Marktakzeptanz bei der Fertigungsflexibilisierung

U. Heisel, Stuttgart

Inhalt. Für die Marktakzeptanz flexibler Fertigungssysteme ist es von Bedeutung, die Zielsetzungen der Anwender und die Anforderungen an die Flexibilität zu kennen. Der Autor beschreibt die Entwicklung und Trends sowie die Vorteile, die sich mit standardisierten Systemen ergeben. Mit den Merkmalen flexibler Fertigungssysteme – technisch wie wirtschaftlich – soll deutlich gemacht werden, welche technischen und organisatorischen Voraussetzungen im Betrieb geschaffen werden müssen und welche Risikofaktoren es gibt. Mit dem Konzept der stufenweisen Realisierung und Integration in den Betrieb durch Standardisierung lassen sich die Risiken mindern.

1 Einleitung

Marktakzeptanz kann allgemein festgestellt werden, wenn ein Produkt oder eine Idee weitverbreitet Anwendung gefunden hat. Das setzt voraus, daß zwischen den Zielsetzungen und Anforderungen der Anwender mit der praktischen Realität ein großes Maß an Übereinstimmung erzielt wurde.

Der Begriff „Fertigungsflexibilisierung“ wurde vor etwa 20 Jahren geprägt. Man findet ihn seither in der Literatur als Schlagwort für die Einführung flexibler Fertigungssysteme in die industrielle Produktion. Der Gedanke zur Entwicklung dieser Systeme entstand vor dem Hintergrund einer sich abzeichnenden Veränderung der Marktanforderungen, die bis heute durch kürzere Produktlebenszeiten, der Forderung nach geringeren Lieferzeiten, eine stark zunehmende Variantenvielfalt der Produkte und eine zunehmende Produktkomplexität gekennzeichnet ist (Bild 1).

Bild 1. Veränderung der Marktanforderungen (Quelle: WZL, Aachen)

2 Zielsetzungen der Anwender und Anforderungen an die Flexibilität

Mit der Fertigungsflexibilisierung verbinden sich unterschiedliche Erwartungen seitens der Anwender, die von der Perspektive des Betrachters abhängen. Die für die Leitung eines Anwenderunternehmens verantwortlichen Manager interessieren sich für die Möglichkeit, durch Fertigungsflexibilisierung rascher auf Markt- und Konjunkturveränderungen reagieren zu können. Es interessieren vor allem geschäftspolitische Aspekte und Fragen der Kostenentwicklung.

Bild 2 zeigt als ein Beispiel, daß in der Bundesrepublik Deutschland wie auch in Japan und – ohne die Dollarkurschwankungen – in den USA ein kontinuierliches Ansteigen und in den letzten zehn Jahren eine Verdoppelung der Arbeitskosten pro produktiver Stunde zu verzeichnen war. Der Preissteigerungsindex im gleichen Zeitraum beträgt mehr als 40%. Das Interesse gilt daher auch der Tatsache, daß durch die flexibel automatisierte Fertigung wirtschaftliche Vorteile und damit die Sicherung oder eine Verbesserung der Marktposition erzielbar ist.

Der für die Produktion Verantwortliche dagegen, dessen Aufgabe darin besteht, termingerecht mit der geforderten Qualität eine bestimmte Menge von Produkten mit dem kleinstmöglichen Aufwand herzustellen, hat ganz andere Prämissen und verbindet mit der Fertigungsflexibilisierung andere Ziele (Bild 3). Er möchte Fertigungseinrichtungen, die möglichst die Komplettbearbeitung von Werkstückgruppen oder Teilefamilien zulassen. Er wünscht eine Erhö-

Bild 2. Entwicklung der Arbeitskosten je produktive Stunde (Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft)

Bild 3. Ziele flexibler Fertigungstechnik (Quelle: Werner und Kolb, Berlin)

Bild 4. Zielsetzungen der Produktionsflexibilität (Quelle: ISW Stuttgart)

hung der Nutzungszeit und der Auslastung der Bearbeitungsmaschinen, geringeren Rüst- und Umrüstaufwand, ein hohes Maß für die Wiederverwendung der Betriebsmittel bzw. eine Verringerung der Betriebsmittelkosten, die Reduzierung der Durchlaufzeiten und der Lagerbestände, montagegerechte Losgrößen und nicht zuletzt auch Know-how-Gewinn und betriebliche Transparenz durch Anwendung rechnergeführter flexibler Fertigungstechnik.

Auch gibt es weitere Zielvorstellungen wie die des Servicetechnikers, der von der Fertigungsflexibilisierung eine Erhöhung der Betriebssicherheit durch automatisierte Prozeßüberwachung und eine Verbesserung der Störungsdiagnose durch Rechnerunterstützung erwartet. Der für die Qualitätssicherung Zuständige strebt die integrierte prozeßnahe Qualitätskontrolle an, um rasch und gezielt reagieren zu können; er erwartet von der flexibel automatisierten Fertigung eine gleichbleibende Produktionsqualität. Zusammengefaßt lassen sich diese Zielvorstellungen mit dem Begriff Produktionsflexibilität nach den in Bild 4 dargestellten Thesen beschreiben.

Dabei wird jedoch auch deutlich, daß die verschiedenen gerichteten Interessen und Ziele bei der Definition einer geplanten flexiblen Fertigungsanlage zu unterschiedlichen Prioritäten führen können. Entsprechend differenziert kann auch die Bewertung der Fertigungsflexibilisierung ausfallen.

3 Entwicklung und Trends

In der Anfangsphase der Fertigungsflexibilisierung stand die heute wichtigste Bedingung einer wirtschaftlichen Lösung weniger im Vordergrund, zumal keine Vergleichsmög-

Bild 5. Anfangsentwicklung der Fertigungsflexibilisierung (Quelle: IPK, Berlin)

lichkeiten und Erfahrungen vorlagen. Die seit 1967 installierten ersten Flexiblen Fertigungssysteme (FFS) waren Pilotanlagen, mit deren Einführung der erste Schritt zur „mannlosen Fabrik“ getan werden sollte. Es handelte sich um relativ große Anlagen, zu deren Planung, Beschaffung und betrieblicher Einführung große Investitionen und ein erheblicher Aufwand erforderlich waren. Die mit der Einführung verbundenen Risiken wurden als sehr hoch eingeschätzt, so daß eine Verbreitung der Fertigungsflexibilisierung nur in größeren Unternehmen und allgemein sehr zögernd stattfand. Bild 5 zeigt die anfängliche Entwicklung in einigen Industrieländern.

Geht man dieser Entwicklung weiter nach, so stellt man fest, daß in verschiedenen Quellen sehr unterschiedliche Angaben über die Verbreitung flexibler Fertigungseinrichtungen gemacht werden. Die als ein Beispiel in Tabelle 1 wiedergegebenen Zahlen für die in der Bundesrepublik Deutschland 1985 hergestellten bzw. installierten Systeme belegen ganz offensichtlich verschiedene Erhebungen, was unter anderem auch mit verschiedenen verwendeten Definitionen von FFS zusammenhängt.

Mit der Bezeichnung „Flexible Automatisierung“ werden flexible Transferstraßen, flexible Fertigungssysteme und -zellen umschrieben. Auch das Wort „Fertigungsinsel“ ist gebräuchlich. Für die Interpretationen der Begriffe „Fertigungszelle, -insel oder -system“ existieren seit einiger Zeit Vorschläge zur einheitlichen Definition. Im praktischen Sprachgebrauch zeigt sich aber, daß die einen für den kleinsten Baustein dieser Automatisierung bereits die Einzelmachine mit automatischer Werkstück- und Werkzeugversorgung ansehen, die anderen jedoch erst bei der Verkettung von mindestens zwei Werkzeugmaschinen mit automatisier-

Tabelle 1. Vergleich der Zahlenangaben über die Verbreitung der Fertigungsflexibilisierung in der Bundesrepublik Deutschland

Unterschiedliche Quellen	1985 hergestellte Systeme		1985 installierte Systeme	
	nach VDW-Stat.	nach Bosten Consulting	nach ISI/ISF-Studie	nach IPA Stuttgart
flexible Fertigungszellen = automatische Einzelmaschinen	74	120	195	240
flexible Fertigungssysteme = verkettete Mehrmaschinensysteme (ungetaktet bzw. wahlfrei)	25	140	83	50
flexible Transferstraßen (getaktet bzw. gerichtet)	20	150	?	?

Bild 6. Entwicklung der Fertigungsflexibilisierung in der Bundesrepublik Deutschland

ter Material- und Informationsflußperipherie zu zählen beginnen.

Seit etwa Mitte der 80er Jahre ist eine stark zunehmende Verbreitung der Fertigungsflexibilisierung festzustellen (Bild 6). Zu dem anfänglichen und nahezu ausschließlichen Anwenderkreis der Großunternehmen (> 1000 Mitarbeiter) sind seither viele mittelgroße Unternehmen hinzugekommen, und beinahe jeder zehnte Anwender zählt heute zu kleineren Unternehmen mit weniger als 200 Mitarbeitern (Bild 7).

Die Gründe dafür liegen einmal in den letztendlich positiven Erfahrungen, die in den vergangenen zehn Jahren immer mehr nachprüfbar Fakten und Vorteilsargumente ergaben. So wurde anfänglich dem Einsatz von Rechnern zur flexiblen Steuerung komplexer Fertigungsanlagen, vor allem aber der Funktionstüchtigkeit der erforderlichen Software dazu, große Skepsis entgegengebracht. Die heute verfügbaren Kenntnisse haben diese Skepsis weitgehend zerstreut, und auch die früher hohen Investitionskostenanteile für Hard- und Software einer FFS-Steuerung sind deutlich gesunken. So kommt eine Studie zu dem Ergebnis, daß heute etwa 60% bis 70% des Gesamtinvestitionsvolumens für die Bearbeitungsmaschinen, 15% bis 20% für das Materialflußsystem und der geringste Anteil von etwa 10% bis 15% für das Informationssystem investiert werden müssen.

Nach einer anderen Betrachtung am Beispiel horizontaler Bearbeitungszentren, bei der die Kosten für die Material- und Informationsflußperipherie anteilig den einzelnen verketteten Maschinen hinzugerechnet wurde, sind die nicht preisbereinigten Mittelwerte in den letzten Jahren etwa konstant und lediglich von der Maschinengröße abhängig (Bild 8). Unter Berücksichtigung des Preissteigerungsindex liegt daher tatsächlich eine fallende Tendenz vor.

Bild 7. Verteilung der Unternehmensgröße von FFS-Anwendern (Quelle: ISI, Karlsruhe; ISF, München)

Bild 8. Investitionskosten je verkettetes Bearbeitungszentrum in Abhängigkeit von der Maschinengröße

Den größten Beitrag zur Verbreitung flexibel automatisierter Fertigungstechnik hat die fortschreitende Standardisierung der FFS-Komponenten für das Bearbeitungs-, das Materialfluß- und das Informationssystem erzeugt. Sie steht in Zusammenhang mit dem stark gewachsenen Anbieterkreis, der mit Unterlieferanten und Zukaufteilen arbeitet, die am Markt prinzipiell jedem Wettbewerber zugänglich sind. Beispiele schon längst nicht mehr diskutierter Standardisierungen findet man auch bei Werkzeughaltern und -adaptoren, Werkstücktransportpaletten sowie bei Software-Schnittstellen, Datenformaten und -protokollen (MAP).

Vorteil dieser Standardisierungen sind Kostensenkungen auf der Produktionsseite bei den Herstellern, in Konsequenz aber vor allem die Möglichkeit der stufenweisen Ausbaubarkeit flexibler Fertigungsanlagen. Diese Möglichkeit gestattet dem Anwender nicht nur die schrittweise Einführung in den Betrieb, sondern auch die Aufteilung der Investitionen und damit die Reduzierung der unternehmerischen Risiken.

So ist es folgerichtig, wenn heute kleine FFS mit zwei bis drei verketteten Maschinen deutlich vor Großsystemen überwiegen. Bild 9 zeigt die Analyse der Größenverteilung flexibler Fertigungssysteme, nach der mehr als zwei Drittel der Systeme kleinere und damit weniger komplexe und risikobehaftete Anlagen sind. Sie werden auch in Zukunft bei der Fertigungsflexibilisierung – besonders in kleineren und mittleren Unternehmen – die größte Bedeutung haben.

Daneben wird aber auch infolge eines anderen Trends die Bedeutung großer Fertigungssysteme wieder zunehmen. Mit dem breiter werdenden Angebot von Engineeringleistungen und der Bereitschaft zur Generalunternehmenshaft erfahrener FFS-Hersteller existiert nun die relativ kostengünstige Möglichkeit, auch komplexe Großanlagen auf der Basis standardisierter Komponenten zu realisieren. Bild 10

Bild 9. Verteilung der Systemgrößen

Bild 10. Konsequent strukturiertes Groß-FFS mit Standardkomponenten (Quelle: Werner und Kolb, Berlin)

zeigt als Beispiel eine solche Anlage. Auch hierbei spielt die Komponentenstandardisierung eine wichtige Rolle, deren Bedeutung mit der konsequenten Weiterentwicklung von FFS-Standardkomponenten noch zunehmen wird.

4 Technische Merkmale flexibler Fertigungssysteme

Flexible Fertigungssysteme lassen sich nach dem in Bild 11 dargestellten Schema systematisch einteilen in das Bearbeitungs-, das Materialfluß- und das Informationssystem. Jedes dieser Subsysteme besteht aus Komponenten (Bild 12), die in verschiedener Weise als technische Lösung ausgeführt sein können. Kombinationen der Einzelkomponenten der Subsysteme erlauben die Realisierung problemspezifischer Lösungsvarianten mit Standardkomponenten. Die Auswahl der optimalen Lösung richtet sich nach den Gegebenheiten und den Anforderungen des Anwenders.

Die Bilder 13a bis d zeigen typische Ausführungsbeispiele für Systeme zum Bohren und Fräsen, Drehen, Sägen und Schleifen. Das in Bild 13a gezeigte System besteht aus sich ersetzenden horizontalen Bearbeitungszentren. Bild 13b zeigt ein flexibles Fertigungssystem mit sich ergänzenden Maschinen. Es handelt sich um ein CNC-gesteuertes Rohteillager (Stangenlager), ein Kreissägenzentrum und eine selbsttrüstende Drehzelle, die durch Übergabeeinrichtung und Portallader verkettet sind. Die Bilder 13c und d zeigen flexible Zellen zum Drehen und zum Schleifen. Allen gemeinsam ist die rechnergeführte, automatische Werkstückversorgung über Rüstplätze, Speicher, Transport- und Handhabungseinrichtungen und Bereitstellungs-

Bild 11. Subsysteme flexibler Fertigungseinrichtungen

Werkstückfluß

Informationsfluß

Bearbeitungssystem

Werkzeugfluß

Bild 12. Beispielschema für die Komponenten der Subsysteme flexibler Fertigungseinrichtungen (Quelle: Werner und Kolb, Berlin)

plätze. Die Bearbeitungszentren und die Drehzellen verfügen weiter über einen vollautomatischen, wahlfreien Werkzeugwechsel; bei dem Beispiel der Schleifzelle ist eine programmgesteuerte Abrichtvorrichtung integriert.

Besonders bei größeren Anlagen werden zunehmend Großlager – vor allem als Hochregallager – für die Werkstückpufferung vorgesehen (Bild 14). Auch hierbei ist das Kennzeichen der automatische, wahlfreie Zugriff durch Rechnersteuerungen.

Die gebräuchlichsten technischen Lösungen für den Werkstücktransport mit schienengebundenem oder induktiv geführtem Flurförderfahrzeug, mit Portallader oder mit Rollenbahnsystemen sind in den Bildern 15a bis d an Beispielen gezeigt. Kriterien für die Auswahl der geeigneten technischen Lösung sind dabei das Werkstückgewicht, die Handhabbarkeit der Werkstücke, räumliche Bedingungen in der Produktionshalle, zeitliche Kriterien und nicht zuletzt auch Kostenfragen.

Zunehmende Bedeutung bei der Fertigungsflexibilisierung hat das rechnerunterstützte Werkzeugmanagement und in einem weiteren Schritt die automatische Werkzeugversorgung mit zentralem Werkzeuglager und on-line angeschlossener Werkzeugvoreinstellung. Die Bilder 16a und b zeigen beispielhaft zwei bewährte Lösungen mit Einzelwerkzeugaustausch durch Robotcarrier und Kassettenaustausch, der sowohl manuell mit Hubwagen als auch automatisch mit induktiv gesteuertem Flurförderfahrzeug erfolgen kann.

Beispiele für den Werkzeugaustausch im Revolver einer Drehzelle sowie Backenaustausch über Portallader zeigen die Bilder 17a und b. Kennzeichen dieser Lösungen ist die vorausschauende Werkzeugbedarfsplanung, die rechnergeführte Werkzeugbereitstellung sowie die Werkzeugdatenverwaltung und -übertragung. Die Vorteile liegen vor allem in einer starken Reduzierung der Rüst- und Nebenzeiten, in einer erheblichen Werkzeugbestandsverringern und in

Bild 13 a–d. Beispiele typischer Standardausführungen flexibler Fertigungssysteme und -zellen. **a** Werkstück- und werkzeugseitig verkettete Bearbeitungszentren (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin); **b** flexibles Fertigungssystem mit selbstfrästender Drehzelle, Kreissägezentrum und Regallager (Werkbild: Traub, Esslingen; Kasto, Achern); **c** flexible Drehzelle mit automatischer Werkstück- und Werkzeugversorgung (Werkbild: Index, Esslingen); **d** flexible Schleifzelle mit automatischer Werkstückbeladung (Werkbild: Schaudt, Hedelfingen)

Kosteneinsparungen bei der Werkzeuginstandhaltung durch volle Ausnutzung der Werkzeugstandzeiten.

Die Bilder 18 a und b zeigen Beispiele einer komfortablen Werkzeugverwaltung mit Reststandzeitanzeige und Tauschwerkzeugliste. Mit der in Bild 19 gezeigten Werkzeugschnellwechseinrichtung können hauptzeitparallel bis zu acht Werkzeuge gleichzeitig an einem Maschinenwerkzeugmagazin gewechselt werden.

Das Informationssystem der FFS ist hierarchisch aufgebaut. Es besteht in der untersten Ebene aus den CNC-Ma-

schinensteuerungen, in denen die Geometriedaten und die technologischen Daten für den Bearbeitungsprozeß verarbeitet werden. Die Koordination mehrerer CNC-Steuerungen übernimmt die Systemsteuerung bzw. der Zellenrechner mit der Werkstückdaten-, Werkzeugdaten- und NC-Programmverwaltung, Rechnerkopplung, chronologischen Produktionsdatenerfassung und der Auftrageingabe, -prüfung und -verwaltung.

Die Datenein- und -ausgabe erfolgt über ein Bildschirmterminal (Bild 20). Die dialogorientierte Bedienerführung in Verbindung mit der Menütechnik hat sich als äußerst werkstattfreundlich erwiesen. Der Bildschirm gibt auch eine Diagnosemeldung aus.

Der Betrieb eines FFS läßt sich besonders effizient durchführen, wenn dem Betreiber alle wesentlichen Informationen und aktuellen Daten über den Zustand des FFS und seiner Komponenten permanent zur Verfügung stehen. Diese Aufgaben werden von Betriebsdaten-Workstations wahrgenommen. Ausgegeben werden eine chronologische Ereignisliste des aktuellen Systemzustands, die Betriebsdaten der Einzelmaschinen und des Gesamtsystems sowie die auftragsbezogenen Betriebsdaten (Bild 21).

In der Hierarchie des Rechnernetzes befindet sich oberhalb des Zellenrechners die Leitrechnerebene. Während es sich beim Zellenrechner um ein Industriegerät handelt, das für den rauen Einsatz in der Produktionsumgebung entwickelt wurde, finden in der Leitrechnerebene Prozeßdaten-Verarbeitungsanlagen oder Kleinrechner auf der Basis

Bild 14. Rechnergesteuertes Hochregallager für Roh- und Fertigteile (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin)

Bild 15a-d. Technische Lösungsvarianten für Werkstücktransportsysteme in FFS. **a** Schienengebundenes Flurförderfahrzeug (Werkbild: Hüller Hille, Ludwigsburg); **b** induktiv geführtes Flurförderfahrzeug (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin); **c** Portallader mit fünf Achsen (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin); **d** Rollenbahnförderer in Kombination mit induktiv geführtem Flurförderfahrzeug (Werkbild: Hüller Hille, Ludwigsburg)

Bild 16a und b. Technische Lösungsvarianten für die automatisierte Werkzeugversorgung. **a** Modular aufgebautes Werkzeuglager mit Robotcarrier und Kopfstation (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin); **b** Werkzeugmagazin mit Transportkassetten (Werkbild: Hüller Hille, Ludwigsburg)

von Personal-Computern Verwendung. Diese können aufgrund ihrer Ausrüstung mit Massenspeicher Datenverarbeitungsaufgaben erfüllen.

Generell ist eine aktuelle Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung erwünscht. Sie umfaßt die periodische und anfrageorientierte Übernahme der im Zellenrechner anfal-

lenden Betriebsdaten und deren Übertragung in eine Datenbank, die Bereitstellung von Auskunftsfunktionen, sofortige Klartextanzeige von Alarmmeldungen und eine zeitraumorientierte Verdichtung der Betriebsdaten und deren Archivierung auf portablen Datenträgern.

Üblicherweise wird der Leitcomputer von Kapazitätster-

Bild 17 a und b. Beispiel für den Werkzeug- und Backenwechsel an einer Drehzelle.

a Werkzeugwechsel am Drehmaschinenrevolver über Portallader (Werkbild: Index, Esslingen); **b** automatischer Backenwechsel in einer Drehzelle (Werkbild: Index, Esslingen)

TAUSCHLISTE MASCHINE 1

Entladeverzeuge:				Beladeverzeuge:			
T543588 D02	T543388 D04	T808881 D05		T808888	T543388	T808881	
T557568 D01	T561858 D08	T352118 D01		T522255	T553162	T223588	
T554752 D03	T161328 D02	T808882 D04		T848886	T223388	T181288	
T561590 D01	T533484 D08	T528829 D01		T183312	T881288	T808888	
T826818 D03	T831833 D02	T881188 D02		T888884	T888883	T223328	
T528828 D01	T181197 D03	T271228 D04		T881355	T888885	T888887	
T861858 D03	T881118 D05	T181386 D06		T881258	T433229	T271238	
T271212 D02	T527219 D05	T881168 D03		T888885			
T181177 D01	T271218 D08	T525216 D03					
T861857 D04	T881268 D02	T213141 D02					
T544463 D01	T544363 D01	T861868 D01					
T181388 D02	T271212 D08	T527219 D08					
T881168 D01	T181177 D01	T271218 D02					
T525216 D08	T861857 D02	T881268 D08					
T213141 D08	T544463 D01	T544363 D04					
T861868 D01	T883452 D01						

F1:DATEN F2:ZEIT F3:BILANZ F4:TAUSCH

STANDZEITBILANZ MASCHINE 1

PLATZ	WZ-NR	DUPL	ST-ZEIT	-180 min		+180 min	
SP	999999	88	+18				
001	557568	01	0				
002	561858	08	0				
003	352118	01	0				
004	543588	02	-19				
005	553127	01	+243				
006	561848	08	+19				
007	527128	01	+58				
008	543388	04	-67				
009	826816	02	+45				
010	831842	08	+15				
011	181285	05	+16				
012	881188	01	+64				
013	825128	01	+54				
014	881175	02	+23				
015	112128	02	+62				
016	881158	01	+38				

F1:DATEN F2:ZEIT F3:BILANZ F4:TAUSCH

Bild 18 a und b. Werkzeugmanagement (Werkbilder: Werner und Kolb, Berlin). **a** Werkzeugtauschliste am Bildschirm; **b** Reststandzeitanzeige am Bildschirm

Bild 19. Werkzeugschnellwechselsystem QTC mit Kammkassette (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin)

Bild 20. Bildschirmterminal einer Systemsteuerung (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin)

minierungssystemen des zentralen Betriebsrechners mit Aufträgen für einen bestimmten Zeitraum versorgt. Der Leitrechner greift innerhalb vorgegebener Schranken optimierend in den Auftragsfluß ein, disponiert die Betriebsmittel sowie Rohteile und gibt periodische Rückmeldungen über erledigte Aufträge, Betriebsdaten und Störungen an den Betriebsrechner.

Die aktuelle Betriebsdatenerfassung und -verwaltung bis in die Leitrechnerebene hinein ist damit Ausgangsbasis für eine integrierte rechnergeführte Fertigungssteuerung. Neben den direkt aus der Leitrechnerebene übertragenen Informationen können auch alle anderen relevanten Betriebsdaten jeweils am Ursprungsort, und zwar zum Zeitpunkt des Geschehens, erfaßt, geprüft und unmittelbar zentral ver-

Bild 21. Beispiel für die chronologische Betriebsdatenerfassung (Werkbild: Werner und Kolb, Berlin)

arbeitet werden. Für jede CIM-Konzeption ist das eine wichtige Grundlage und Voraussetzung.

5 Wirtschaftliche Merkmale flexibler Fertigungssysteme

Es ist heute üblich, die Auslegung komplexer flexibler Systeme mit rechnerunterstützten Planungs- und Simulationshilfsmitteln so zu optimieren, daß die wirtschaftlichste Problemlösung gefunden werden kann. Zur Beurteilung dienen Wertanalysen sowie Wirtschaftlichkeits- und Investitionsrechnungen, die sowohl direkte wie auch schwer quantifizierbare Größen berücksichtigen. Eine entsprechende Empfehlung wurde durch den VDMA/ZVEI-Projektkreis „Prozeßwirtschaftlichkeit rechnergestützter Fertigungssysteme“ im November 1987 vorgelegt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang das Ergebnis einer Studie über die Entscheidungskriterien deutscher und amerikanischer FFS-Anwender: Die finanztechnische Analyse für die FFS-Beschaffung war in nur 21% der Fälle ausschlaggebendes Entscheidungskriterium. In 79% der Fälle basierte die endgültige Investitionsentscheidung auf Intuition. Die relative Unwichtigkeit der finanztechnischen Ergebnisse in der Entscheidungsfindung stützte sich primär auf die Überzeugung, daß die flexible Automatisierung indirekte und strategische Vorteile aufweise, die nicht in die Rechnung einbezogen werden konnten. Die mangelnde Erfahrung im Umgang mit der FFS-Technologie wurde als Hauptrisikofaktor angesehen. Die Investitionen wurden zu 36% dennoch getätigt, weil man sie als notwendig erachtete, um im Geschäft zu bleiben. Während auf amerikanischer Seite keine formellen Methoden zur Risikoberücksichtigung genannt wurden, orientierten sich die deutschen Befragten dieser Studie an faktischen Rechengrößen.

Die wichtigsten Faktoren sind die Verfügbarkeit des flexiblen Fertigungssystems, der Kapitaleinsatz, die Stückkostenreduzierung und die Durchlaufzeitverringerung. Tabelle 2 zeigt ein vergleichendes Beispiel für Bearbeitungszentren als Einzelmaschine, Zelle und System. Erfahrungswerte für die technische Verfügbarkeit, die tatsächliche Nutzung und die durchschnittliche Ausbringung sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Man erkennt, daß die realen Werte deutlich besser sind als diejenigen, die üblicherweise einer Wirtschaftlichkeitsrechnung zugrunde gelegt werden.

Untersuchungen bei europäischen Anwendern flexibler Fertigungssysteme bestätigen die Zahlen (Bild 22). Eine

Tabelle 2. Fallbeispiele für Wirtschaftlichkeitsfakten der flexiblen Fertigungseinrichtungen (Quelle: Werner und Kolb, Berlin)

Systemanwender	Anzahl Maschinen im System	Ergebnis	
		Technische Verfügbarkeit	Tatsächliche Nutzung
BMW / München	5	91,1 %	84,8 %
MAN / Sterkrade	4	91,9 %	82,7 %
MÜLLER / Frick	2	94,5 %	86,1 %
SAUER / Neumünster	4	93,1 %	84,8 %
FRITZ-WERNER / Geisenheim	2	94,9 %	87,7 %
ENGEL / St. Valentin	4	94,3 %	87,5 %
Durchschnittswerte		93,3 %	85,6 %

Tabelle 3. Erfahrungswerte für die technische Verfügbarkeit und die tatsächliche Nutzung bei Systemanwendern (Quelle: FIR, Aachen)

Strukturen	Einzelbearbeitungszentren	Flexible Fertigungssysteme
Technische Verfügbarkeit	96,6 %	92,0 %
Tatsächliche Nutzung	79,0 %	83,0 %
Ausbringung	74,0 %	82,0 %

Bild 22. Untersuchungsergebnisse über technische Verfügbarkeit und tatsächliche Nutzung bei Systemanwendern (Quelle: FIR, Aachen)

amerikanische Studie beziffert ergänzend die Steigerung der Produktivität auf 40% bis 70%, die Reduzierung des Materialumschlags in der Produktion auf 30% bis 60% sowie die Ausschubreduzierung auf 50% bis 80%. Die Vorteile sind eindeutig, wenngleich auch noch nicht immer diskussionslos anerkannt.

So erklärt sich die in Bild 23 dargestellte Entwicklung des Anteils verketteter Maschinen am Beispiel horizontaler Bearbeitungszentren, der nur etwa 10% bis 15% erreicht. Trotz leicht steigender Tendenz ist das Potential für die weitere Entwicklung der Fertigungsflexibilisierung noch groß.

Bild 23. Entwicklung des Anteils verketteter Bearbeitungszentren, bezogen auf den Auftragseingang in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: VDMA, Frankfurt a. M.)

6 Zusammenfassung

Die mit der Fertigungsflexibilisierung verbundenen Anforderungen haben bei den Anwendern unterschiedliche Prioritäten, zielen aber allgemein auf eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, der Produktivität und der Qualität sowie auf eine Erhöhung der Reaktionsfähigkeit auf Marktveränderungen. Die anfänglich nur sehr zögernde Einführung flexibler Fertigungssysteme erklärt sich mit den vergleichsweise hohen Investitionskosten und Unsicherheiten bezüglich des tatsächlichen Nutzens.

Mit zunehmender Erfahrung über den Einsatz flexibler Fertigungssysteme, einem verhältnismäßig großen Angebot standardisierter FFS-Komponenten und erprobter Software kann heute von der Marktakzeptanz bei der Fertigungsflexibilisierung gesprochen werden. Die Zahl der installierten Systeme hat sich rasant erhöht und allein in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten zwei Jahren um mehr als das Fünffache gesteigert. Dennoch weist das Zahlenverhältnis unverketteter Einzelmaschinen zu verketteten Systemen heute noch auf ein großes Potential für die Weiterentwicklung der Fertigungsflexibilisierung hin.

Die vorliegenden Erfahrungen hinsichtlich des wirtschaftlichen und technischen Nutzens des FFS-Einsatzes bestätigen in eindeutiger Weise die Vorteile und dürften in Zukunft weiter dazu beitragen, noch immer bestehende Unsicherheiten zu beseitigen.

Literatur

1. Dolezalek, C.M.: Flexible Fertigungssysteme – Die Zukunft der Technik. *wt – Z.f.ind.Fertig.* 60 (1970) H. 8, S. 446–451
2. Warnecke, H.-J.; Steinhilper, R.; Schütz, W.: Flexibel automatisierte Teilefertigung in mittelständischen Unternehmen. *VDI-Z* 124 (1982) H. 17, S. 611–619
3. Warnecke, H.-J.: Stand der flexiblen Fertigung im Maschinenbau. *VDMA – Mit Technologie die Zukunft bewältigen*. Bd. 2: Datenverarbeitung in der Technik, Flexible Automatisierung in der Produktion. Frankfurt a.M.: Maschinenbau-Verlag 1984
4. Eversheim, W.: Organisatorische Voraussetzungen und Randbedingungen für flexible Fertigung. *VDMA*, Bd. 2 (wie [3])
5. Hammer, H.: Bausteine und Konzeptionen für flexible Fertigungssysteme (FFS). *Techn. Rundschau* 77 (1985) H. 21, S. 8–17
6. Holz, B.; Gaebler, W.: Flexible Fertigungssysteme. *Ingersoll Ingenieurgesellschaft mbH*. Berlin: Springer 1985
7. Pritschow, G.: Die flexible Fertigungszelle. *Fertig. techn. Koll.* '85 Stuttgart. Berlin: Springer 1985. S. 48–57
8. Spur, G.: Flexible Fertigungssysteme: zukünftige Entwicklung aus der Sicht der Wissenschaft. *Techn. Rundschau* 77 (1985) H. 30/31, S. 8–13
9. Steinhilper, R.: Erfahrungen mit flexiblen Fertigungssystemen. *VDI-Z* 127 (1985) H. 15/16, S. 583–589
10. Tuffentsammer, K.: Die automatisierten Fertigungssysteme. *tz f. Metallbearb.* 79 (1985) H. 8, S. 48–52
11. Warnecke, H.-J.: Flexible Fertigungssysteme – Einsatzperspektiven in der Bundesrepublik Deutschland. *Fortschritt. Betriebsführ. u. Industr. Engng.* 34 (1985) H. 6, S. 269–276
12. Behrendt, W.K.; u.a.: Flexibel numerisch gesteuerte CNC-Fertigungssysteme. *Kontakt & Studium, Maschinentechnik*, Bd. 221 Sindelfingen: Expert Verlag 1986
13. Fix-Sterz, J.; Lay, G.; Schulz-Wild, R.: Flexible Fertigungssysteme und Fertigungszellen. *VDI-Z* 128 (1986) H. 11, S. 369–379
14. Hammer, H.: Erfahrungsbericht über Verfügbarkeit, Betriebsverhalten und Einsatzbedingungen von flexiblen Fertigungssystemen. *Firmenschr. Werner und Kolb Werkzeugmaschinen GmbH*, Berlin 1986
15. Hammer, H.: Rechnerintegrierte Fertigung durch hierarchisches Rechnernetz. *Wie* [14]
16. Kief, H.B.: Flexible Fertigungssysteme 86/87. *Michelstadt: NC-Handbuch-Verlag* 1986
17. Milberg, J.: Der Materialfluß in der flexiblen Produktion. *Technica* 35 (1986) H. 3, S. 15–22
18. Tuffentsammer, K.: Zentrum, Zelle, Insel oder System? *Technica* 35 (1986) H. 19, S. 21–28
19. Kriegbaum, H.: Auftragsbestand stützt die Produktion. *wt Werkstatttechnik* 77 (1987) H. 10, S. 530
20. Malle, K.: Werkzeugmaschinenhersteller als Systemanbieter. *VDI-Z* 129 (1987) H. 12, S. 8–12
21. Malle, K.: Alles wird komplexer. *Wie* [20], S. 26–37
22. VDMA/ZVEI: So beurteilen Sie Investitionen in rechnerunterstützten Fertigungssystemen. Frankfurt a.M.: Maschinenbau-Verlag 1987