

# Modellierung von Produktionsstrukturadaptionen

Bernd Leppla und  
Johannes Pohl, München

Die Verkürzung der Lebenszyklen von Produkten, Betriebsmitteln und Wissen zwingt Unternehmen ihre Produktionsstruktur kontinuierlich zu adaptieren, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und auszubauen. Für eine nachhaltige Produktionsstrukturadaption müssen im Planungsprozess neben der eigentlichen Adaption Abhängigkeiten und langfristig relevante, finanzielle Faktoren berücksichtigt werden. Zur strukturierten Planung sind diese Faktoren in die Modellierung von Adaptionen zu integrieren.

## Einleitung und Motivation

Produzierende Unternehmen befinden sich mit anderen Unternehmen in globalem Wettbewerb [1]. Dieses Wettbewerbsumfeld ist durch starke Absatzschwankungen, eine hohe Anzahl an Produktvarianten sowie eine steigende Zahl kundenindividueller Produkte gekennzeichnet [2]. Für das globale Unternehmensumfeld mit seinen hohen Innovationsraten [3] hat sich der Begriff des turbulenten Unternehmensumfelds etabliert [4]. Eine weitere Eigenschaft des turbulenten Umfelds ist insbesondere die Verkürzung von Produktlebenszyklen [4, 5]. Die Wirkung des Umfelds auf das Unternehmen und seine Produktionsstruktur erfolgt über interne und externe Einflussfaktoren, wie z.B. den Wandel der Kundenansprüche und neue Gesetze oder den Einsatz neuer Technologien und die Unternehmensstrategie [4, 6]. Erschwerend kommt das Auseinanderdriften der Lebenszyklen technischer Elemente wie Produktionsanlagen und Gebäude hinzu [4].

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Unternehmen ihre Produktionsstruktur kontinuierlich adaptieren [4, 6]. Die Produktionsstruktur stellt nachfolgend die Struktur eines Produktionssystems dar und umfasst die Betriebsmittel, das Personal, die Infrastruktur sowie die räumliche Anordnung dieser Elemente [5]. Eine Produktionsstrukturadaption wird innerhalb eines dafür definierten Zeitfensters durchgeführt und kann zum Beispiel den Bau einer Produktionshalle, die Anschaffung einer Maschine oder das

Anlernen von Mitarbeitern umfassen. Innerhalb einer Produktionsstruktur unterliegen die Betriebsmittel, die darin genutzten Technologien, die Infrastruktur sowie das Wissen des Personals eigenen Lebenszyklen. Des Weiteren können Lebenszyklen für die hergestellten Produkte beschrieben werden [7, 8].

Im Planungsprozess von Produktionsstrukturadaptionen werden diejenigen Entscheidungen vorbereitet und getroffen, die für die Erreichung einer für die sich verändernden Umfeldbedingungen optimalen Produktionsstruktur relevant sind. Mit der Realisierung von Adaptionen wird auch die spätere finanzielle Struktur der Produktionsstruktur festgelegt. Dies führt zu der Aufgabe die optimale, finanzielle Projektierung, also vorgesehene Anschaffungen zu möglichst geringen Kosten zum richtigen Zeitpunkt ausführen zu lassen [9]. Durch eine entsprechende Modellierung von Adaptionen können Interdependenzen zwischen Adaptionen und deren finanzielle Aspekte über deren Lebenszyklus hinweg abgebildet werden, wodurch die Vorbereitung und das Treffen von Entscheidungen im Planungsprozess vereinfacht werden.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Modellierung von Produktionsstrukturadaptionen. Um eine realitätsnahe Modellierung der Auswirkungen zukünftiger Produktionsstrukturadaptionen zu ermöglichen, erfolgt eine lebenszyklusorientierte Modellierung von Adaptionen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, die durch getroffene Annahmen entstehen.

## Relevante Informationen einer Produktionsstrukturadaption

Zur eindeutigen Beschreibung von Produktionsstrukturadaptionen sind folgende relevante Informationen einzubeziehen:

- einmalige und laufende Kosten einer Adaption,
- finanzrelevante Aspekte im Lebenszyklus von Produkten und Elementen der Produktionsstruktur,
- Interdependenzen zwischen Adaptionen,
- mögliche Zeitfenster für Adaptionen sowie
- Unsicherheiten auf Grund von Annahmen.

Die einzelnen Lebenszyklen der Elemente einer Produktionsstruktur sind bei Produktionsstrukturadaptionen zu berücksichtigen. Da in Fabriken Produkte hergestellt werden, deren Lebenszyklen maßgeblich die Lebenszyklen der Elemente einer Produktionsstruktur beeinflussen [8], sind diese bei der ganzheitlichen Planung von Adaptionen von besonderer Relevanz [10]. Sie können durch die zeitliche Veränderung der Absatzmenge, des Umsatzes, des Gewinns oder Verlusts beschrieben werden [1], wodurch Umsätze und Kosten während und im Anschluss an eine Adaption abgebildet werden können.

Da Produktionsstrukturen intern wie auch extern einen hohen Vernetzungsgrad aufweisen [11], müssen sie bei der Planung von Adaptionen Wechselwirkungen zwischen der Umwelt, der Produktionsstruktur sowie der einzelnen

Produktionsstrukturelemente Berücksichtigung finden [12, 13]. Dies bedeutet beispielsweise, Interdependenzen zwischen Mitarbeitern, Betriebsmitteln und der Infrastruktur aufzuzeigen und in der Planung zu berücksichtigen [9, 12].

Aus Sicht der Unternehmen sind für Produktionsstrukturadaptionen zunächst geeignete Zeitfenster zur Umsetzung zu identifizieren. Der Produktionsstrukturkalender bietet hierfür eine Möglichkeit [14]. Mit ihm lässt sich die Eignung einer Produktionsstruktur durch Betrachtung notwendiger Adaptionen sowie betroffener Produkt- und Betriebsmittelzyklen ermitteln. Anschließend wird das Zeitfenster für die Implementierung einer Adaption bestimmt.

Durch Investitionen in eine neue Produktionsstruktur entstehen Kapitalkosten für die Finanzierung und durch die Produktherstellung fallen Material- und Personalkosten an [1]. Gleichzeitig bedeutet der Unterhalt der Produktionsstruktur laufende Kosten in Form von zum Beispiel Wartung, Instandhaltung oder Mitarbeiterschulungen. Diese Kosten sind ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit und den Fortbestand eines produzierenden Unternehmens [1] und daher für die Modellierung relevant.

Bei der Modellierung von Produktionsstrukturadaptionen sind für die damit verbundenen Umsätze, die im Anschluss an eine Adaption erzielt werden können, und Kosten lebenszyklusorientierte und somit langfristige Annahmen zu treffen. Dies gilt ebenso für die relevanten Zinssätze bei der Kapitalaufnahme oder der Guthabenverzinsung. Für zukünftige Betrachtungen können jedoch keine Annahmen unter vollständiger Sicherheit gemacht werden. So können zwar Marktforschungen und Schätzungen angestellt werden, diese unterliegen jedoch einer Unsicherheit. Mit zunehmender Planungsreichweite zeichnen sich die Planwerte durch eine zunehmende Ungenauigkeit aus, weshalb diese Werte in der zeitlichen Planung mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zu belegen sind [15].

Zusammenfassend sind die für eine Produktionsstrukturadaption relevanten Informationen, wie z. B. die einzelnen Adaptionmaßnahmen, die mit ihnen verbundenen zeitlichen Umfänge, die Zeitfenster zur möglichen Implementierung, Abhängigkeiten zwischen den Produktionsstrukturelementen, langfristig aufkommende Absatzmengen, Preise, Kos-

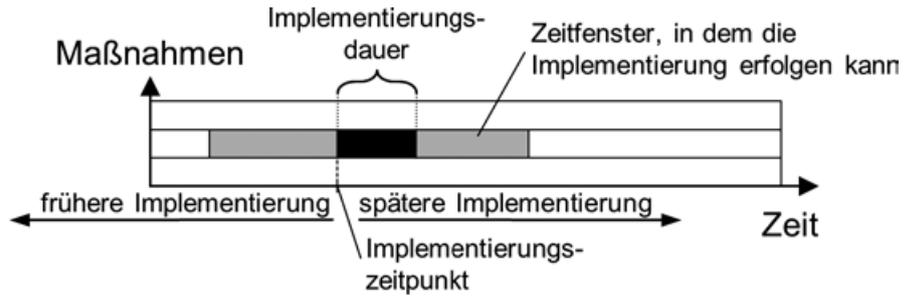


Bild 1. Die Produktionsstrukturadaption in einem Zeitfenster

ten, Zinssätze und ihre jeweiligen Unsicherheiten, für die gesamte Planungs- und Nutzungsdauer von Bedeutung. Die strukturierte Beschreibung einer Produktionsstrukturadaption mit allen relevanten Informationen wird durch eine entsprechende Modellierung gewährleistet.

### Modellierung von Produktionsstrukturadaption

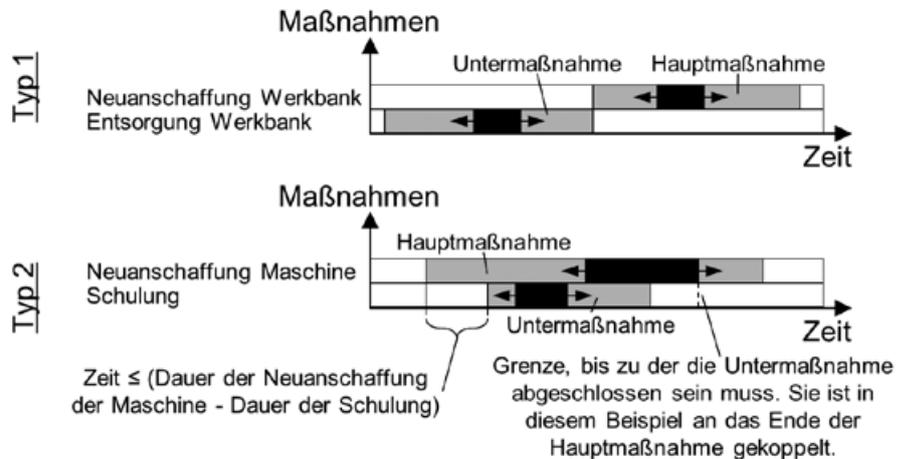
Eine einzelne Produktionsstrukturadaption und das dazugehörige Zeitfenster zur Implementierung können in Form eines Gantt-Diagramms dargestellt werden (Bild 1).

Eine Produktionsstrukturadaption kann sich aus mehreren einzelnen Adaptionmaßnahmen zusammensetzen. Hierbei besteht die Möglichkeit, dass Interdependenzen der einzelnen Maßnahmen der Produktionsstrukturadaption auftreten. Der zeitliche Ablauf mehrerer Maßnahmen kann sequenziell (Typ 1) oder parallel (Typ 2) erfolgen (Bild 2):

- Typ 1: Mit der Implementierung einer Maßnahme kann erst nach der Implementierung einer anderen Maßnahme begonnen werden (sequenzieller Ablauf). Beispielsweise kann eine Maschine erst nach Fertigstellung einer Bodenplatte aufgestellt werden.
- Typ 2: Eine Maßnahme muss spätestens zum Abschluss einer anderen Maßnahme abgeschlossen sein (paralleler oder sequenzieller Ablauf). Zum Beispiel muss vor dem Produktionsanlauf mit einer neuen Maschine eine Mitarbeiterschulung durchgeführt worden sein.

Die Maßnahmen, nach denen sich andere Maßnahmen richten, werden als Hauptmaßnahmen bezeichnet. Nachfolgend sei definiert, dass Hauptmaßnahmen zuletzt ausgeführt werden. Maßnahmen, die bis zur Implementierung einer Hauptmaßnahme abgeschlossen sein müssen, werden als Untermaßnahmen bezeichnet.

Bei Produktionsstrukturadaptionen können Adaptionmaßnahmen existieren, die ohne Zeitfenster (untergeordnete Maßnahmen) geplant werden, da sie di-



Begriffe	Erklärung
Hauptmaßnahme	Maßnahme bis zu deren Beginn oder Ende andere Maßnahmen abgeschlossen sein müssen.
Untermaßnahme	Maßnahme, die einer Hauptmaßnahme zugeordnet ist und deren Bedingungen sie erfüllen muss.

Bild 2. Interdependenzen zwischen Adaptionmaßnahmen

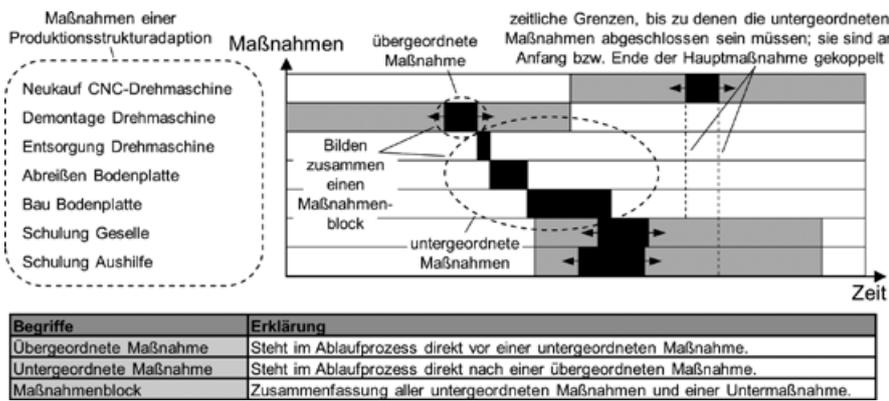


Bild 3. Beispiel für Interdependenzen zwischen Adaptionsmaßnahmen

rekt an andere Maßnahmen (übergeordnete Maßnahmen) gekoppelt sind. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die untergeordneten Maßnahmen, direkt vor oder nach übergeordneten Maßnahmen umgesetzt werden. Bei mehreren Untermaßnahmen ist durch den Planer eine sinnvolle, logische Reihenfolge von untergeordneten und übergeordneten Maßnahmen zu definieren. Dies ist anhand eines Beispiels in Bild 3 ersichtlich. Hierbei ist der Neukauf der CNC-Drehmaschine eine Hauptmaßnahme, die Demontage einer Drehmaschine, die Schulung des Gesellen und der Aushilfe sind Untermaßnahmen. Gleichzeitig stellt die Demontage einer Drehmaschine eine übergeordnete Maßnahme dar. Die Entsorgung der Drehmaschine, der Abriss der Bodenplatte und der Bau einer neuen Bodenplatte sind untergeordneten Maßnahmen, die der Untermaßnahme „Demontage Drehmaschine“ zugeordnet werden. Die letzte untergeordnete Maßnahme muss bis zum Beginn der Hauptmaßnahme und die Schulungen bis zum Abschluss der Hauptmaßnahme implementiert werden. Die Hauptmaßnahme einer Produktionsstrukturadaption lässt sich demzufolge immer daran erkennen, dass sie zeitliche Grenzen vorgibt, nach denen sich andere Adaptionsmaßnahmen richten müssen.

Die grafische Darstellung ist transparent, jedoch ist für eine informationstechnische Verwendung zur Adaptionsplanung das Beschreibungsmodell entsprechend zu gestalten. Für ein lebenszyklusorientiertes Beschreibungsmodell sind Zukunftswerte beispielsweise für Absatzmengen und -preise, Kosten sowie Zinsentwicklungen, die mit einzelnen Adaptionsmaßnahmen zusammenhängen, festzulegen, da sich diese im Laufe der Lebenszyklen der Bestandteile im

Anschluss an eine Adaption ändern können. Bei der Planung von Adaptionen spielen neben den reinen Kosten die Ka-

pitalkosten eine wichtige Rolle [1]. Wird zum Beispiel eine Adaption beschrieben, die aus der Beschaffung einer neuen Maschine und dem Anlernen eines Mitarbeiters zur Produktion eines neuen Produkts besteht, sind Kosten für die Maschinenbeschaffung und -wartung, das Anlernen sowie die Absatzmengen-, -preisentwicklung und Kostenentwicklung des Produkts zu modellieren. Zur Berechnung der Kapitalkosten, die durch eine Adaptionsmaßnahme entstehen, sind Angaben zur Tilgungsdauer, Höhe eines Kredits und der Sollzinssatz notwendig. Gleichzeitig wächst das Guthaben auf dem Unternehmenskonto in Abhängigkeit des zeitlich variablen Habenzinssatzes. Entsprechende Planwerte können vom Modellierer gemäß theoretischen

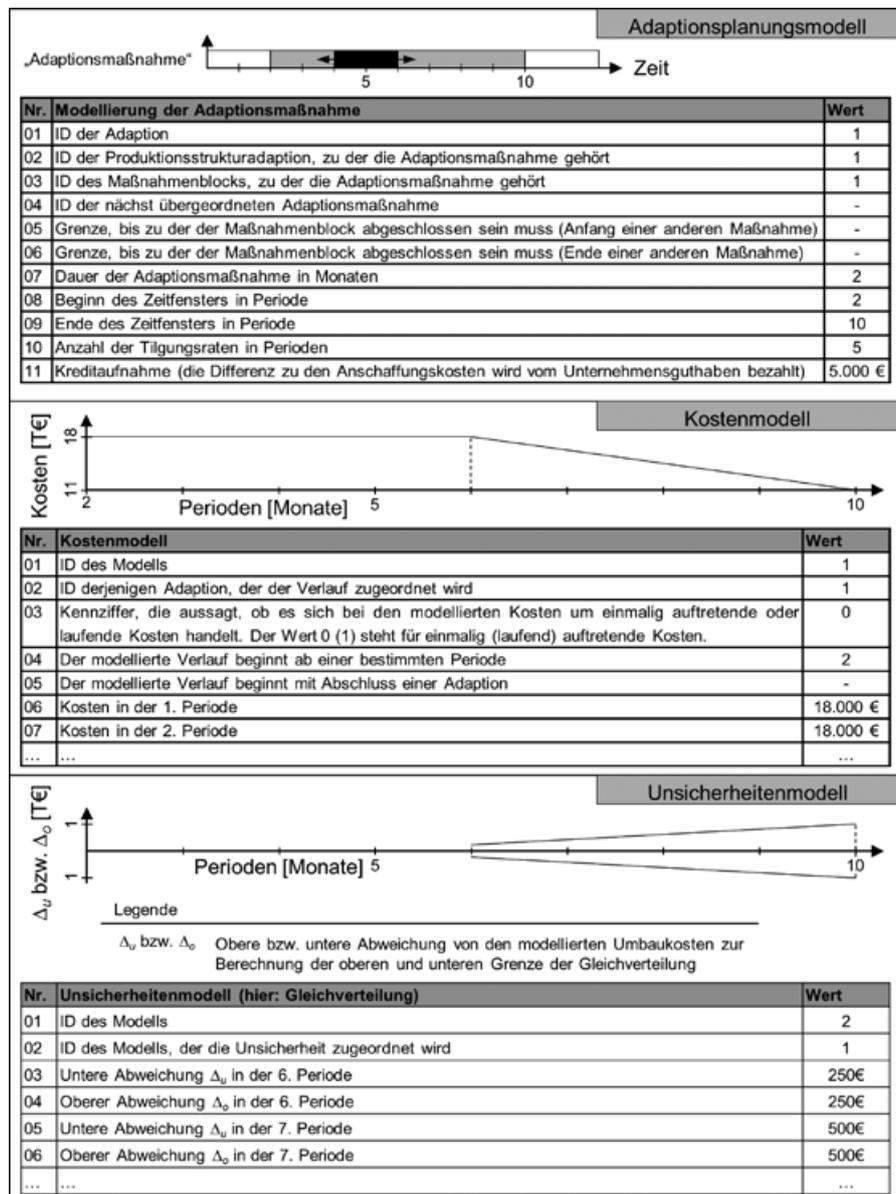


Bild 4. Beispiel einer Adaptionsmaßnahme mit Kosten- und Unsicherheitenmodell

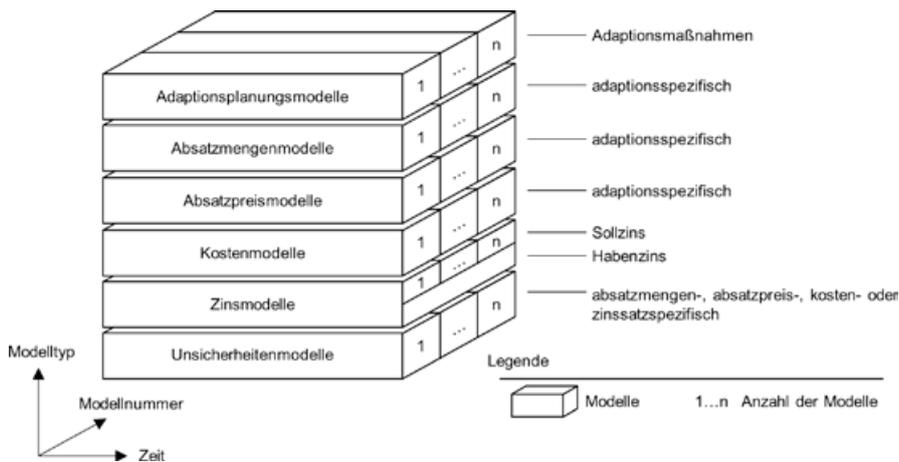


Bild 5. Beschreibungsmodelle für Produktionsstrukturadaption

schon Modellen über die Entwicklung solcher Werte in Abhängigkeit der gewünschten Detailtiefe der Planung zum Beispiel jahres-, monats- oder wochenweise angegeben werden.

Zu den Beschreibungsmerkmalen einer einzelnen Adaptionenmaßnahme zählen eine eindeutige ID, sowie die Angabe des Zeitfensters, innerhalb dessen eine Implementierung erfolgen kann. Gleichzeitig ist die Dauer der Implementierung von Interesse, sodass zeitliche Grenzen bestimmt werden können, bis zu denen Untermaßnahmen abgeschlossen sein müssen.

Ähnlich kann mit zeitlichen Verläufen von laufenden Kosten für Unterhalt oder Herstellung, für Absatzmengen und Produktpreise, für Zinssätze für den Kontostand des Unternehmens zur Guthabenverzinsung und für die Angabe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die den anderen Werten zugeordnet werden verfahren werden. Das Ergebnis sind Beschreibungsmodelle zur lebenszyklusorientierten Abbildung von zukünftigen Produktionsstrukturadaptionen sowie den damit verbundenen relevanten Beschreibungsmerkmalen wie Absatzmengen und -preisen, Kosten, Zinssätzen und Unsicherheiten. Als Beispiel für eine Adaptionenmaßnahme und die mit ihr verbundenen einmaligen Kosten und Unsicherheiten sind in Bild 4 dargestellt. In diesem Beispiel können die einmaligen Kosten für die Maßnahme bis Ende der 5. Periode sicher vorausgesagt werden, danach wird von sinkenden Kosten bei gleichzeitig steigender Unsicherheit ausgegangen. Zur Modellierung der Unsicherheit wird eine Gleichverteilung herangezogen.

Bei komplexen Adaptionen sind die Modelle für eine Produktionsstrukturadaption ähnlich dem beschriebenen Bei-

spiel gemäß dem in Bild 5 gezeigten Schichtsystem übereinanderzulegen und logisch miteinander zu verknüpfen.

### Zusammenfassung

Sich ändernde Rahmenbedingungen im Unternehmensumfeld erfordern zum Erhalt und Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen eine fortlaufende Adaption der Produktionsstruktur. Hierbei sind Zeitfenster zur Umsetzung, Interdependenzen sowie Lebenszyklen der einzelnen Produktionsstrukturelemente im Planungsprozess zu berücksichtigen. Um eine ganzheitliche monetäre Bewertung sicherzustellen, muss die Modellierung von Produktionsstrukturadaptionen neben diesen Aspekten auch auftretende Umsätze und Kosten sowie deren zeitlichen Verlauf über die Lebenszyklen der einzelnen Produktionsstrukturelemente integrieren. Der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz erfasst diese Aspekte in einzelnen Modellen und verknüpft diese hinsichtlich zeitlicher Abhängigkeiten. Dies erhöht die Transparenz und stellt eine ganzheitliche Bewertung anfallender Produktionsstrukturadaptionen sicher.

### Literatur

1. Thommen, J.-P.; Achleitner, A.-K.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Gabler Verlag, Wiesbaden 2012
2. Westkämper, E.; Zahn, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2009
3. Wind, Y.; Main, J.: Driving Change. Free Press, New York 1998
4. Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Carl Hanser Verlag, München, Wien 2009
5. Reinhart, G.; Schindler, S.; Pohl, J.: Zyklusorientierte Produktionstechnologieplanung. ZWF 104 (2009) 1-2, S. 50-53

6. Grundig, C.-G.: Fabrikplanung. Carl Hanser Verlag, München, Wien 2009
7. Höft, U.: Lebenszykluskonzepte. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1992
8. Herrmann, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2010
9. Aggteleky, B.: Fabrikplanung - Band 2. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1990
10. Schenk, M.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2004
11. Hummel, V.; Rönnecke, T.; Westkämper, E.: Ganzheitliche Produktionssysteme. In: Westkämper, E.; Zahn, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2009, S. 25-46
12. Nyhuis, P.; Hirsch, B.; Klemke, T.; Wulf, S.; Denkena, B.: Synchronisation der Planungsprozesse in Fabriken. ZWF 105 (2010) 4, S. 369-374
13. Wulf, S.: Bewertung des Einflusses von Produkt- und Technologieveränderungen auf die Fabrik. Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2011
14. Reinhart, G.; J. Pohl: Production Structure Calendar - A Strategic Planning Tool. In: Proceedings of the 44<sup>th</sup> CIRP Conference on Manufacturing System, Madison 2011
15. Krebs, P.: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten. Herbert Utz Verlag, München 2012

### Die Autoren dieses Beitrags

Dipl.-Ing. Bernd E. Leppla, geb. 1986, studierte Maschinenwesen mit den Vertiefungen Produktionssysteme und Umweltverträgliche Energiesysteme an der Technischen Universität München. Seit 2013 ist Herr Leppla als Portfolio Manager bei der Industrieholding mutares AG in München tätig. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Bereiche Unternehmensrestrukturierung und Merger & Acquisition.

Dr.-Ing. Johannes Pohl, geb. 1981, studierte Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau an der Technischen Universität Wien und der Chalmers Tekniska Högskola in Göteborg, Schweden. Von 2006 bis 2008 war er bei der Accenture GmbH als Berater tätig. Von 2008 bis 2013 arbeitete er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der TU München in der Themengruppe Produktionsmanagement und Logistik. Sein Forschungsschwerpunkt lag auf dem Gebiet des Zyklusmanagements im Rahmen von Produktionsstrukturadaptionen. Seit 2013 arbeitet Herr Pohl bei der ROI Management Consulting AG.

Den Beitrag als PDF finden sie unter:  
[www.zwf-online.de](http://www.zwf-online.de)  
 Dokumentennummer: ZW 111107