

Design for Ramp-up komplexer Produkte am Beispiel der Flugzeugindustrie

Steffen Elstner und Dieter Krause
*Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Technische Universität Hamburg-Harburg*

The production ramp-up represents more and more a critical point in the product life cycle. The ability to launch a product into the market under cost-, time- and quality-pressure, is an important success factor for companies. The aim is to develop a methodology for the early identification and minimization of ramp-up risks with the help of response strategies in the product development. This paper highlights the need for early consideration of the production ramp-up phase in the development of complex products and presents a general approach for the risk assessment of the ramp-up factors.

1 Einleitung

Der Übergang zwischen Entwicklung und Produktion von komplexen Produkten stellt einen kritischen Punkt im Produktlebenszyklus dar. Die Fähigkeit, trotz hoher Komplexität innovative Produkte termin-, qualitäts- und kostengerecht in den Markt einzuführen, ist ein immer wichtiger werdender Erfolgsfaktor für Unternehmen [1]. Eine Zielabweichung kann für das Unternehmen zu erheblichen wirtschaftlichen Konsequenzen führen. Im Vergleich zur Automobilindustrie unterscheiden sich die Produkte der Flugzeugindustrie durch eine wesentlich höhere Komplexität und einen Produktlebenszyklus von weit mehr als 20 Jahren. Der Einsatz neuer Technologien und die Umsetzung innovativer Konzepte birgt die Gefahr, dass es im Entwicklungs- und Fertigungsprozess zu unvorhergesehenen Problemen kommen kann. Um in Zukunft neue wettbewerbsfähige Produkte zur Marktreife zu bringen, ist es unabdingbar, gerade

bei sehr langen Entwicklungszeiten, hoher Komplexität und anfänglich großer Unsicherheit, bereits in der Entwicklungsphase mögliche Anlauftrisiken zu identifizieren und zu bewältigen. Der vorliegende Beitrag ordnet sich in den Schnittstellenbereich zwischen Entwicklung und Fertigung ein und beschreibt eine methodische Betrachtung zur Verbesserung der Übertragung der Entwicklungsergebnisse in die Produktion.

2 Stand der Technik und Analyse des Forschungsbedarfs

Die wachsende Bedeutung des Forschungsfeldes „Serienanlauf“ als kritische Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsprozess kann durch die sinkende Entwicklungs- und Fertigungstiefe, die Verkürzung der Produktlebenszyklen und Produktentwicklungszeiten sowie die zunehmende Produktvielfalt und Produktkomplexität begründet werden [2]. Ein Großteil der in der Literatur zu findenden Ansätze konzentriert sich auf branchenspezifische Probleme der Automobilindustrie und der Halbleiterindustrie [2–6]. Eine allgemeingültige Definition der Phase des Serienanlaufs geben *Wangenheim* und *Terwiesch*. Der Serienanlauf bezeichnet den Zeitraum zwischen der Produktentwicklung und der Serienproduktion. Der Transfer von Entwicklung zur Produktion erfolgt dabei stufenweise. Änderungen und Störungen im Produkt und im Prozess werden in der Regel innerhalb der Vor- und Nullserie mit Hilfe von zahlreichen Prototypen behoben [3]. Das Ende dieser Phasen stellt das Erreichen der zuvor definierten Ausbringungsmenge und Produktqualität dar und geht anschließend in die Serienproduktion über [6].

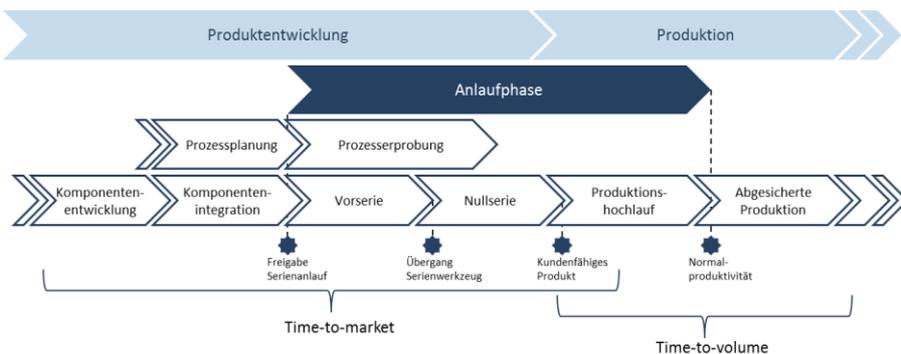


Bild 1: Übersicht der Serienanlaufphasen nach [3]

Gerade für komplexe Serienprodukte stellt die Übergangsphase besondere Anforderungen an die Gestaltung der Schnittstelle dar. Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Systemen, Komponenten und Bauteilen, in denen zusätzlich unterschiedliche Technologien zum Einsatz kommen können, ist ein

umfangreiches Know-How erforderlich. Eine sinkende Entwicklungstiefe erfordert eine zusätzliche Abstimmung mit externen Organisationseinheiten und generiert eine organisatorische Komplexität [3]. Zeitverzögerungen in der Entwicklung und Einführung von High-Tech-Produkten führt zu stark negativen Auswirkungen auf die Bruttogewinne [4]. Weiterhin beeinflussen der Neuheits- bzw. Innovationsgrad des Produktes und deren Qualität (Reifegrad) eine erfolgreiche Überführung in die Serienproduktion. Empirische Studien belegen die zuvor identifizierten Einflussfaktoren. Nach den Untersuchungsergebnissen von *Coughlan* steigt beispielsweise die Wahrscheinlichkeit einer Verzögerung des Serienanlaufs mit dem Innovationsgrad der Produkt- und Prozesstechnologie. Insbesondere der Einsatz neuer Materialien verursacht Probleme, die laut *Coughlan* nicht durch geringe Testumfänge in der Entwicklung kompensiert werden können [7]. *Tyre* bestätigt in seiner Studie eine stark signifikante Korrelation der Dauer des Serienanlaufs mit der Komplexität der neuen Technologien, dem Ausmaß an Systemumstellung und dem Projektumfang [9]. *De Meyer* kam unter anderem zu dem Ergebnis, dass erfolgreiche Produkteinführungen durch einen hohen Anteil an selbst entwickelten Komponenten gekennzeichnet sind [8]. Innerhalb der qualitativen Untersuchungen von *Kuhn et al.* wird darauf aufmerksam gemacht, dass sich die Erreichung der Zielparameter (Zeit, Kosten und Qualität) durch eine Vernetzung über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg ergeben. Dies beinhaltet unter anderem den Grad an neuen Produkten im Unternehmen, die Einbindung der Lieferanten in den Entwicklungsprozess und die Flexibilität von Fertigungsprozessen [10]. *Almgren* stellte in seiner Studie fest, dass die Anzahl und die Frequenz von Störungen innerhalb des Serienanlaufs dazu führen, dass die Organisation stark überlastet wird und es zu einem Verlust an Produktionskapazität kommt. Als Ursachen für die Störungen identifizierte *Almgren* unter anderem die Anzahl konstruktiver Änderungen am Produkt [5]. In einer Studie von *Terwiesch et al.* wurden drei wesentliche Bestandteile zur Verkürzung der Serienanlaufphase identifiziert. Erstens unterstützt eine schrittweise Überführung von Pilotserie zu Serienproduktion eine deutlichere Leistungssteigerung. Zweitens begünstigen klare Verantwortlichkeiten und eine Cross-funktionale Organisation einen besseren Übergang zwischen Entwicklung und Produktion. Weiterhin führt die Einführung von Produktplattformen zu einer effektiveren Nutzung von zuvor gesammelten Serienanlaufferfahrungen bei neuen Produkten [6]. Im Vergleich zu anderen Branchen ergeben sich für die Flugzeugindustrie einige Besonderheiten während der Einführung neuer Produkte. Der Produktentstehungsprozess in der Flugzeugindustrie ist gekennzeichnet durch das Fehlen einer Vor- und Nullserie im engeren Sinne. Dies ist zurückzuführen auf die sehr hohen Entwicklungs- und Stückkosten der Produkte. Zur Absicherung der Produktqualität stehen im Rahmen der Entwicklung zahlreiche Tests und Simulationen im Vordergrund [11]. Diese

allein sind nicht ausreichend, um mögliche Zielabweichungen im Entwicklungsprojekt zu vermeiden. Ein Großteil der Störungen und Probleme tritt erst im Zusammenspiel von Produkt und Produktionssystem auf. Aufgrund der dramatischen Auswirkungen einer Zeitabweichung auf die Kosten des Entwicklungsprojekts (Investitions- und Kapitalbindungskosten) sollte eine effektive Abwendung von potentiellen Zielabweichungen (Risiken) bereits in der Entwicklung erfolgen können. Aktuelle Produkte in der Flugzeugindustrie belegen die gravierenden Auswirkungen von Verzögerungen. Sowohl Boeing als auch Airbus haben Probleme, neue Produkte in die Serienproduktion zu überführen. Dies hat zur Folge, dass es zu Abschreibungen in Milliardenhöhe kommt und die Gewinnschwelle des Produktprogramms sich weiter verschiebt [12]. Hauptursachen sind, neben der hohen Komplexität, der Einsatz neuer Materialien und Technologien, die hohe Kundenvielfalt und die geringe Entwicklungs- und Fertigungstiefe [13]. Das Outsourcing von Entwicklungspaketen in ähnlichem Umfang wie in der Automobilindustrie wurde bereits 2001 von *Hart-Smith* kritisiert [14]. Die aktuelle Entwicklung im Serienanlauf der Boeing 787 zeigt, dass diese Strategie zu einem extremen Anstieg der Entwicklungskosten und zu Verzögerungen von mehreren Jahren führt [13]. Die sich aus den Untersuchungen, aus Sicht der Produktentwicklung, ergebenden Faktoren zur Beeinflussung eines effizienten Serienanlaufs sind zusammenfassend in folgender Abbildung dargestellt.

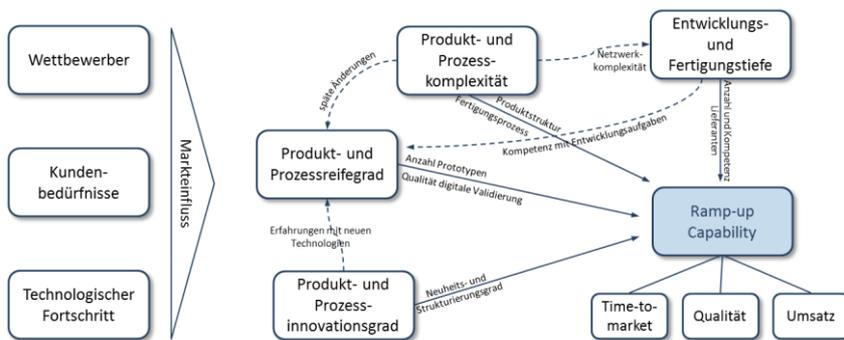


Bild 2: Einflussfaktoren auf die Serienanlauffähigkeit eines Produkts

Aufgrund des mit zunehmender Projektdauer abnehmenden Handlungsspielraums muss eine rechtzeitige Bewertung und Analyse der Faktoren möglich sein. Nur so können Risiken rechtzeitig identifiziert und Entscheidungsprozesse unterstützt werden. Der Faktor Komplexität kann durch seine Varietät (Art/Anzahl der Elemente), Konnektivität (Art/Anzahl der Beziehungen) und Dynamik (Art/Anzahl möglicher Zustände) beschrieben werden [15, 16].

Je komplexer Produkt und Fertigungsprozess sind, desto größer ist der Einfluss auf die Entwicklungsdauer und –kosten. Der Innovationsgrad wird durch die Entwicklung neuer Produkte und Produktionsprozesse beschrieben [3]. Dies beinhaltet unter anderem auch den Einsatz neuer Technologien und neuer Materialien, die wiederum unter Umständen neue Fertigungsverfahren voraussetzen. Je größer der Neuheitsgrad der Technologie für das Unternehmen ist, desto schwieriger ist ein effizienter Übergang in die Serienproduktion. Der Serienreifegrad ermöglicht eine Aussage über die technische Reife des Produkts und somit eine Darstellung der funktionalen Anforderungen zu jedem beliebigen Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess [4]. Für die Abschätzung und Beherrschung der Faktoren, die auf die Serienanlauffähigkeit Einfluss haben, wird im folgenden Abschnitt die Entwicklung eines methodischen Ansatzes präsentiert. Aufgrund der langen Entwicklungszeit komplexer Produkte und einer möglichen Zielverlagerung im Laufe der Entwicklung soll die Methode eine Bewertung von Serienanlauftrisiken bereits während des Produktentstehungsprozesses ermöglichen.

3 Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Serienanlauffähigkeit aus Sicht der Produktentwicklung

Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist die Entwicklung einer Methodik, die in der Lage ist, die in Abschnitt 2 beschriebenen Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf den Serienanlauf zu beschreiben und zu bewerten. Aussagen über die Serienanlauffähigkeit des zu entwickelnden Produkts sollen helfen, bereits innerhalb der Entwicklung eine gezielte Risikokommunikation zu ermöglichen und als Grundlage für effiziente Entscheidungsprozesse zu dienen. Die allgemeine Vorgehensweise ist in Bild 3 dargestellt.

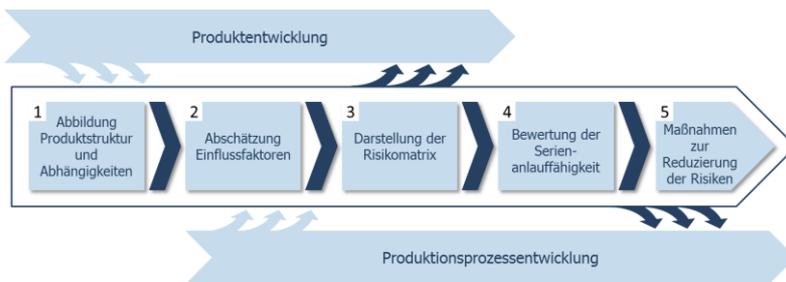


Bild 3: Allgemeine Vorgehensweise des Ansatzes

3.1 Abbildung der Produktstruktur und deren Abhängigkeiten

Die innerhalb der Konzeptphase entwickelten Komponenten des Produktes können bereits in einem sehr frühen Stadium der Entwicklung abgebildet werden. Konkrete Aussagen über die Leistungsfähigkeit des Produkts können allerdings nur bedingt getroffen werden. Im ersten Schritt soll zunächst die vorhandene Produktstruktur, die auf Basis von Strukturierungsmethoden wie der Modularisierung oder Plattformstrategien entwickelt wurde, abgebildet werden. Dabei wird auf am Institut entwickelten Darstellungsmethoden für die Modularisierung von Produktfamilien zurückgegriffen [17]. Die einzelnen Komponenten der Produktfamilie werden innerhalb des *Module Interface Graph (MIG)* dargestellt [18]. In Bild 4 zeigt exemplarisch die Struktur eines Teils des Kabinenlinings eines Flugzeugs, welcher allerdings nur einen kleinen Ausschnitt des Gesamtprodukts abbildet.

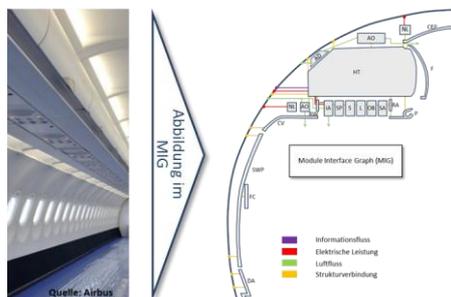


Bild 4: Abbildung der Produktstruktur und deren Abhängigkeiten

Mit Hilfe des MIG können zum einen die Komponenten in ihrer ungefähren Position und zum anderen auch ihre Schnittstellen abgebildet werden. Zusätzlich bietet der Graph eine effiziente Unterstützung bei der Abbildung der Beziehungen und der unterschiedlichen Flüsse, die in anderen Darstellungsmöglichkeiten, wie CAD- oder PDM-Daten nicht erfasst werden. Kommt es aufgrund von z.B. Gewichtsreduzierungsmaßnahmen zu Änderungen innerhalb der Struktur, können mögliche Abhängigkeiten und deren mögliche Auswirkungen nachvollzogen und dargestellt werden.

3.2 Abschätzung der Einflussfaktoren und deren Auswirkungen

Auf Basis der Produktstruktur werden im nächsten Schritt die einzelnen Bereiche hinsichtlich der Einflussfaktoren (vgl. Bild 2) abgeschätzt. Der Innovationsgrad lässt sich in Marktneuheits- und Technologie neuheitsgrad aufteilen [19]. Innerhalb des Neuheitsgrades für den Markt kann die Unterschei-

derung zwischen Weiterentwicklung, Neuentwicklung mit Technologien, die bereits bekannt sind, und Neuentwicklung mit neuen Technologien unterschieden werden. Innerhalb des Technologieneuheitsgrads kann die Unterscheidung zwischen Übernahmekomponenten mit gleichen Fertigungsverfahren, mit neuen Komponenten oder Materialien sowie mit neuen Komponenten mit neuen Materialien erfolgen (vgl. Bild 5). Hinsichtlich des Serienanlaufs wird die Neuentwicklung mit neuen Technologien als kritisch eingestuft. Es fehlen Erfahrungen mit der Fertigung und der Integration neuer Materialien sowie Leistungsmerkmale neuer Komponenten. Gibt es bereits ähnliche Produkte der Konkurrenz am Markt, können Erfahrungen aus dem Einsatz des Produkts gewonnen werden. Ist dies nicht der Fall, müssen besonders im Vorfeld des Serienanlaufs gesonderte Maßnahmen zur Absicherung getroffen werden.

Die Produktkomplexität lässt sich, neben der Anzahl und Vielfalt der Produktkomponenten (aus dem MIG zu entnehmen), durch die Vielzahl an Beziehungen ableiten. Je größer die Abhängigkeiten zwischen den Komponenten sind, desto größer sind der Änderungsaufwand und die Fehlerfortpflanzung im Laufe des Serienanlaufs. In der Luftfahrtindustrie entsteht ein Großteil des Änderungsaufwands durch Gewichtsvorgaben, die im Rahmen von Iterationschleifen erreicht werden müssen. Kommt es zu Anpassungen in Bauteilen, können auch Änderungen in dem vom Bauteil abhängigen Komponenten erforderlich sein. Dies wirkt sich negativ auf die Zielkriterien des Serienanlaufs aus. Für die Prozesskomplexität sind die Anzahl, Vielfalt und die zeitliche Parallelität der notwendigen Aktivitäten entscheidende Treiber zur Beeinflussung der Kriterien [15]. Durch eine hohe Anzahl an Aufgabenträgern und einer starken Wechselwirkung zwischen den einzelnen Aktivitäten ist das Risiko einer Verzögerung aufgrund der Koordination sowie der zahlreichen Schnittstellen wesentlich höher (vgl. Bild 5).

Die Berücksichtigung des Produktreifegrads als Kriterium kann über die drei Dimensionen Produkt, Prozess und Kapazität berücksichtigt werden (vgl. Bild 5). Dabei werden Bauteile nach ihrem erreichten Konkretisierungsstand und der Erfüllung funktionaler sowie technischer Anforderungen einer Stufe zugeordnet. Für den Fortschrittsverlauf ist die Vorgabe des prozentualen Anteils an Bauteilen, der zu einem bestimmten Zeitpunkt eine bestimmte Stufe erreicht haben muss, notwendig [3]. Der Zeitpunkt der Erreichung wird in der Regel an Quality Gates gekoppelt. Eine frühzeitige Identifizierung von Abweichungen ist ein wichtiger Stellhebel zur Absicherung der Qualität im Serienanlauf. Eine mangelnde Produktreife führt zu unnötigen Rekursionsschleifen in der Entwicklung und bedeutet einen zeitlichen und finanziellen Mehraufwand. Die möglichen Absicherungsmethoden zur Senkung der negativen Auswirkun-

gen eines niedrigen Reifegrads richten sich nach der Produktcharakteristik. Innerhalb der Flugzeugindustrie wird nur eine geringe Anzahl an Prototypen eingesetzt. Umso genauer muss im Gegenzug die digitale Validierung bzw. ein gezielter Einsatz von Demonstratoren erfolgen [20]. Für die Ermittlung der Entwicklungstiefe und die notwendige Koordination der Entwickler kann ebenfalls die Strukturdarstellung des MIG herangezogen werden. So können die Schnittstellen zu externen Bauteilen und deren ungefähre Lage im Produkt ermittelt werden. Eine rechtzeitige Integration und Berücksichtigung innerhalb der Reifegradbewertung der Lieferanten ist unabdingbar für die Überführung in die Serienproduktion. Weitere Aspekte sind die Ressourcenverfügbarkeit und die Expertise der Lieferanten. Diese sollten bereits zu Beginn des Entwicklungsprojekts bewertet und zur Auswahl herangezogen werden. Erfahrungen aus der Vergangenheit haben gezeigt, dass beispielsweise Entwicklungspakete in der Luftfahrtindustrie aufgrund der Komplexität und des Neuheitsgrads nicht in der gewünschten Qualität bewältigt werden konnten [13]. Dies verursachte enorme Verzögerungen und zusätzliche Kosten für den OEM. In der folgenden Darstellung sind zusammenfassend die Einflussfaktoren und eine grobe Differenzierung des Risikopotentials der Faktoren abgebildet.

Einflussfaktoren		Risikopotential		
		gering		hoch
Innovationsgrad	Marktneuheitsgrad	Weiterentwicklung	Neuentwicklung mit Technologien, die umfassend bekannt sind	Neuentwicklung mit nicht bekannten Technologien
	Technologie-neuheitsgrad	Übernahmekomponenten	Neue Komponenten oder Materialien	Neue Komponenten aus neuen Materialien
Komplexität	Produktkomplexität	Geringe Anzahl und Vielfalt von Komponenten und Beziehungen	Mittlere Anzahl und Vielfalt von Komponenten und Beziehungen	Hohe Anzahl und Vielfalt von Komponenten und Beziehungen
	Prozesskomplexität	Geringe Anzahl und Vielfalt von parallelen Aktivitäten	Mittlere Anzahl und Vielfalt von parallelen Aktivitäten	Hohe Anzahl und Vielfalt von parallelen Aktivitäten
Reifegrad	Produktreifegrad	Funktionale Anforderungen voll erfüllt	Komponenten verwendungsfähig, funktionale Anforderungen nicht vollständig erfüllt	Funktionsprüfung der Komponenten noch nicht möglich
	Prozessreifegrad	Qualität der Komponenten reproduzierbar	Produktion auf Serienanlage möglich, hoher Anteil an Nacharbeit	Prozessfähigkeit noch nicht prüfbar, Serienanlage noch nicht determiniert
Supplier-Integration	Entwicklungstiefe	geringe Anzahl an Komponenten vom Entwicklungspartner	mittlere Anzahl an Komponenten vom Entwicklungspartner	hohe Anzahl an Komponenten vom Entwicklungspartner
	Fertigungstiefe	Geringe Anzahl an 1st Tier Lieferanten	Mittlere Anzahl an 1st sowie 2nd Tier Lieferanten	Hohe Anzahl an 1st sowie 2nd Tier Lieferanten

Bild 5: Einflussfaktoren und deren Risikopotential-Ausprägungen

3.3 Darstellung innerhalb einer Risikomatrix

Für die einheitliche Risikobewertung der vorgestellten Einflussfaktoren kann auf die häufig verwendete Darstellung des Risikoportfolios zurückgegriffen werden. Dabei werden zum einen die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikofalls und zum anderen die Auswirkung bzw. Tragweite des Risikofalls

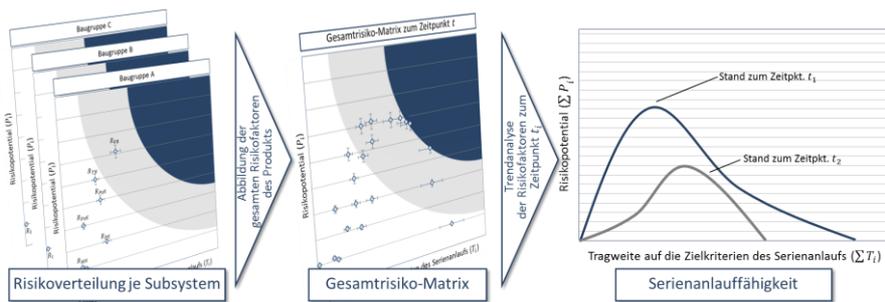


Bild 7: Beispielhafte Darstellung der Bewertung der Serienanlauffähigkeit

3.5 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Die Bewertung soll als Entscheidungsgrundlage für Handlungsstrategien zur Reduzierung der verschiedenen identifizierten Risiken dienen. Dabei können je nach Einflussfaktor verschiedene Ansätze einen entscheidenden Beitrag zur Risikominimierung leisten. Generell gilt die Aussage, je kleiner die Veränderungen zum Vorgängerprodukt ausfallen, mit desto geringeren Abweichungen bei der Transformation der Entwicklungsergebnisse in die Produktion ist zu rechnen [22]. Allerdings ist in der Flugzeugindustrie aufgrund der langen Lebenszyklen bei einem Nachfolgerprodukt mit großen Technologiesprüngen zu rechnen. Präventive Maßnahmen gegen Risiken innerhalb des Reifegrads sollten gerade für Kerntechnologien des Unternehmens stark ausgebaut werden. Dazu zählen ein verstärkter Einsatz von Prototypen, Testszenarien und parallel dazu eine digitale Absicherung der Komponenten [20]. Je geringer der Reifegrad, desto größer sollte der Umfang einer Prototypenserie ausfallen. Ein bekanntes Beispiel ist der Einsatz von Kohlefaser in der Rumpfstruktur eines Flugzeugs. Das Material ist bereits über mehrere Jahre im Einsatz, verursacht aber dennoch Probleme bei der kompletten Substitution von Baugruppen aus anderen Materialien [13]. Identifizierte Probleme im Bereich des Innovations- und Komplexitätsgrads können mit Hilfe von Produktstrukturierungsmaßnahmen, wie z.B. der Modularisierung oder der Plattformentwicklung, begegnet werden. Dabei unterstützt die Erhöhung des Übernahmanteils und die Standardisierung der Schnittstellen die Reduzierung möglicher Risikotreiber. Für genaue Handlungsempfehlungen müssen die bestehenden Produktstrukturen des Vorgängerprodukts als Ausgangspunkt herangezogen werden. Dies ist die Basis für eine gezielte Szenariobetrachtung. Nur so können, neben qualitativen Abschätzungen, auch quantitative Aussagen für bevorstehende Serienanläufe gemacht werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt die Notwendigkeit einer frühen Berücksichtigung der Serienanlaufphase innerhalb der Entwicklung für komplexe Produkte auf. Aktuelle Entwicklungsprojekte in der Flugzeugindustrie und empirische Studien aus anderen Industrien bekräftigen die Tatsache, dass der Serienanlauf als kritische Phase im Lebenszyklus innovativer und komplexer Produkte betrachtet werden kann. Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist die Entwicklung einer Methodik zur frühzeitigen Identifizierung und Minimierung von Anlauftrisiken. Dazu soll, ausgehend von den Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf den Serienanlauf, eine Risikobewertung durchgeführt werden. Durch die so erzeugte Transparenz können bereits vor der eigentlichen Fertigung mögliche Probleme identifiziert und Reaktionsstrategien für eventuell auftretende Zielabweichungen zur Verfügung gestellt werden. Die Handlungsstrategien bilden die Eingangsgröße für einen effizienten Transfer der Entwicklungsergebnisse in die Produktion. Für die weitere Entwicklung des Ansatzes soll eine Validierung am praktischen Beispiel erfolgen. Zudem muss eine weitergehende Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung der Risikofaktoren und deren Abbildung für eine ganzheitliche Bewertung der Serienanlauffähigkeit des Produkts untersucht werden. Des Weiteren müssen die Handlungsempfehlungen, basierend auf Heuristiken, für verschiedene Risikoszenarien konkretisiert werden.

Literatur

- [1] Carrillo, J. E.;Franza, R. M.: "Investing in product development and production capabilities: The crucial linkage between time-to-market and ramp-up time", in *European Journal of Operational Research*, vol. 171, no. 2, 2006, S. 536–556.
- [2] Fitzek, D.: "Anlaufmanagement in Netzwerken", St. Gallen, 2005.
- [3] Wangenheim, S.: "Planung und Steuerung des Serienanlaufs komplexer Produkte", Stuttgart, 1998.
- [4] Risse, J.: "Time-to-Market-Management in der Automobilindustrie: Ein Gestaltungsrahmen für ein logistikorientiertes Anlaufmanagement", Berlin, 2002.
- [5] Almgren, H.: "Pilot production and manufacturing start-up: The case of Volvo S80", in *Int. J. of Production Research*, vol. 38, no. 17, 2000, S. 4577–4588.
- [6] Terwiesch, C.; Bohn, R.; Chea, K.: "International product transfer and production ramp-up: a case study from the data storage industry", in *R&D Management*, vol. 31, no. 4, 2001, S. 435–451.

-
- [7] Coughlan, P.D.: "Engineering Change and Manufacturing Engineering Deployment in New Product Development", in "Integrating design and manufacturing for competitive advantage", 1992, S.157-177.
- [8] Meyer, A. de: "The development/manufacturing interface: empirical analysis of the 1990 European manufacturing futures survey", in Susman, G. I.: "Integrating design and manufacturing for competitive advantage", 1992, S.69-81.
- [9] Tyre, M. J.: "Managing the introduction of new process technology - International differences in a multiplant network", in *Research Policy*, vol. 20, no. 1, 1991, S. 57-76.
- [10] Kuhn, A. et al.: "Fast ramp up: Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten", Dortmund, 2002.
- [11] Altfeld, H.-H.: "Commercial aircraft projects: Managing the development of highly complex products", 2010.
- [12] Figger, A.: "Der schwierige Weg bis zum Erstflug", in *Aero International*, Vol. 2009, No. 4, 2009, S. 40-43.
- [13] Gates, D.: "A 'prescient' warning to Boeing on 787 trouble", http://seattletimes.nwsourc.com/html/sundaybuzz/2014125414_sundaybuzz06.html, 05.02.2011.
- [14] Hart-Smith, L. J., "Out-Sourced Profits - The Cornerstone of successful Subcontracting", in Boeing TATE Symposium, St. Louis, 2001.
- [15] Wißler, F. E.: "Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte", Stuttgart, 2006.
- [16] Lindemann, U.: "Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden", Berlin, 2009.
- [17] Krause, D.; Eilmus, S.: "Methodical Support for the Development of Modular Product Families", in "The Future of Design Methodology", London, 2011, S. 35-45.
- [18] Brees, C.: "Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien", Hamburg, 2011.
- [19] Kleinschmidt, E. J.; Cooper, R. G.: "The Impact of Product Innovativeness on Performance", in *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 8, No. 4, 1991, S. 240-251.
- [20] Elstner, S.; Halfmann, N.; Krause, D.: "Systematic ramp-up approach in the early development phase for the assembly of aircraft cabins", in 3rd International Workshop on Aircraft System Technologies – AST, 2011.
- [21] Breiing, A.; Knosala, R.: "Bewerten technischer Systeme: Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen", Berlin, 1997.
- [22] Meyer, M.; Utterback, J.: "Product development cycle time and commercial success", in *IEEE Trans. Engineering Management*, vol. 42, no. 4, 1995, S. 297-304.