



PROMOTION

*Gestaltung und Betrieb
mobiler Produktionssysteme*

*Abschlussbericht des
Forschungsprojektes ProMotion*

Michael F. Zäh, Peter Bayerer (Hg.)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	IX
Projektpartner.....	XV
1 Mobilität der Produktion – eine neue Dimension der Wandlungsfähigkeit	1
1.1 Zielsetzung des Forschungsprojektes.....	2
1.2 Projektstruktur und Vorgehensweise	4
2 Mobile Anlagen – Basis für mehr Strukturvariabilität.....	7
2.1 Mobilitätsausprägungen bei Produktionseinrichtungen.....	7
2.1.1 Anlagenmobilität	7
2.1.2 Teilemobilität	8
2.1.3 Personalmobilität.....	8
2.2 Die mobile Sonderwerkzeugmaschine.....	9
2.2.1 Die „hängende“ Werkzeugmaschine – Top-Table-Machining-Center	9
2.2.2 Modularer Aufbau der Werkzeugmaschine	10
2.2.3 Nutzung von mehrachsigen Bearbeitungseinheiten	12
2.2.4 Einsatz von Linear- und Torquemotoren.....	14
2.2.5 Steigerung der Präzision durch Temperaturkompensation und Werkzeugkontrollsysteme	15
2.3 Die mobile Montage- und Prüfanlage.....	15
2.3.1 Steigerung der Flexibilität durch Modularisierung	16
2.3.2 Schnelligkeit und Mobilität durch Standardmodule.....	17

Inhaltsverzeichnis

2.3.2.1 Das Aufnahmemodul	19
2.3.2.2 Das Prozessmodul.....	20
2.3.2.3 Das Steuerungs-/ Versorgungsmodul	21
2.3.3 Mobilitätsszenarien bei Montageanlagen.....	23
2.4 Die „mobile Bedieneroberfläche“.....	27
2.4.1 Interaktive Maschinenbedienung	28
2.4.2 Sprach- und Personalmobilität	29
2.4.3 Objektorientierte, PC-basierende Programmiersprache.....	29
2.4.4 Prozessvisualisierung	29
2.5 Fazit.....	30
3 Flexibilisierung der Fabrikstrukturen.....	33
3.1 Bisherige Ansätze zur Steigerung der Flexibilität und Mobilität	34
3.1.1 Projektdatenbank	34
3.1.2 Kategorien	35
3.1.3 Interdependenz Mobilität – Flexibilität.....	39
3.1.4 Zuordnung der Anforderungsprofile der Projektpartner	39
3.2 Industriearchitektur als Befähiger innerer und äußerer Mobilität	41
3.2.1 Strukturen zur Steigerung der Mobilität von Produktionssystemen	41
3.2.2 Typologie wandlungsfähiger Fabriken (variantenflexible, atmende Fabriken)	46
3.2.2.1 Positionierung der Anforderungsprofile der Projektpartner.....	48
3.2.3 Gebäudepotentiale für die stückzahl- und variantenflexible Produktion	49
3.2.3.1 Strategien in der Flexibilitätsplanung.....	49

3.2.3.2 Richtige Gebäudedimensionierung.....	50
3.2.3.3 Gebäudepotentiale für die flexible Produktion.....	50
3.2.3.4 Vergleich der Strategien	55
3.2.3.5 Gewachsene Strukturen	55
3.3 Anforderungsprofile der Projektpartner.....	56
3.3.1 Strama-MPS	56
3.3.1.1 Beschreibung der Produktionsstruktur.....	56
3.3.1.2 Analyse der Standortressourcen.....	57
3.3.1.3 Kriterienkatalog, Anforderungsprofil	59
3.3.1.4 Beschreibung der spezifischen Anforderungen	61
3.3.2 BMW-Szenario „binärer Aufbau“.....	62
3.3.2.1 Produktionsstruktur bei BMW	62
3.3.2.2 Anwendungsszenarien	63
3.3.2.3 Gebäudekonzepte.....	63
3.3.2.4 Anforderungen an die Gebäudestruktur.....	64
3.3.2.5 Anforderungen an Mobile Anlagen zur Entlastung der Gebäudestruktur.....	66
3.4 Pilotprojekt Strama-MPS, Straubing.....	66
3.4.1 Schwerpunkt Boden.....	67
3.4.1.1 Bereich Fertigung.....	67
3.4.1.2 Bereich Montage.....	69
3.4.2 Schwerpunkt Medienversorgung.....	70
3.4.3 Schwerpunkt Tragwerk	71

Inhaltsverzeichnis

3.4.3.1	Nutzung unbekranteder Hallenschiffe durch Zwischenebenen.....	71
3.4.3.2	Umsetzbare Zwischenebenen, Baukastensystem	71
3.4.3.3	Partielle Überbauung	73
3.4.3.4	Neubau.....	74
3.4.3.5	Brandschutz	75
3.5	Konzeptstudie mobiler Fabrikstrukturen	76
3.5.1	Anforderungen an die Hallenstruktur.....	76
3.5.2	Aufbau/ Umbau/ Rückbau als Qualität im Wandel des Produktzyklus	79
3.5.3	Baukastenlogik zur Vermeidung von zu hohen Flexibilitäts- bzw. Mobilitätsvorhaltekosten.....	80
3.5.4	Gebäudetechnische Versorgung der Hallen im Wandel der Anforderungen	82
3.6	Planungspotentiale	84
4	Nutzung innerbetrieblicher Mobilitätspotentiale	87
4.1	Mobilität als zusätzlicher Freiheitsgrad.....	87
4.2	Entwicklung einer Methodik zur Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen.....	88
4.3	Anforderungen an die Methodik.....	89
4.4	Identifikation des Bedarfs zur Strukturadaption.....	91
4.4.1	Leistungsorientierung.....	92
4.4.2	Nutzungsorientierung	92
4.4.3	Kostenorientierung	93
4.4.4	Analyse der Stückzahlentwicklung	94

4.5 Optimierung der bestehenden Produktionsstruktur	96
4.5.1 Kapazitätsplanung auf Basis von Arbeitsplanalternativen	96
4.5.1.1 Festlegung von Arbeitsplänen	96
4.5.1.2 Auswahl einer Arbeitsplankombination	97
4.5.2 Anpassung des Produktionslayouts	98
4.5.2.1 Anlage von Planungsdaten	98
4.5.2.2 Optimierung des Layouts mittels genetischer Algorithmen	101
4.5.2.3 Integration der Ablaufsimulation	103
4.6 Bewertung von Strukturalternativen	103
4.6.1 Zeitliche Veränderbarkeit von Kapazitäten	104
4.6.2 Ermittlung von Leistungs- und Bereitschaftskosten	105
4.6.3 Auswahl einer Strukturalternative auf Basis von Differenzdeckungsbeiträgen	106
4.7 Zusammenfassung	108
5 Entwicklung eines mobilitätsbasierten Produktionskonzeptes	111
5.1 Mobilitätsszenarien	111
5.1.1 Ziele der Mobilität	112
5.1.1.1 Verbesserung der Wirtschaftlichkeit	112
5.1.1.2 Strategische Positionierung	114
5.1.2 Definition des Betrachtungsraums	114
5.1.3 Verlagerungsoptionen	115
5.1.4 Beschreibung des Verlagerungsszenarios	117
5.1.4.1 Binärer Aufbau	118

Inhaltsverzeichnis

5.1.4.2 Verlagerung von Produkten während des Produktlebenszyklus	1
5.2 Bewertung der Szenarien	1
5.2.1 Aufwandsgrößen	1
5.2.1.1 Monetäre Aufwandsgrößen	1
5.2.1.2 Qualitative Aufwandsgrößen	1
5.2.2 Nutzeneffekte	12
5.2.2.1 Monetäre Nutzeneffekte	12
5.2.2.2 Qualitative Nutzeneffekte	12
5.2.3 Bewertungsmethode	12
5.2.4 Chancen	12
5.2.5 Risiken	12
5.2.5.1 Quantitative Risiken	12
5.2.5.2 Qualitative Risiken	12
5.3 Stellgrößen und Anforderungen	130
5.3.1 Logistikkonzept (Produktion)	130
5.3.1.1 Inboundlogistik	130
5.3.1.2 Outboundlogistik	132
5.3.2 Verlagerung von Produktionsanlagen	132
5.3.2.1 Ist-Zustand	133
5.3.2.2 Soll-Zustand	134
5.3.2.3 Basis für Kosten- und Zeitermittlung	135
5.3.2.4 Vergleich Ist-/ Sollzustand	136

5.3.3 Anlagenkonzept.....	137
5.3.3.1 Aufteilung des Betrachtungsumfanges	138
5.3.3.2 Konzept für verlagerungsfähige Karosseriebauanlagen	140
5.3.4 Gebäude.....	144
5.3.5 Anforderungen an das Produkt.....	146
5.4 Beispieldaten für Verlagerung eines Produkts während des Produktlebenszyklus	147
5.4.1 Beispieldaten/ Belegung des Werkes mit Produkten.....	147
5.4.2 Bewertungsablauf.....	148
5.4.3 Bewertung des dargestellten Verlagerungsszenarios	150
5.5 Ausblick	152
5.6 Fazit.....	153
6 Literaturverzeichnis.....	155

1 Mobilität der Produktion – eine neue Dimension der Wandlungsfähigkeit

Robert Cisek, iwb

Das Umfeld vieler Produktionsunternehmen ist durch steigende Kundenanforderungen, zunehmende Internationalisierung sowie weitere Diversifikation der Produkte geprägt. Dies führt zu hohem Innovationsdruck bei gleichzeitig abnehmender Prognostizierbarkeit der Absatzentwicklung. Die wachsende Turbulenz des Produktionsumfeldes erfordert eine immerwährende reaktionsschnelle Adaption der Produktionsstrukturen an die äußereren Anforderungen, um erfolgreich bleiben zu können.

In diesem Zusammenhang lag der Fokus lange Zeit auf der Erhöhung der Flexibilität innerhalb der Produktion. Flexibilität bezeichnet dabei die Fähigkeit eines Unternehmens, sich zwischen Szenarien zu bewegen (z.B. Stückzahlschwankungen), die bei der Planung des Produktionssystems bereits berücksichtigt werden konnten. Es handelt sich also um vorgehaltene, problemspezifische Lösungen, die einen definierten Flexibilitätskorridor schaffen. Vor dem Hintergrund abnehmender Planungssicherheit und der Tatsache, dass Produktlebenszyklus und Lebensdauer eines Produktionssystems immer weiter auseinander laufen (KLIMKE 2002), ist Flexibilität alleine nicht mehr ausreichend.

Erst durch die Wandlungsfähigkeit eines Unternehmens wird es möglich, auch jenseits eines geplanten Korridors zu agieren. Wandlungsfähigkeit wird als über Flexibilität hinausgehendes ungerichtetes bzw. lösungsneutrales Potential verstanden, das im Bedarfsfall aktiviert werden kann, um Anpassungen an veränderte Rahmenbedingungen vorzunehmen (ZÄH et al. 2004). Sie ermöglicht die schnelle Abstimmung der Produktion an die vom Markt gestellten Anforderungen auch jenseits vorher gedachter Lösungen.

Eine optimale Produktionsstruktur kann nur temporär existieren, bevor Verschiebungen im Auftragsspektrum eine Korrektur notwendig machen. Demgegenüber stehen langfristige und nur schwer revidierbare Standort- und Allokationsentscheidungen (Abbildung 1-1). Die Folge ist, dass in einzelnen Märkten, an einzelnen Standorten oder in Bereichen eines Standortes erhebliche Leerkosten realisiert werden, während auf der anderen Seite Kapazitätsengpässe auftreten. Eine mögliche Lösung heißt: Die temporäre Anpassung der Produktionsstruktur an das

1 Mobilität der Produktion – eine neue Dimension der Wandlungsfähigkeit

aktuelle Auftragsspektrum. Das bedeutet Variabilität in der Fertigungsstruktur, Ortsflexibilität der Betriebsmittel und somit Mobilität in der Produktion (REINHART & CISEK 2003, ZÄH et al. 2003).

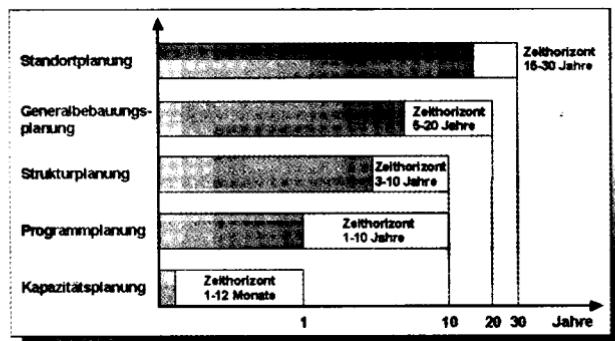


Abbildung 1-1: Zeithorizont verschiedener Planungsstufen nach EVERSHHEIM 1996

1.1 Zielsetzung des Forschungsprojektes

Was versteht man unter „mobilen Produktionssystemen“? Neben der Abstimmung der Abläufe an gegebene Rahmenbedingungen erfordert die Anpassung der Struktur Eingriffe in das Produktionslayout. Dies wird häufig durch den erheblichen Aufwand für die Verlagerung von Anlagen und gewachsene Gebäudestrukturen behindert.

Ziel ist daher der schnelle Auf- und Abbau von Funktionalität und Kapazität in Abhängigkeit der kontinuierlich wechselnden Anforderungen durch mobile Maschinen und Anlagen. Eine flexiblere Nutzungsmöglichkeit der Fabrikgebäude ist die Voraussetzung, um die freie Positionierbarkeit der Anlagen zu gewährleisten. Dies betrifft insbesondere die Medienversorgung, Stützenfreiheit sowie zulässige Boden- und Tragwerksbelastungen.

Der Mobilitätsansatz lässt sich auch auf eine standortübergreifende Nutzung erweitern. Man unterscheidet daher zwei Arten von Mobilität. Unter „innerer Mobilität“ versteht man die Fähigkeit einer Fabrik, ihre Ressourcen am Standort anzupassen. „Äußere Mobilität“ bezeichnet die Fähigkeit einer Fabrik, mit ihren Ressourcen den Standort zu wechseln (WIRTH et al. 2001).

Mobilität von Produktionssystemen

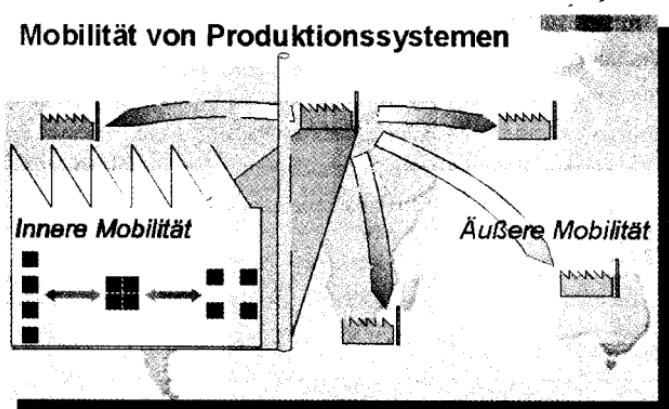


Abbildung 1-2: Betrachtungsebenen der Mobilität

Um Strukturmaßnahmen schnell und effizient umsetzen zu können, ist es notwendig, die zur Verfügung stehenden Ressourcen mobil zu gestalten. Während konventionelle Bearbeitungszentren oder Montagearbeitsplätze in der Regel bereits als mobil angesehen werden können, herrscht in diesem Punkt im Bereich der Sondermaschinen großer Nachholbedarf.

Bisher werden diese Anlagen beim Zulieferer aufgebaut, in Betrieb genommen, teilweise wieder zerlegt, verlagert und beim Kunden wieder aufgebaut. Eine Verlagerung der Anlage beim Kunden ist in der Regel nicht vorgesehen oder nur mit hohem Aufwand möglich. Um die Möglichkeit zu schaffen, diese Anlagen bei notwendigen Veränderungen der Produktionsstruktur neu anzurichten, ist bereits bei der konstruktiven Gestaltung der Anlagen die Ortsflexibilität der gesamten Anlage sicherzustellen.

Ein Problem bei der Adaption an veränderliche Produktionsbedingungen sind die bestehenden Gebäudestrukturen. Die Fabrik ist in der Regel über die Jahre gewachsen, wobei sich die Erweiterungen vornehmlich auf die zusätzlich benötigte Fläche fokussierten. Bisher ist eine flexiblere Nutzung der Produktionsflächen durch statische Rahmenbedingungen wie z.B. max. Traglast der Fundamente oder der Transportkräne, ungenügende Versorgungseinrichtungen oder eingeschränkte Verbindungsmöglichkeiten der Produktionshallen begrenzt. Gerade im Hinblick auf mobile Produktionsanlagen ergeben sich hier neue Anforderungen an das Fabrikgebäude und die Gebäudeinfrastruktur. Im Fokus steht also die Schaffung von Freiräumen, um die Mobilität des Produktionssystems nutzen zu können.

1 Mobilität der Produktion – eine neue Dimension der Wandlungsfähigkeit

Bisherige Treiber für Restrukturierungen sind vorwiegend Neuplanungen, der Anbau zusätzlicher Fabrikhallen oder Erneuerungen des Maschinenparks. Setzt man die Mobilität des Produktionssystems voraus, so ist die ständige Anpassung der Produktionsstruktur an veränderte Rahmenbedingungen, wie z.B. die Einführung neuer Produkte oder Prozesse, Veränderungen im Abrufverhalten oder das Erreichen bestimmter Phasen im Produktlebenszyklus, möglich.

Die Fabrik- bzw. Layoutplanung wird somit zu einer permanenten Betriebsaufgabe. Die Notwendigkeit zur Strukturveränderung muss fortwährend beurteilt werden. Daraus ergibt sich eine enge Verknüpfung zwischen Fabrikplanung und Fabriksteuerung. Der Aufgabenbereich der Fertigungsplanung muss daher um die Überwachung der Produktionsstruktur erweitert werden.

Auf Basis der Mobilität von Produktionssystemen lassen sich temporäre Fabrikkonzepte aufzeigen, die durch die Möglichkeit der Verlagerung das strategische Handlungsfeld der Unternehmung hinsichtlich veränderlicher Marktbedingungen erweitern. Dies soll im Folgenden am Beispiel eines Automobilherstellers verdeutlicht werden.

Die Verlagerung von Produkten bzw. deren Produktionseinrichtungen während des Produktlebenszyklus schafft die Möglichkeit, in einem so genannten Anlaufwerk die für den Produktionsbeginn erforderliche Engineering-Kompetenz zu nutzen. Nach dieser Phase ermöglichen mobile Produktionseinrichtungen die Verlagerung in ein Produktionswerk. Dieser Standort zeichnet sich durch eine optimale Kosten- und Marktstruktur für das Produkt aus. Ziel ist die Minimierung des Zeitfensters für die Verlagerung und des damit verbundenen Produktionsausfalls auch während der Hochphase des Produktlebenszyklus sowie die quantitative und qualitative Bewertung eines solchen Szenarios.

1.2 Projektstruktur und Vorgehensweise

Die Entwicklungsaufgabe des Projektes „ProMotion“ ist die Realisierung mobiler Produktionssysteme. Diese ganzheitliche Aufgabenstellung erfordert die interdisziplinäre Einbindung von Forschungs- und Industriepartnern (Abbildung 1-3):

- Der schnelle Auf- und Abbau von Funktionalität und Kapazität durch mobile Produktionsanlagen wurde durch die Firma Strama-MPS Maschinenbau GmbH & Co. KG (Sondermaschinen- und Anlagenbau) realisiert.

- Unter der Führung des Lehrstuhls Entwerfen und Baukonstruktion der Universität der Künste Berlin (UdK) wurden Ansätze zur Modernisierung bestehender Bausubstanz untersucht und weiterentwickelt, um die Potentiale mobiler Produktionssysteme voll auszuschöpfen.
- Im Rahmen der Kooperation zwischen dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der TU München und der Fauser AG (PPS-Softwaresysteme) wurde ein Werkzeug zur Planung und Steuerung von Rekonfigurationsprozessen umgesetzt.
- Am Beispiel der BMW Group wurden mobilitätsbasierte Produktionskonzepte zur Erweiterung der strategischen Handlungsfelder entwickelt und bewertet.
- Die Erfassung der baulichen Rahmenbedingungen zur Verlagerung von Fabrikbereichen bzw. ganzer Fabriken wurde von der Firma Arup GmbH (Ingenieur-Dienstleistung) durchgeführt.
- In Kooperation mit der Firma Scholpp GmbH & Co. KG (Montage- und Transportdienstleistung) wurden innovative Transport- und Logistiklösungen als Voraussetzung für die schnelle Standortverlagerung erarbeitet.

	Strama MPS	UdK	iwb	BMW	Fauser	Arup	Scholpp
Mobile Anlagen	●	●					
Rekonfigurierbare Fabrikgebäude	●	●	●	●	●	●	●
Planung von Rekonfigurationsprozessen			●	●	●	●	
Entwicklung mobilitäts- basierten Produktionskonzepte	●	●	●		●	●	●
Mobile Gebäudekonzepte	●				●	●	●
Transport- und Logistiklösungen für mobile Produktionssysteme	●	●	●	●	●	●	●

Abbildung 1-3: Zusammensetzung des Verbundprojektes ProMotion

In den folgenden Beiträgen werden detailliert die Lösungsansätze sowie die erreichten Ergebnisse innerhalb der einzelnen Teilprojekte dargestellt. Kapitel 2

1 Mobilität der Produktion – eine neue Dimension der Wandlungsfähigkeit

und 3 befassen sich dabei mit den Voraussetzungen für mobile Produktionssysteme, die durch die Mobilisierung der Produktionseinrichtung sowie die Flexibilisierung der Fabrikgebäude erreicht wird. Die folgenden Beiträge beschäftigen sich mit den Anwendungsmöglichkeiten mobiler Produktionssysteme. In Kapitel 4 liegt der Fokus auf der innerbetrieblichen Anpassung der Produktionsstrukturen an äußere Gegebenheiten. In Kapitel 5 werden zwei mobilitätsbasierte Produktionskonzepte zur standortübergreifenden Nutzung mobiler Produktionsressourcen vorgestellt.

Die vorgestellten Ergebnisse liefern einen Beitrag zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit in produzierenden Unternehmen, um der Dynamik im Produktionsumfeld erfolgreich zu begegnen. Die Mobilität von Produktionssystemen bietet dabei einen zusätzlichen Freiheitsgrad, um Strukturanpassungen – sowohl innerbetrieblich als auch standortübergreifend – in Abhängigkeit veränderter Rahmenbedingungen durchzuführen. Auf diese Weise lassen sich die Risiken turbulenter Märkte moderieren.

