

Qualitätsorientierte Prozessgestaltung der integrierten Produktentwicklung

Mehr Transparenz und Flexibilität in Produktentwicklung und Qualitätsmanagement durch Planung und Steuerung mit Prozessbausteinen

Joachim Heinzl, Josef Reicheneder, Hermann Schiegg

Die Entwicklung mechanischer und mechatronischer Produkte stellt höchste Anforderungen an das Projektmanagement. Kreative Prozesse lassen sich eben nicht einfach in starre Abläufe pressen. Zur Minimierung von Entwicklungszeit und -kosten ist darüber hinaus eine integrierte Entwicklung anzustreben. Hinzu kommt, dass Qualität mehr und mehr der entscheidende Wettbewerbsfaktor wird. Schwierig, dabei den Überblick zu behalten.

Ziel moderner Qualitätsmanagementmethoden ist die Gewährleistung der Produktqualität bereits in frühen Phasen der Entwicklung. Dabei sollen immer wieder auftretende Iterationsschleifen in späteren Phasen vermieden und durch robuste und effiziente Prozesse eine kurze Entwicklungszeit für qualitativ hochwertige Produkte erzielt werden. Eine Optimierung über die Verfeinerung von Einzelmethoden hinaus ist auf zwei Wegen zu erreichen:

- Bullinger betont die Wichtigkeit der Integration von Prozessen, um Schnittstellenprobleme zu beseitigen und Synergieeffekte zu nutzen und damit die Qualität von Produkt und Prozess zu erhöhen [1].
- „Eine Steigerung des Potenzials von QM-Methoden ist nur noch über eine intelligente Vernetzung mehrerer Methoden möglich.“ [2] Das betrifft nicht nur die Vernetzung der QM-Methoden untereinander, sondern auch die Verknüpfung mit den Teilprozessen in der Entwicklung. Die Einbindung von QM-Methoden in den Entwicklungsprozess stellt eine wichtige Größe für das Qualitätsmanagement selbst dar.

Beide Wege wurden in einem Ansatz des SFB 336¹ „Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung“ an der Technischen Universität München besprochen. Dabei flossen durch den TFB 2¹ auch Erfahrungen aus verschiedenen Industrieunternehmen der Automobilzuliefer- und Elektrowerkzeugbranche in die Überlegungen mit ein. Ergebnis ist eine methodische Unterstützung für die qualitätsgerechte Planung und Durchführung von Entwicklungsprozessen mit Hilfe einer modularen, flexiblen und integrierten Vorgehensweise für Konstruktion und Montageplanung, des so genannten Prozessbaukastens [3,4,5].

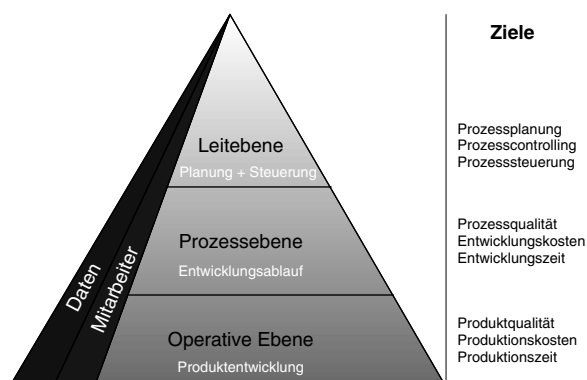
Sichtweise des Entwicklungsprozesses

Den nachfolgenden Erläuterungen liegt ein Ebenenmodell des Entwicklungsprozesses zugrunde. Abb. 1 zeigt die betrachteten Ebenen und deren Zielgrößen.

- Die (untere) operative Ebene wird von der Entwicklung – der Detaillierung von Produkt- und Produktionsdaten – geprägt. Dabei steht vor allem eine hohe Produktqualität bei angemessenen Produktionskosten und Produktionszeiten im Vordergrund.
- Die Prozessebene setzt sich mit dem Ablauf der Entwicklung, wie z.B. dem Methodeneinsatz und dem Entwicklungsfortschritt, auseinander. Im Fokus befinden sich die Qualität der Einzelprozesse, die Entwicklungszeit und die Entwicklungskosten. Dazu gehört auch das Vermeiden aufwändiger Rücksprünge und Änderungen im Prozess, die den Entwicklungsfortschritt unnötig behindern. Des Weiteren sind hier die Anforderungen aus internen Kunden-/Lieferantenbeziehungen

¹ Der Sonderforschungsbereich 336 wurde und der Transferbereich 2 wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Abb. 1:
Zielorientiertes
Ebenenmodell
des
Entwicklungs-
prozesses



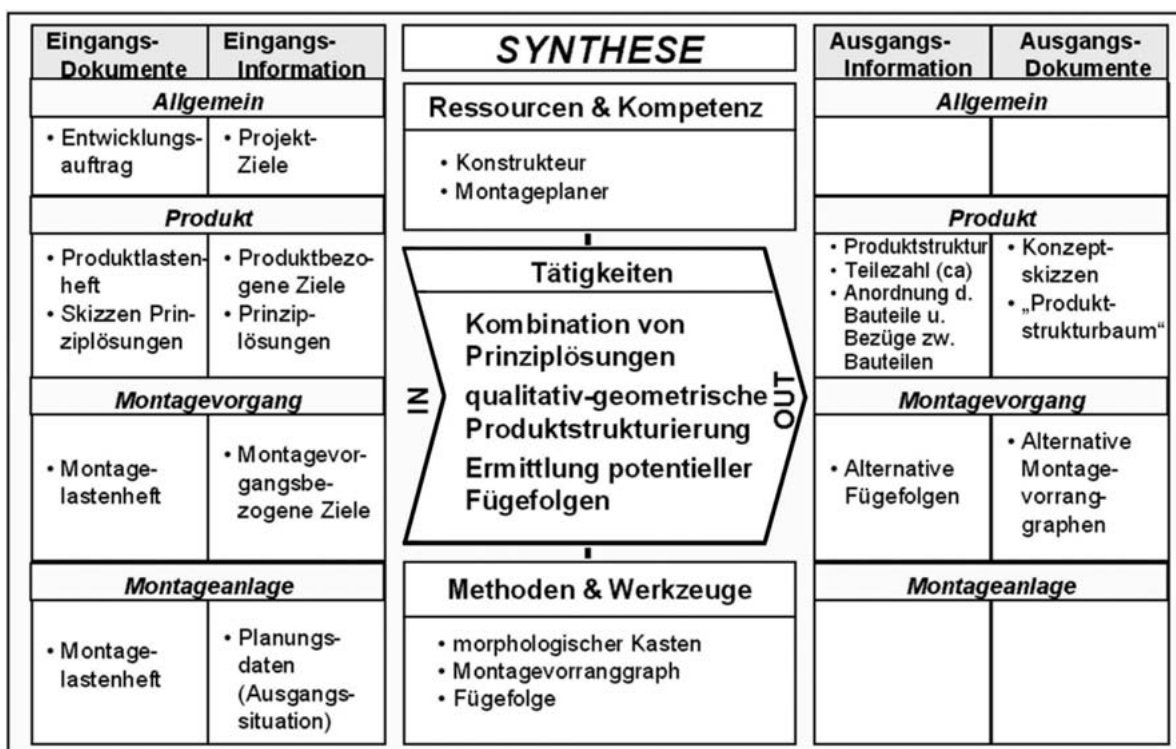


Abb. 2: Beispiel eines allgemeinen Prozessbausteins

[6], wie z. B. die Liege- und Wartezeiten von Dokumenten, zu überwachen.

- Der Leitebene obliegen die Planung, Überwachung und Steuerung der Zielgrößen der darunter liegenden Ebenen, um ein Gesamtoptimum zu erreichen.

Die entwickelten generischen Prozessbausteine bilden die operative Ebene und die Prozessebene ab und unterstützen die Leitebene methodisch.

Prozessbausteine

Die Integration von Prozessen wird dadurch vollzogen, dass die funktionale Trennung von inhaltlich zusammenhängenden Aufgaben aus Konstruktion und Montageplanung aufgehoben und diese zu einer integrierten Aufgabe verschmolzen werden [3, 4]. Im Baustein aus Abb. 2 wird zum Beispiel die qualitativ-geometrische Produktstrukturierung synchron mit der Ermittlung potentieller Fügefolgen durchgeführt.

Bausteinelemente

Zentrales Element jedes Bausteins sind die enthaltenen Aktivitäten. Im Sinne einer integrierten Produktentwicklung werden Arbeitsinhalte, die Gestaltungsobjekte gemeinsam betreffen, gleichzeitig bearbeitet. Gestaltungsobjekte sind in diesem Zusammenhang Produkt, Montagevorgang und Montageanlage. Des Weiteren enthält ein endgültig konfigurierter Baustein auch Informationen zu den Ressourcen, die für seine Bearbeitung erforderlich sind: einerseits die Namen der Mitarbeiter und deren notwendige Kompetenzen, andererseits die Methoden bzw. Werkzeuge, die die Bearbeitung unterstützen. Nimmt man noch die Kosteninformationen hinzu, wird eine gezielte Planung des Ressourceneinsatzes möglich. Standardisier-

te Schnittstellen aus Ein- und Ausgangsinformationen ermöglichen einen flexiblen Prozessaufbau. Hier muss zwischen Information und Dokument unterschieden werden: Mit Informationsbeschreibungen können die Schnittstellen exakt definiert werden. Dokumente allerdings sind die Informationsmengen, die dann wirklich zu den nächsten Bausteinen wandern. Mit diesen Ein- und Ausgangsgrößen wird eine Hilfestellung zur Abarbeitungsreihenfolge der Bausteine gegeben. Ein nachfolgender Baustein kann erst dann gestartet werden, wenn sein Vorgänger den notwendigen Input zur Verfügung stellt.

In Abb. 2 ist ein Beispielbaustein dargestellt. Die Ein- und Ausgangsinformationen sind zum einen durch die Gestaltungsobjekte (Produkt, Montagevorgang und Montageanlage) strukturiert, zum anderen werden den einzelnen Gestaltungsobjekten Dokumente zugeordnet, die Ziele (z.B. Lastenhefte), Randbedingungen (z.B. bestehende Anlagen) und Lösungen bzw. Ergebnisse des jeweiligen Projektstandes (z. B. Prinziplösungen) beschreiben. Insgesamt existieren zur Zeit etwa 100 Prozessbausteine. Mit ihrer Hilfe lässt sich eine integrierte Wertschöpfungskette vom Projektauftrag bis zum Produktionsanlauf allgemein abbilden.

Arten von Bausteinen

Bei der Analyse der Arbeitsschritte eines Entwicklungsprozesses kann man feststellen, dass sich Bausteine in vier Kategorien einordnen lassen:

- **Synthese:** Generierung von Produkt-, Vorgangs- und Anlageattributen
- **Analyse:** Absichern von Produkt-, Vorgangs- und Anlageattributen
- **Bewertung:** Überprüfen der aktuellen Produkt-, Vorgangs- und Anlageattribute auf ihre Zielerfüllung

- Auswahl: Selektion von generierten Varianten zur Einengung des Lösungsraumes
- Die Kategorie legt gleichzeitig neben den Ein-/Ausgangsinformationen weitere Regeln für die Vernetzung fest. So macht es z.B. keinen Sinn, auf einen Analyse- sofort einen Synthesebaustein folgen zu lassen, ohne vor-

her eine Bewertung durchzuführen. Dabei können einem Baustein auch mehrere folgen, die dann zeitlich parallel abgearbeitet werden, wie es z. B. nach einer Produktstrukturierung der Fall ist, wenn einzelne Baugruppen/-teile parallel weiterentwickelt werden können. Regeln, die sich aus diesen Überlegungen ergeben, sind an den Buchsen und Steckern in Abb. 3 ersichtlich.

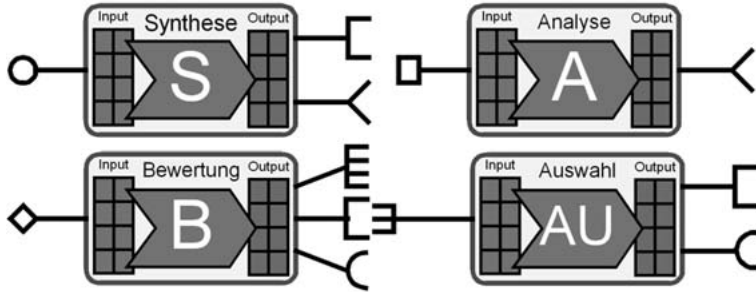


Abb. 3: Prozessmodultypen mit Buchsen und Steckern [4]

Konfiguration

Da es unmöglich ist, einen allgemein gültigen, für jede Art von Unternehmen oder Projekt richtungswisenden Baukasten zu generieren, ist eine Anpassung an unternehmens- und produktspezifische Gegebenheiten unumgänglich. Im ersten Schritt werden die potenziellen Ausprägungen der Bausteinelemente eingegrenzt. Dazu gehören erstens eine Mitarbeiterdatenbank, die sämtliche an Entwicklungen beteiligten Mitarbeiter mit ihren Methodenkompetenzen beinhaltet, und zweitens eine Methoden- und Werkzeugdatenbasis mit den Entwicklungs-

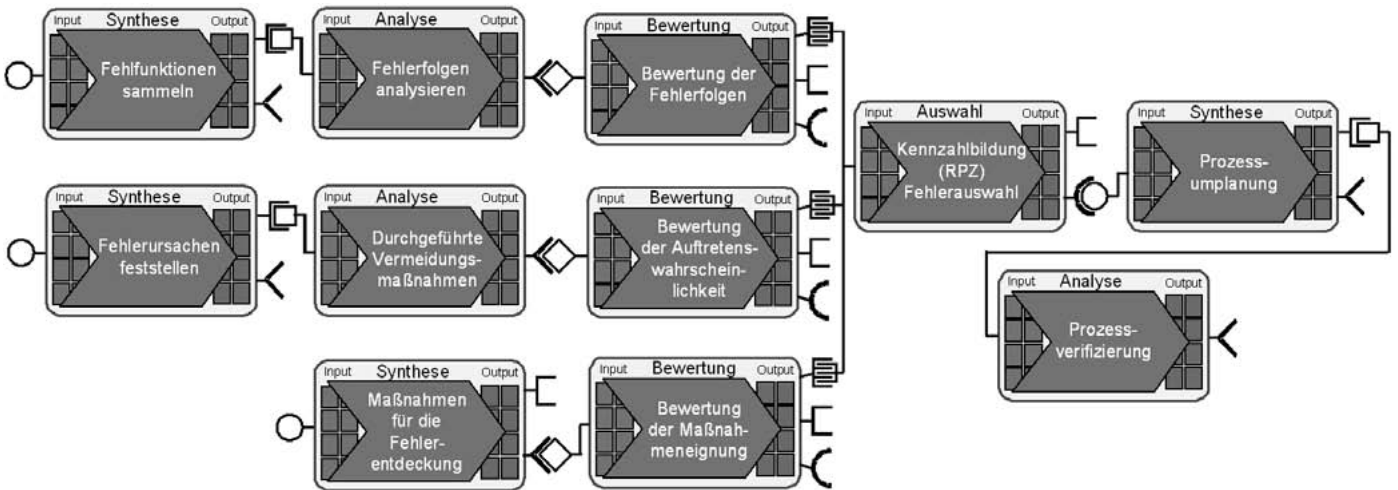


Abb. 4: Prozesscluster für die FMEA

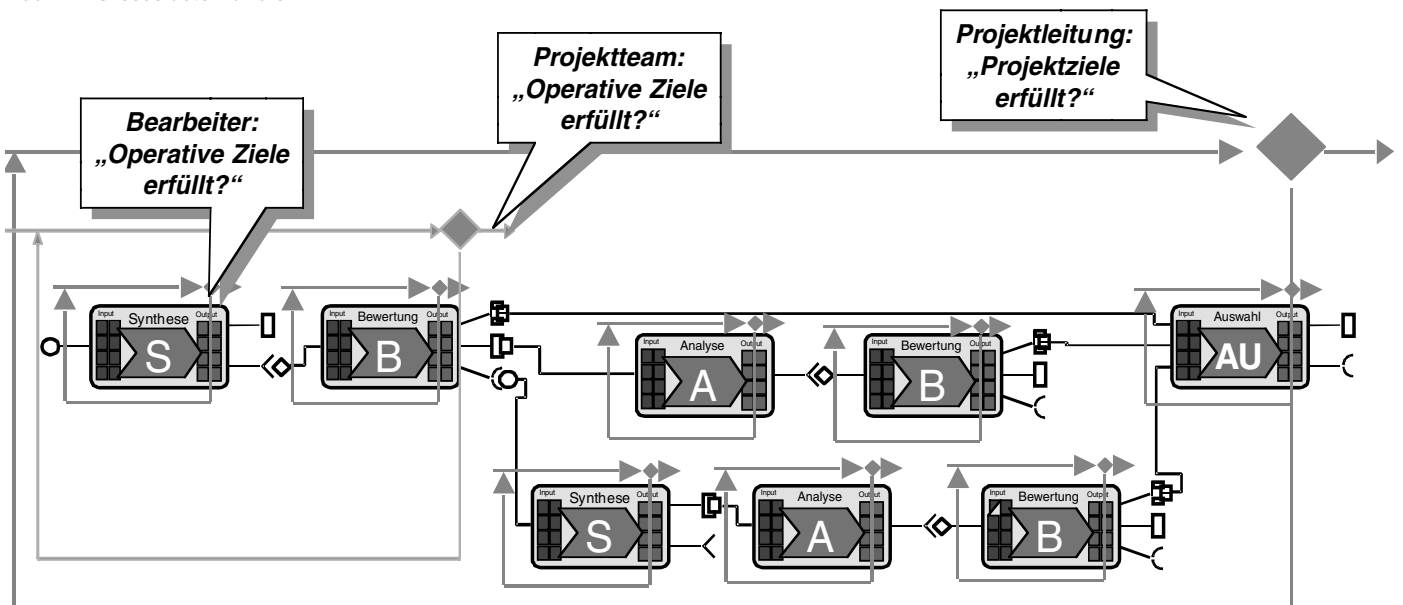


Abb. 5: Kaskaden-Qualitätsregelkreis [4]

methoden und -werkzeugen, die dem Unternehmen zur Verfügung stehen. In der nächsten Stufe wird zur Konkretisierung von Tätigkeiten, Mitarbeiterinsatz und Methoden/Werkzeugen eine Konfiguration für projekt- bzw. produktspezifische Randbedingungen vorgenommen. Hierbei werden vor allem Budget, Anfangs- und Endzeitpunkte festgelegt. Die Wiederverwendbarkeit bereits konfigurierter Prozessbausteine und -netze ist dabei möglich und unterstützt eine erfahrungsbasierte Prozessplanung. Um Erfahrungen aus abgelaufenen Projekten auch für zukünftige Entwicklungen nutzen zu können, werden Daten (Dauer, Kosten usw.) über bearbeitete Bausteine wieder im Baukasten abgelegt. Dadurch kann man bei neuen Projekten auf Erfahrungen mit bereits abgearbeiteten Bausteinen zurückgreifen. Daraus folgen eine hohe Planungssicherheit, da eine detaillierte Projektstrukturierung erreichbar ist, und eine hohe Flexibilität durch wiederverwendbare Bausteine und Prozesscluster (Abb. 4).

Qualität auf operativer Ebene

Die Integration des Qualitätsgedankens in den operativen Part des Entwicklungsprozesses kann grundsätzlich auf zweierlei Weise erfolgen:

1. Es werden spezielle Qualitätsbausteine gebildet.
2. In jeden einzelnen Baustein werden Aspekte des Qualitätsmanagements eingebettet.

Zum zweiten Punkt sind allen voran die Selbstprüfung der Bausteinergebnisse durch den/die Bearbeiter und die Prüfung von Ergebnissen aus Teilprozessclustern durch das Projektteam zu nennen. So können die kurzen Qualitätsregelkreise innerhalb eines Bausteins und innerhalb von Teilprozessnetzen abgebildet werden. Dadurch entstehen eine kaskadenartige Prozessbewertung, Prozesssteuerung und Qualitätskontrolle (Abb. 5). Diese erkennt frühzeitig Abweichungen von den Prozesszielen und gibt somit Gelegenheit, sofort Gegenmaßnahmen einzuleiten und das Prozessnetz anzupassen.

Spezielle Bausteine für die präventive Qualitätssicherung

Zur Absicherung, Kontrolle und Verbesserung der Produktqualität

wurden vielfältige Methoden entwickelt. Aus der großen Menge an Q-Methoden wurden einige wenige herausgegriffen und für die Integration in den allgemeinen Baukasten präpariert. Im Einzelnen konnten folgende Aktivitäten bzw. Aktivitätsketten daraus identifiziert werden:

- Formulieren der Qualitätsziele
- Quantifizieren der Qualitätsziele
- Qualitätsplan erstellen
- Qualitätsbewertung (Soll-Ist-Vergleich)
- Fehler- und Risikoanalysen
- Abgleich der Produktdaten mit der Fehlerdatenbank des Unternehmens
- Prüfplan erstellen
- Prüfmittelentwicklung
- Prüfmittelfähigkeit nachweisen
- Prozessfähigkeit nachweisen
- Analyse und Bewertung von externen Lieferanten

Eine Aufstellung von Aktivitäten kann hier keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Je nach Produkt oder Branche kann die eine oder andere Aktivität wegfallen oder zusätzlich notwendig sein.

Prozesscluster für die Fehler- und Risikoanalyse als Beispiel

Die Implementierung einer klassischen Methode des präventiven Qualitätsmanagements wie die Fehler- und Risikoanalyse erfordert zunächst ein Umdenken, da es sich beispielsweise bei der FMEA um eine Methode handelt, die mehrere Arbeitsschritte beinhaltet. Extrahiert man die einzelnen Aktivitäten aus der Produkt-FMEA, so ergibt sich das in Abb. 5 dargestellte Cluster.

Wichtig sind dabei die Verankerung der FMEA in einer frühen Phase des Entwicklungsprozesses, der prozessbegleitende Einsatz sowie die Nutzung von Systematiken zur Bestimmung der Kennzahlen zur Berechnung der Risikoprioritätszahl (RPZ) [7]. Bei hohem Risiko (im Auswahlbaustein) ist eine Prozessumplanung erforderlich. D. h., es müssen geeignete Fehlervermeidungs- und -entdeckungsmaßnahmen synthetisiert werden. Im letzten Baustein dieses Clusters sind die Restriktionen aus Terminen und Ressourcen noch zu überprüfen. Der von diesem Prozesscluster erzeugte Output wird sowohl in der operativen Ebene, z. B. für die Erstellung des Prüf-

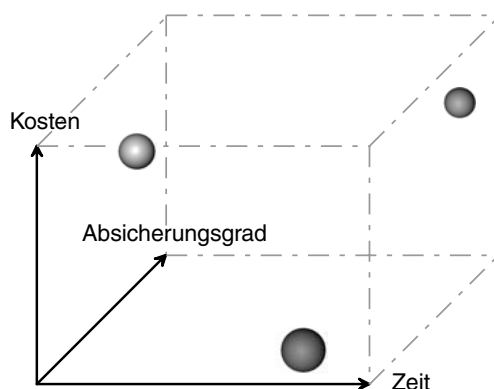


Abb. 6: 3D-Portfolio zur Methodenauswahl

plans, als auch in der Prozessebene, z. B. die Planung weiterer Analysen, weiterverwendet.

Analysebausteine und -cluster

Analysebausteine spielen eine gewichtige Rolle für einen qualitativ hochwertigen Prozess:

- zum einen zur Absicherung von Produkt- und Anlageneigenschaften, z. B. werden mit Simulationen und Nachweisrechnungen Produktfunktion, Herstellbarkeit, Prüfbarkeit, Lebensdauer usw. bewiesen, kurz, alle qualitäts- und kostenrelevanten Merkmale werden sichergestellt;
- zum anderen zur Fehlerentdeckung, z. B. Machbarkeitsstudien, Toleranzanalysen u. v. a. m. Diese Methoden dienen zur Identifikation von Fehlern im Produkt oder in der Montageanlage, welche ansonsten erst während der Herstellung oder im Produkteinsatz entdeckt werden.

Dabei existieren viele Methoden, die beide Zielgrößen gleichzeitig bedienen, z. B. Versuchsmethoden (Prototypen). Zugleich werden durch Analyseschritte aufwändige Iterationen im Prozess reduziert.

Qualität auf Prozessebene

Unter Prozessqualität sei hier sowohl die Qualität der Einzelprozesse als auch des Gesamtprozesses verstanden. Ziel muss ein globales Optimum sein. Maße für die Prozessqualität sind dabei die Effektivität, die Effizienz, die Produktivität und die Güte des gesamten Entwicklungsprozesses. Die Qualität von Prozessbausteinen sowohl in ihrer Planung als auch in ihrer Abarbeitung beeinflusst indirekt auch die Produktqualität.

Ansatzpunkte sind zunächst die einzelnen Elemente der Bausteine: Mitarbeiter, Methode bzw. Werkzeug und allen voran die Eingangsinformationen bzw. Eingangsdokumente. Da, wie bereits erwähnt, Analysen generell die Produktqualität am stärksten beeinflussen, ist auf die eingesetzten Analysemethoden besonderer Wert zu legen.

- Die einzusetzenden Methoden sollten an die unternehmens-, projekt- und produktspezifischen Anforderungen angepasst werden [8].
- Eine Unterstützung in der Methodenauswahl liefert das 3D-Portfolio (Abb. 6). Für eine Aktivität stellt man die in Frage kommenden Methoden in einem subjektiven Kosten-Zeit-Absicherungsgrad-Diagramm dar. So kann aufgrund des geplanten Budgets und Zeitaufwandes eine Methode mit adäquatem Absicherungsgrad ausgewählt werden. Beispielsweise liefert die Berechnung eines Welle-Nabe-Presssitzes nach DIN 7190 ein schnelles Ergebnis ohne großen Ressourceneinsatz, wohingegen eine FEM-Analyse erhöhten Zeit- und Ressourceneinsatz erfordert.
- Die Methodenfähigkeit der Mitarbeiter ist zu berücksichtigen.

Zusammenfassung

Die Modellierung mit Prozessbausteinen eröffnet eine detailliertere Sicht auf den Entwicklungsprozess. Der Prozessbaukasten strukturiert die Planungsobjekte und

ist somit ein wertvolles Hilfsmittel zur Projektplanung und -verfolgung. Darüber hinaus haben die Bausteine den Vorteil, dass sich der Entwicklungsprozess während der Laufzeit an neue Randbedingungen anpassen lässt. Die Modellierung von Entwicklungsprozessen mit Hilfe des Prozessbaukastens eröffnet auch dem Qualitätsmanagement neue Möglichkeiten. Dabei ist vor allem eine Verbesserung der Flexibilität und der Transparenz des Prozessablaufs zu nennen. Weitere qualitätsbezogene Vorteile des Baukastens sind:

- Informationsspeicherung
- Rückverfolgbarkeit des Prozessverlaufs
- Arbeitsstrukturierung
- Integration aller an der Produkterstellung beteiligten Personen
- Identifikation von Engpassbereichen
- gezielter Ressourceneinsatz

Literatur

- [1] Bullinger, H.-J./Warschat, J.: *Concurrent Simultaneous Engineering*. Springer, Berlin 1996
- [2] Grasse, J./Niesen, N.: *Qualitätsstrategie für die Prozesskette Karosserie*. QZ 44 10, 1999, S. 1238–1242
- [3] Bichlmeier, C./Grunwald, S.: *PMM – Process Module Methodology for Integrated Design and Assembly Planning*. In: *Proceedings of the 4th Design for Manufacturing Conference*. Las Vegas 1999
- [4] Lindemann, U./Glander, M./Grunwald, S./Reicheneder, J./Stetter, R./Zanner, S.: *Flexible Integration von Produktentwicklung und Montageplanung*. *Industrie Management* 16 1, 2000, S. 23–27
- [5] Dürrschmidt, S./Murr, O./Schiegg, H./Gneiting, Ch.: *Prozessketten – gemeinsam besser gestaltet*. QZ 44 1, 1999, S. 54–58
- [6] Künzl, H.: *Management interner Kunden-Lieferanten-Beziehungen*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 1999
- [7] Schiegg, H./Viertböck, M./Kraus, T.: *Prozessbegleitend und frühzeitig*. QZ 44 7, 1999, S. 879–884
- [8] Wallisch, F.: *Nutzen statt Selbstzweck*. QZ 44 4, 1999, S. 462–468

Schlagwörter

Produktentwicklung, Prozessbausteine, Prozessgestaltung, Qualitätsmanagement

Autoren



Prof. Dr.-Ing. Joachim Heinzl, geb. 1940, studierte allgemeinen Maschinenbau an der Technischen Hochschule München. Zwei Jahre nach seinem Eintritt ins Zentrallabor für Datentechnik der Siemens AG promovierte er über die Hydraulik des Innenohrs und die Hörtheorien. Seit 1978 ist er Inhaber des Lehrstuhls für Feingerätebau und Mikrotechnik (FGB) der Technischen Universität München (TUM).



Dipl.-Ing. Josef Reicheneder, geb. 1967, ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Feingerätebau und Mikrotechnik der TU München. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die rechnerunterstützte Tolerierung und das Qualitätsmanagement in der Integrierten Produktentwicklung.



Dipl.-Ing. Hermann Schiegg, geb. 1971, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Feingerätebau und Mikrotechnik der TU München. Sein Arbeitsschwerpunkt ist der Einsatz präventiver Qualitätssicherungsmaßnahmen im Entwicklungsprozess.

Anschrift der Autoren

*Lehrstuhl für Feingerätebau und Mikrotechnik, Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, D-85748 Garching
Tel.: 089/2891 51 76
Fax: 089/2891 51 92
E-Mail: schiegg@fgb.mw.tum.de
Internet: <http://www.fgb.mw.tum.de>*