtschaft entwickelten Arbeitsplangenerator zu automatisieren.

3. Der APG als automatisiertes Expertensystem

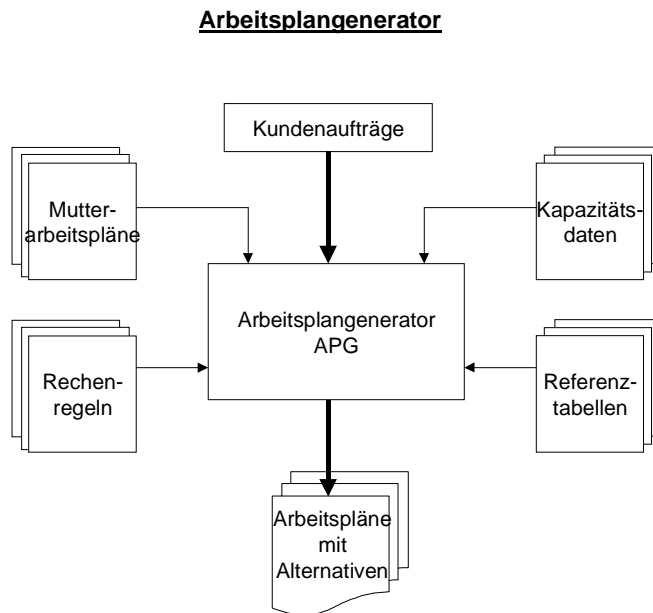


Abbildung 1: Komponenten des Arbeitsplangenerators

Die Abbildung 1 vermittelt einen Überblick über die Komponenten des Arbeitsplangenerators. Sämtliche neuen Positionen eines Kunden- oder Lagerauftrags erfordern die Erstellung eines neuen Arbeitsplans. Der Kundenauftrag muß daher alle für die Erstellung des Arbeitsplans erforderlichen Informationen enthalten. Es handelt sich dabei um alle relevanten technischen Angaben des zu fertigenden Erzeugnisses (z.B. Durchmesser, Bezugslänge, Aufbaugewicht, Gummimischung, Kernart).

Sämtliche möglichen Arbeitsfolgen sind in einem "Mutter-Arbeitsplan" zu hinterlegen. Das gleiche gilt für alle Kapazitätseinheiten. In speziellen Tabellen sind die Beziehungen zwischen Arbeitsfolgen und Kapazitätseinheiten zu definieren und zu hinterlegen. Dabei ist jeweils zu berücksichtigen, daß z.B. für bestimmte Artikel oder Kunden spezielle Anforderungen zu berücksichtigen sind.

Für jede Arbeitsfolge muß in Abhängigkeit zu den Kriterien des zu fertigenden Produkts in Bezug auf jede Kapazitätseinheit die Bearbeitungszeit ermittelt werden. Das erfolgt durch entsprechend zu gestaltende Rechenregeln.

Der Output des Arbeitsplangenerators sind vollständige Arbeitspläne für jede neue Kundenauftragsposition, d.h. für jede individuelle Walze mit allalternativen Bearbeitungsmöglichkeiten auf verschiedenen Kapazitätseinheiten. Im weiteren wird auf die wichtigsten Komponenten des Arbeitsplangenerators detaillierter eingegangen.

4. Der Mutter-Arbeitsplan

Grundsätzlich sind für die Automatisierung der Arbeitsplanerstellung sämtliche möglichen Arbeitsfolgen zur Fertigung der geplanten Erzeugnisse zu erfassen. Eine wichtige Frage ist hier der jeweilige Detaillierungsgrad. Bestimmte Arbeitsschritte können, müssen aber nicht, auf der

gleichen Kapazitätseinheit (z.B. Maschine) durchgeführt werden. Es ist z.B. darauf zu achten, inwieweit Rüst- und Transportarbeitsgänge getrennt zu planen und daher auch darzustellen sind. Je nach Tiefe der Produktion sind verschiedene Fertigungsstufen vorzusehen. Das gilt auch, wenn in verschiedenen Werken u.U. die gleiche Fertigung alternativ möglich ist.

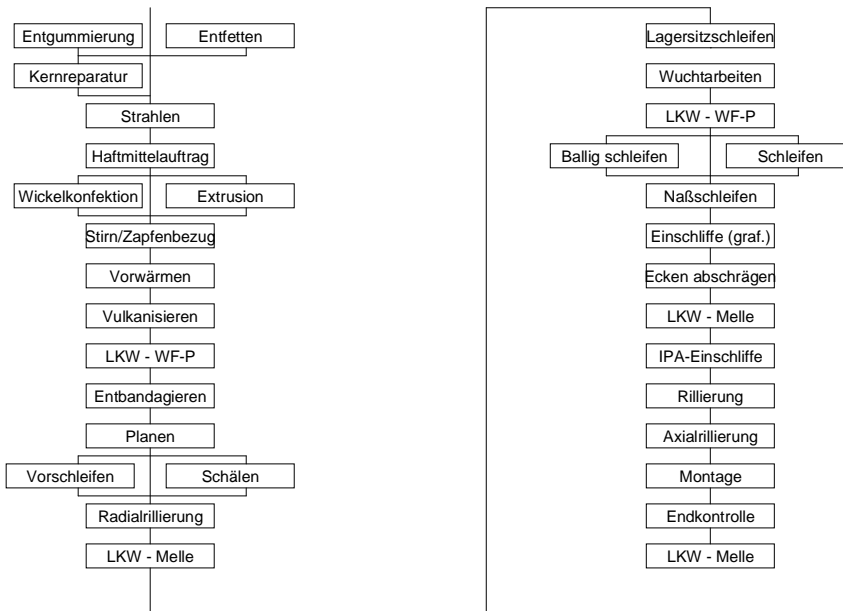


Abbildung 2: Ablauf der Walzenfertigung

Die Abbildung 2 zeigt den Ablauf der Walzenfertigung. Dieser muß in eine Arbeits-Reihenfolge umgesetzt werden. Dabei ist zu beachten, daß bezüglich bestimmter Arbeitsfolgen bestimmte Kriterien oder Bedingungen erfüllt sein müssen. Diese Regeln sind bereits beim Mutter-Arbeitsplan zu berücksichtigen und können für die einzelne Fertigungsart völlig unterschiedlicher Natur sein. Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus dem Mutter-Arbeitsplan.

Afo	Bezeichner	Fstu	Fst	ArtBed	Rezept1Bed	Rezept2Bed	RezeptBed	AusfBed	KernBeBed
10	Entgummierung	600,0	10	GU GA AU					
20	Entfetten	600,0	10	GK					
30	Kernreparatur	600,0	15						2 3
40	Strahlen	600,0	20	~SL					
50	Haftmittel	600,0	20	~SL					
100	Wickelkonfektion	600,0	25	~SL			~C253-12		
110	Extrusion Rüsten	600,0	25	~SL			C252-01 C302-		
111	Extrusion Ausführen	600,0	25	~SL			C252-01 C302-		
120	Stirn-/Zapfenbezug	600,0	25					12 20 21	
300	Vorwärmen	700,0	30	~SL	~D	>45			
310	Vulkanisieren	700,0	30	~SL					
350	Transport W-F	800,0	35						
400	Entbandagieren	800,0	38	~SL		>45			
410	Planen	800,0	38	~SL					
420	Schälen	800,0	38	~SL		>45			
430	Vorschleifen	800,0	38			<=45			
440	Radialrillierung	800,0	38					34 36 37	
450	Transport F-W	800,0	48						1 4 5
460	Lagersitzschleifen	800,0	50						4 5

Abbildung 3: Mutter-Arbeitsplan

5. Die Kapazitätseinheiten (Produktionsanlagen und Arbeitsplätze)

Die zweite wichtige Komponente stellen die Kapazitätseinheiten dar. Es handelt sich dabei um die einzelnen Produktionsanlagen (Maschinen) bzw. Arbeitsplätze. Für die Zeitwirtschaft im Rahmen des PPS-Systems sind dabei vor allem Angaben über die mögliche Produktionsmenge und die zeitliche Verfügbarkeit zu machen. Für den Arbeitsplangenerator sind jedoch zusätzliche Informationen erforderlich, die normalerweise nicht in den herkömmlichen PPS-Systemen geführt werden. Es handelt sich dabei vor allem um technische Daten, die als Kriterien darüber entscheiden, ob bestimmte Arbeitsfolgen bzw. Arbeitsschritte auf dieser betreffenden Kapazitätseinheit durchgeführt werden können.

Für einzelne Kriterien werden dabei häufig Toleranzgrenzen mit Minimal- und Maximalwerten anzugeben sein.

In speziellen Referenztabellen werden die Beziehungen zwischen den Arbeitsfolgen des Mutter-Arbeitsplans und den Kapazitätseinheiten festgelegt. Auch hier muß eine Flexibilität in der Zuordnung ermöglicht werden. Bestimmte Kapazitätseinheiten sollen oder dürfen aus technischen oder ökonomischen Gründen nur für bestimmte Arbeitsfolgen, Produktkategorien oder Materialarten eingesetzt werden. Für bestimmte Kunden oder Produktarten sollen nur bestimmte Maschinen verwendet werden.

6. Die Zeitberechnungen

Das Rechenwerk zur Ermittlung der Planzeiten ist das eigentliche Herzstück des Arbeitsplangenerators. Für die meisten Arbeitsgänge werden die Planzeiten mittels Planzeitformeln errechnet. Diese basieren auf Zeitstudien oder auf der festzulegenden Arbeitsgeschwindigkeit (Taktzeiten) der Produktionsanlagen. Je nach Dimension und/oder Geometrie und Materialart des Werkstückes ergeben sich andere Werte für jede einzelne Arbeitsfolge. Ferner ist zu beachten, daß die Planzeiten für jede Kapazitätseinheit unterschiedlich hoch sein können. Bei einer Reihe von Arbeitsfolgen sind maschinenabhängige Rüstzeiten zu beachten. Dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um umfangreichere Umbauten oder um einfachere Maschinenanpassungen handelt.

Wichtig für den Einsatz eines Arbeitsplangenerators ist, daß die Rechenformeln relativ leicht und einfach ohne zusätzliche Programmierung angepaßt und geändert werden können.

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt aus einem derartigen Rechenwerk.

Afo	Kost	Magr	Manr	Kdnr	HaerteBed	Bedingung	TrBer	TeBer
10					=100			$7,4 + (KD \cdot 0,05) + (BL \cdot 0,0018)$
10					<100			$1,25 + (KD \cdot 0,088) + (BL \cdot 0,0022)$
20								$\text{Max}(1; 3,14 \cdot BL \cdot (KD/97000))$
40			105					$0,84 + (KD \cdot BL \cdot 0,000031)$
40			104					$2,37 + (BL \cdot 0,00138)$
50			108					$4,27 + (KD \cdot BL \cdot 0,0000127)$
50			107					2,35
100					>50			$\text{Max}(10; (0,00027 \cdot (FD^{0,9}) \cdot (BL^{0,87}) \cdot (GD^{0,16})) + (BL/85) + (GD/100))$
100					<=50			$\text{Max}(10; (((GD/80) + 0,45) \cdot (FD^{0,54})) + (BL/100))$
110			221				90	
110			220				33	
111			221					$-20 + (0,227 \cdot FD) + (0,238 \cdot GD) + (0,00146 \cdot BL)$
111			220					$1,045 \cdot (1,015^{FD}) \cdot (1,000507^{BL})$
120								80

Abbildung 4: Tabelle Planzeitformeln

7. Alternative Arbeitspläne als TPS-Input

Das Ergebnis des Arbeitsplangenerators sind für jeden Fertigungsauftrag ein aktueller Arbeitsplan. Dabei ist besonderer Wert darauf zu legen, daß nicht nur Maschinengruppen, sondern einzelne alternative Maschinen im Arbeitsplan mit ihren unterschiedlich hohen Planzeiten berücksichtigt werden. Abbildung 5 zeigt das Beispiel eines Arbeitsplans, wie er als Input für die Fertigungssteuerung mittels TPS eingesetzt wird.

ANR	ANP	AFO	ABEZ1	FSTU	FST	KOST	MAGR	MANR	TR	TE	A	PK
204614	021	20	Entfetten	600	10	6323	110	110	0,00	1,57		
204614	021	40	Strahlen	600	20	6332	104	104	0,00	3,33		
204614	021	50	Haftmittel	600	20	6333	107	107	0,00	2,35		
204614	021	100	Wickelkonfektion	600	25	6325	202	202	0,00	14,71	G	
204614	021	100	Wickelkonfektion	600	25	6325	205	205	0,00	14,71	G	
204614	021	100	Wickelkonfektion	600	25	6325	208	208	0,00	14,71	G	
204614	021	110	Extrusion Rüsten	600	25	6328	220	220	33,00	0,00		
204614	021	111	Extrusion Ausführen	600	25	6328	220	220	0,00	5,59		
204614	021	310	Vulkanisieren	700	30	6330	6330	6330	0,00	0,00		
204614	021	350	Transport W-F	800	35	6389	9697	96	0,00	0,00	G	
204614	021	350	Transport W-F	800	35	6389	9697	97	0,00	0,00	G	
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9002	1	0,00	3,80	F	A
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9003	10	0,00	3,80	G	
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9006	16	0,00	3,80	F	I
204614	021	410	Planen	810	38	6341	405	405	0,00	2,80	F	A
204614	021	410	Planen	810	38	6341	406	406	0,00	2,80	F	B
204614	021	410	Planen	810	38	6341	409	409	0,00	2,80	G	
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9005	5	0,00	3,80	F	D
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9002	6	0,00	3,80	F	E
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9002	7	0,00	3,80	F	F
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9009	8	0,00	3,80	F	G
204614	021	410	Planen	800	38	6390	9011	9	0,00	3,80	F	H
204614	021	430	Vorschleifen	810	38	6341	405	405	1,50	5,63	F	A
204614	021	430	Vorschleifen	810	38	6341	406	406	1,50	5,63	F	B
204614	021	430	Vorschleifen	810	38	6341	9413	413	1,50	5,63	F	C
204614	021	430	Vorschleifen	810	38	6341	9413	416	1,50	5,63	F	D
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9002	1	1,50	13,25	F	A
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9002	11	1,50	13,25	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9002	12	1,50	13,25	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9005	13	1,50	13,25	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9007	18	1,10	9,84	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9007	19	1,10	9,84	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9002	20	1,50	13,25	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9005	21	1,50	13,25	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9008	22	1,50	13,25	F	J
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9002	3	1,50	13,25	F	B
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9002	4	1,50	13,25	F	C
204614	021	500	Schleifen	810	58	6341	405	405	1,50	13,95	F	A
204614	021	500	Schleifen	810	58	6341	406	406	1,50	13,95	F	B
204614	021	500	Schleifen	810	58	6341	9413	413	1,50	13,95	F	C
204614	021	500	Schleifen	810	58	6341	9413	416	1,50	13,95	F	D
204614	021	500	Schleifen	810	58	6343	424	424	1,50	14,58	G	
204614	021	500	Schleifen	810	58	6343	425	425	1,50	14,58	G	
204614	021	500	Schleifen	800	58	6390	9011	9	1,50	13,25	F	H
204614	021	530	Ecken Abschrägen	800	58	6390	9002	1	0,00	4,40	F	A
204614	021	530	Ecken Abschrägen	800	58	6390	9006	14	0,00	4,40	F	K
204614	021	530	Ecken Abschrägen	800	58	6390	9006	16	0,00	4,40	F	I
204614	021	530	Ecken Abschrägen	810	58	6341	403	403	0,00	4,00		
204614	021	530	Ecken Abschrägen	800	58	6390	9005	5	0,00	4,40	F	D
204614	021	530	Ecken Abschrägen	800	58	6390	9011	9	0,00	4,40	F	H

204614	021	550	Transport F-W	800	68	6391	9899	98	0,00	0,00	G	
204614	021	550	Transport F-W	800	68	6391	9899	99	0,00	0,00	G	
204614	021	700	Endkontrolle	810	80	6345	6345	6345	0,00	0,00		
204614	021	850	Versand	800	90	6315	1	Mi	0,00	0,00		
204614	021	860	Versand	810	90	6315	1	Mi	0,00	0,00		

Abbildung 5: Arbeitsplan mit alternativen Arbeitsfolgen

Für den Ressourcenabgleich und die Terminierung ermittelt der Arbeitsplangenerator die relevanten Arbeitsfolgen (AFO), die Fertigungsstufen (FSTU 800 = Werk Fürstenu, FSTU 810 = Werk Westerhausen), alternativen Kostenstellen, Maschinengruppen und Maschinen-Nummern (KOST, MAGR, MANR) sowie die Rüstzeiten (TR) und die Ausführungszeiten pro Stück (TE). Die Spalten A und PK enthalten Steuerungskennzeichen für die Terminoptimierung. Durch sie wird unter anderem sichergestellt, daß auf einer Maschine, soweit möglich, mehrere Arbeitsfolgen durchgeführt werden.

Eine Besonderheit des beschriebenen Arbeitsplangenerators ist seine Benutzerfreundlichkeit und außerordentliche Flexibilität. Die Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung können ohne irgendwelche zusätzlichen Programmänderungen jede Komponente des Generators verändern. Es können also beliebig viele Arbeitsfolgen im Mutterarbeitsplan oder Kapazitätseinheiten in der Kapazitätstabelle hinzugefügt werden. Das setzt dann aber voraus, daß die Referenztable und das Rechenwerk entsprechend gepflegt werden. Ebenso können die Berechnungen beliebig modifiziert werden, ohne daß eine Programmänderung erforderlich wird.

Der Arbeitsplangenerator erspart einerseits erhebliche manuelle Aufwendungen in der Arbeitsvorbereitung zur Erstellung und Pflege der Arbeitspläne. Andererseits ist er eine wichtige Voraussetzung und Ergänzung für eine automatisierte Fertigungssteuerung, die bei den Westland Gummiwerken mit dem vom Steinbeis-Transferzentrum Betriebswirtschaft in Heilbronn entwickelten Simulationssystem TPS unter Berücksichtigung der begrenzten Fertigungskapazitäten durchgeführt wird.