

Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung



**10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik
KT2012 | Residenzschloss Dresden | 14.–15. Juni 2012**

Stelzer · Grote · Brökel · Rieg · Feldhusen (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik KT2012

Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

Entwickeln – Entwerfen – Erleben.
Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung
10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik (KT2012)

Herausgeber:

Prof. Dr. Ralph Stelzer (Technische Universität Dresden)
Prof. Dr. Karl-Heinrich Grote (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)
Prof. Dr. Klaus Brökel (Universität Rostock)
Prof. Dr. Frank Rieg (Universität Bayreuth)
Prof. Dr. Jörg Feldhusen (RWTH Aachen)

Wir bedanken uns für die Unterstützung bei
ma design, Tedata, Continental, xPLM, B.I.M. Consulting und Reiss Büromöbel

ma design
//ENGINEERING

Continental 

B.I.M.
consulting

TEDATA

xPLM
Solution

REISS

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 987-3-942710-80-0

© 2012 TUDpress
Verlag der Wissenschaften GmbH
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19
<http://www.tudpress.de>

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.
Layout und Satz: Sandra Olbrich/Technische Universität Dresden.
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration Audi A6 Limousine © 2012 Audi AG

Bestimmung des Produktentwicklungsaufwands basierend auf Kennzahlen am Beispiel der Luftfahrzeugentwicklung

1 Einleitung

Um im Vorfeld einer Neuentwicklung die Wirtschaftlichkeit des Produkts abschätzen zu können, müssen neben den zu erwartenden Erlösen auch die voraussichtlichen Kosten bekannt sein.

Die Bestimmung der reinen Entwicklungskosten bereits zu Projektbeginn ist in der überwiegenden Anzahl der Fälle jedoch nicht zuverlässig möglich. Zu viele und nicht quantifizierbare Einflussgrößen machen eine Prognose ungenau und führen zu meist völlig unrealistischen Kostenangaben.

Oft beschränken sich Vorhersagen auch lediglich auf eine Angabe der zu erwartenden Fertigungs- und Montagekosten und lassen die Ausgaben für den eigentlichen Entwicklungsprozess außer Acht. Mit bestehenden Methoden wie zum Beispiel dem Feature-basierten Kosteninformationssystem FEKIS (Wolfram 1994) oder dem extendierten Kosten Informationssystem XKIS (Horváth et al. 1997) lassen sich – teilweise auch schon begleitend zur Produktentwicklung – die durch die Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen verursachten Aufwendungen bestimmen. Zwar überschreiten diese die Entwicklungskosten im Allgemeinen (Ehrlenspiel et al. 2007), jedoch sehen sich Unternehmen zunehmend gefordert, neben den

Herstellkosten auch die Ausgaben für die Durchführung von Entwicklungsprojekten zu minimieren (Feldhusen und Koy 2002).

Vorhandene Methoden zur Bestimmung des Entwicklungsaufwands sind vielfach darauf ausgelegt, verhältnismäßig exakte Werte zu bestimmen und benötigen daher auch entsprechend genaue Eingangsgrößen. Manche beruhen etwa auf Extrapolationsverfahren, die beispielsweise von der Anzahl der Stücklistenpositionen auf den zu erwartenden Aufwand schließen lassen. Andere basieren auf der genauen Kenntnis von spezifischen Größen des ausgestalteten Produkts, wie etwa Massen einzelner Bauteile, und bieten Formeln für die Zusammenhänge zwischen diesen und den Entwicklungskosten an. Oftmals sind zu Beginn eines Entwicklungsprojekts weder Stücklistenpositionen bekannt noch Bauteile ausgestaltet, also die für bestehende Methoden notwendigen Eingabegrößen noch nicht ausreichend definiert.

Um dennoch eine Prognose des Entwicklungsaufwands in diesem Stadium trotz des vorherrschenden unscharfen Konkretisierungsniveaus zu erhalten, ist es notwendig eine Methode zu entwickeln, die auf wenigen, aus Grundanforderungen abgeleiteten und a priori bekannten, technischen Parametern, den sogenannten Entwurfspametern, basiert.

2 Stand der Technik

Für die klassische Produktentwicklung sind Schätzungsverfahren der Kosten des Projekts für die frühen Phasen einer Neuentwicklung kaum beschrieben. Typische Ansätze basieren auf Schätzungen des Aufwands ausgehend von Erfahrungen aus Vorgängerprojekten zur Entwicklung ähnlicher Produkte. So ist es beispielsweise üblich, die Anzahl der notwendigen Zeichnungen und Dokumente abzuschätzen und in Quadratmetern zu erstellender Dokumente abzubilden. Mit entsprechenden firmeninternen Erfahrungswerten für die Anfertigungsdauer eines Dokumentenquadratmeters kann damit auf den tatsächlichen Aufwand geschlossen werden. Allerdings setzt dieses Vorgehen eine genaue Kenntnis über die Produktstruktur und insbesondere die Anzahl und Art der zu entwickelnden Kom-

ponenten voraus. (Hichert 1976) Damit stellt es sich als ungeeignet für eine Abschätzung des zu erwartenden Aufwands noch vor der eigentlichen Entwicklung oder während der frühesten Phasen der Entwicklung heraus.

Im Ansatz ähnlich sind Verfahren, die von der Anzahl der zu erwartenden Stücklistenpositionen ausgehen und basierend auf typischerweise unternehmensspezifischen Faktoren die erforderlichen Arbeitsstunden pro Stücklistenposition ermitteln. Auch bei Vorgehensweisen dieses Typs ist es notwendig, über eine genaue Kenntnis der Stückliste des zu entwickelnden Produkts zu verfügen, um Schätz-werte für den Entwicklungsaufwand zu ermitteln.

Bereits seit mehreren Jahrzehnten bedient man sich jedoch in der Softwareentwicklung Schätzverfahren, die zum Ziel haben, den Aufwand der eigentlichen Entwicklung zu bestimmen. Softwareprodukte rufen im Allgemeinen zu verhältnismäßig großen Teilen Entwicklungskosten hervor und ihre Produktion beschränkt sich üblicherweise auf das Herstellen eines Datenträgers und einer Verpackung. Das Constructive Cost Model (COCOMO) wurde bereits 1981 von Barry Boehm vorgestellt (Boehm 1981). Es wurde kontinuierlich erweitert aber basiert im Kern nach wie vor auf der Schätzung des Aufwands aus der zu erwartenden Programmgröße des Produkts, also der zu erstellenden Anzahl an Quellcodezeilen. Des Weiteren existieren insgesamt siebzehn Faktoren, die vom Anwender der Methode vorab bestimmt werden müssen. Unter anderem zählen dazu die Komplexität der Entwicklung, die Ähnlichkeit mit vorhandenen Entwicklungen, die geplante Zuverlässigkeit des späteren Produkts und die Zusammenarbeitsfähigkeit des Entwicklerteams. (Boehm et al. 1995)

Eine Adaption auf die klassische Produktentwicklung maschinenbaulicher Erzeug-nisse ist bereits durchgeführt worden (Feldhusen et al. 2010). Die siebzehn Faktoren des COCOMO-II-Modells sind dazu auf die speziellen Bedürfnisse der Disziplin angepasst und zu insgesamt sieben Parametern zusammengefasst worden. So ist etwa der Innovationsgrad im Sinne der zu erwartenden Neuartigkeit des Produkts auch in der klassischen Produktentwicklung

messbar (Hauschild und Schlaak 2001) und damit direkt zur Aufwandsbestimmung anwendbar. Dazu kommen weitere Faktoren wie zum Beispiel die Gleichartigkeit mit bereits durchgeführten Entwicklungsprojekten und die Qualifikation des Personals, die neben der Verteilung des Teams auf verschiedene Standorte eine entscheidende Rolle spielt. Obwohl viele der benötigten Faktoren bereits im Vorfeld bekannt sind oder deren Bestimmung oftmals unabhängig vom zu entwickelnden Produkt erfolgen kann, ist dennoch die Kenntnis der Größe des Produkts (also das Gegenstück der zu erwartenden Zeilen an Quellcode, beispielweise die Anzahl der Stücklistenpositionen) unabdingbar. Somit stellt sich auch diese Methode als nicht zielführend dar, um ausgehend von den Entwurfparametern den zu erwartenden Entwicklungsaufwand im Vorfeld adäquat zu bestimmen.

Speziell für die zivile und militärische Flugzeugentwicklung sind darüber hinaus mehrere Methoden entwickelt worden, um Lebenszykluskosten eines Flugzeugs zu bestimmen. Insbesondere wird auch auf Entwicklungskosten eingegangen.

So stellt beispielsweise Raymer eine Formel vor, um die notwendigen Stunden zu errechnen, die für die Entwicklung eines Flugzeugtyps erforderlich sind. Die Formel basiert auf sogenannten Cost Estimation Relationships und bezieht das Leergewicht des Flugzeugs, seine maximale Geschwindigkeit sowie die Größe des Flugzeugtyps ein. Über unternehmensinterne Faktoren können dann aus den abgeschätzten Stunden Kosten ermittelt werden. (Raymer 1989) Allerdings gilt die Formel ausschließlich für Flugzeuge, die zu überwiegenden Teilen aus Aluminium hergestellt werden und ist somit zum einen nicht ohne grundlegende Überarbeitungen auf moderne, zu großen Teilen aus Verbundwerkstoffen hergestellte Flugzeuge übertragbar und zum anderen auch nicht ohne weiteres auf Branchen außerhalb der Luftfahrtindustrie generalisierbar.

Eine weitere von Raymer vorgeschlagene Möglichkeit besteht darin, die Entwicklungskosten als Anteil der Produktionskosten anzugeben (Raymer 1989). Allerdings setzt dieses Vorgehen voraus, dass die Produktionskosten bekannt sind. Typischerweise sind

Abschätzungen aber erst gegen Ende oder im Anschluss an die Entwicklungsphase möglich, so dass eine Eignung zur Prognose in den frühesten Phasen ausgeschlossen ist.

Ebenfalls spezifisch für die Flugzeugentwicklung ist das von Roskam vorgestellte Modell. Er bestimmt die Entwicklungskosten in Abhängigkeit von Gewichten einzelner Schlüsselkomponenten des zu gestaltenden Flugzeugs. So ist es beispielsweise notwendig, das Leergewicht des Flugzeugs sowie die einzelnen Gewichte von Rädern, Bremsen, Triebwerken, Startern, Kühlmitteln, allen aus Gummimaterialien hergestellten Bauteilen, Batterien, Instrumenten, Feuerlöschsystemen, Klimaanlage und der APU zu kennen, bevor eine Kostenschätzung vorgenommen werden kann. (Roskam 1990) Typischerweise sind jedoch diese detaillierten Gewichtsaufteilungen zu Beginn einer Neuentwicklung noch nicht bekannt. Nachteilig für eine Adaption dieses Modells erweist sich ferner, dass die zugrunde liegende Datenbasis aus den 1970er Jahren stammt. Mit einer einfachen Aktualisierung der Datenbanken lässt sich das Modell nicht zufriedenstellend anpassen, da wesentliche technologische Entwicklungen nicht im Formelwerk erfasst worden sind. Darüber hinaus erscheint wie beim vorhergehend vorgestellten Modell von Raymer eine Übertragbarkeit auf andere Branchen schwierig. Da nicht jede Entwicklung eines Produkts eine Neuentwicklung ist, können folglich nicht immer Abschätzungsverfahren für Neuentwicklungen angewendet werden. Roskam schlägt daher einen Komplexitätsfaktor (difficulty factor) vor, der jedoch nach eigenem Ermessen mit den errechneten Kosten multipliziert wird, um ein realistischeres Ergebnis zu erhalten. (Roskam 1990)

Die existierenden Methoden ermöglichen es, Entwicklungsaufwand gemessen in Stunden oder direkt die Entwicklungskosten zu bestimmen. Allerdings benötigen sie jeweils verhältnismäßig genaue und detaillierte Eingabegrößen, die weit über die grundlegenden Entwurfparameter hinausgehen und typischerweise erst in fortgeschrittenen Phasen des Produktentwicklungsprozesses eingesetzt werden können.

3 Methodik zur Bestimmung des Produktentwicklungsaufwands

Im Folgenden soll daher eine Methodik vorgestellt werden, deren Ziel es ist, ausgehend von Entwurfparametern oder grundlegenden Anforderungen die zu erwartenden Kosten der Produktentwicklung zu bestimmen.

3.1 Konzeption und Aufbau der Methodik

Die Methodik besteht aus zwei Komponenten, von denen die erste eine Methode darstellt, die dazu dient, das im zweiten Schritt zu verwendende Modell aufzustellen und mit bestehenden Daten zu füllen. Die zweite Komponente ist die eigentliche Methode zur Bestimmung des Entwicklungsaufwands. Sie bedarf eines funktionsfähigen Modells, also muss die erste Methode mindestens einmal durchgeführt werden, bevor mit der Aufwandsbestimmung begonnen werden kann. Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Methodik und das generelle Vorgehen.

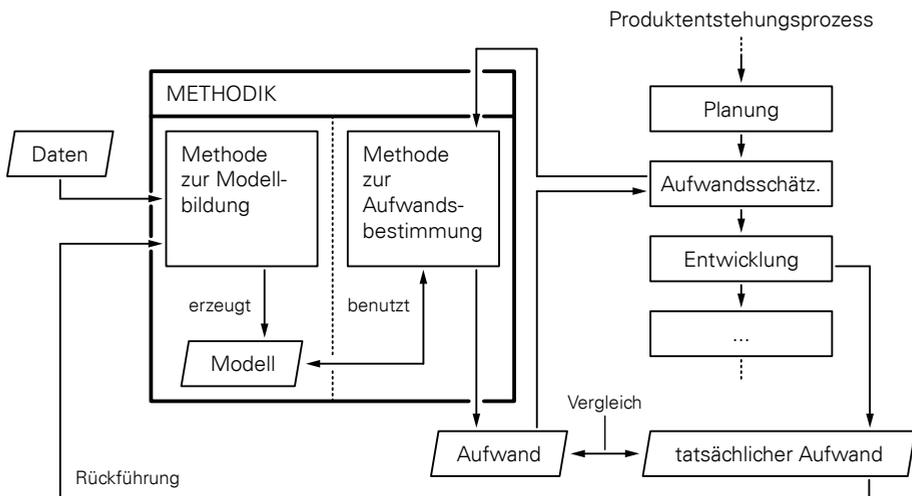


Abbildung 1: Aufbau der Methodik und generelles Vorgehen beim Bestimmen des Aufwands

Der Methodik liegt die Hypothese zugrunde, dass sich Produkte unter anderem durch physikalische Parameter beschreiben lassen. Als Beispiel seien Masse oder Volumen eines Produkts oder einer Komponente aufgeführt. Weiterhin besagt die Hypothese, dass sich aus diesen technischen Parametern Zusammenhänge mit ökonomischen Daten, wie etwa den Entwicklungskosten ermitteln lassen. Typischerweise können drei Arten von Zusammenhängen identifiziert werden: Skaleneffekte, statistische Modelle oder auf Formeln basierende, mathematische Zusammenhänge. (Duverlie und Castelain 1999) Letztere sollen für die hier vorgestellte Methodik zum Einsatz kommen. Außerdem soll die Hypothese gelten, dass der Aufwand einer Entwicklung abhängig vom jeweiligen Jahr, in dem sie durchgeführt wird, ist. Auf Grund des technischen Fortschritts erscheint es legitim davon auszugehen, dass eine Entwicklung eines Produkts zu einem bestimmten Zeitpunkt einen größeren Aufwand hervorgerufen hat, als die Entwicklung desselben Produkts mehrere Jahrzehnte später.

3.2 Modellbildung

Bevor die Methode zur Aufwandsbestimmung angewendet werden kann, ist es notwendig, die Modellbildung durchzuführen, um die mathematischen Zusammenhänge zwischen Parametern und ökonomischen Daten aufzustellen. Die dazu nötigen Schritte können Abbildung 2 entnommen werden.

Der erste Schritt ist das Ermitteln eines geeigneten Satzes an technischen Parametern. Geeignet bedeutet hierbei, dass idealerweise solche Parameter herangezogen werden, die das Produkt eindeutig klassifizieren und einen wichtigen Einfluss auf den Entwicklungsaufwand haben. So ist beispielsweise die Masse ein wesentlich sinnvollerer Parameter als etwa die Farbe, da diese im Allgemeinen keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Produktentwicklung hat. Darüber hinaus hat es sich als zielführend erwiesen, aus den Entwurfparametern Kombinationen zu bilden, um ein besseres Maß für den Aufwand zu erhalten. Zum Beispiel ist die benötigte Länge der Landebahn eines Passagierflugzeugs alleine betrachtet zwar schon ein Maß für den Aufwand, da Flugzeuge, die nur eine kurze Landestrecke benötigen, technologisch aufwendiger

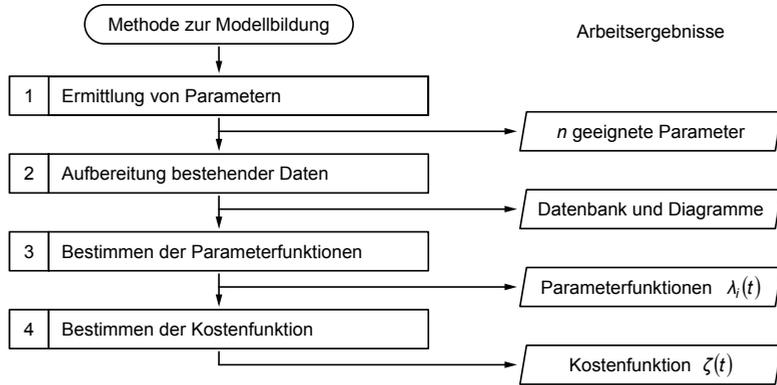


Abbildung 2: Arbeitsschritte der Methode zur Modellbildung

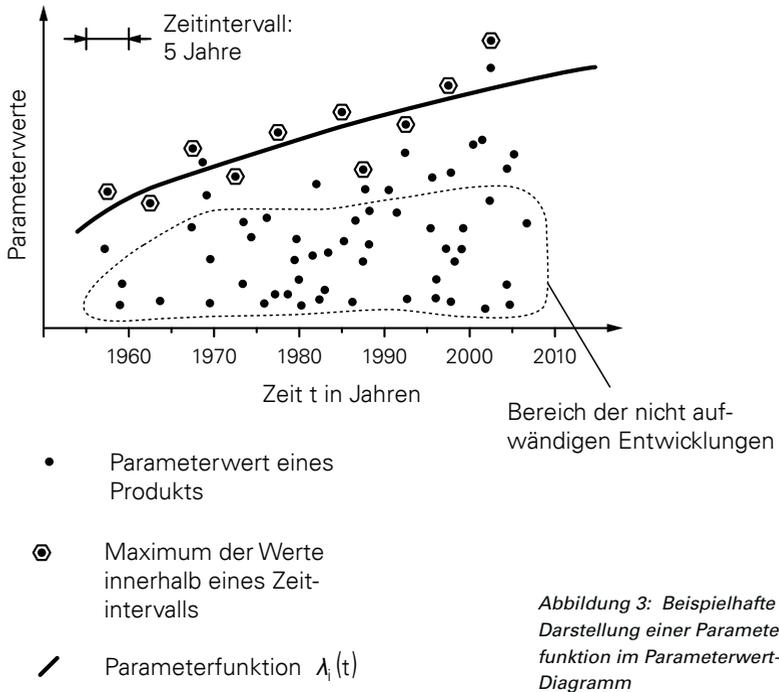


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung einer Parameterfunktion im Parameterwert-Diagramm

sind. Setzt man allerdings das Höchstlandegewicht eines Flugzeugs in Bezug zur Landebahnlänge, so verstärkt sich der charakterisierende Effekt, da es umso schwieriger ist, ein schweres Flugzeug zu entwickeln, das eine kürzere Landebahn benutzen kann. Prinzipiell eignet sich jeder Entwurfparameter und jede Kombination zur Modellbildung. Allerdings steigen die Qualität des Modells und die Güte des Ergebnisses mit der Aussagefähigkeit der Parameter.

Die vorgestellte Methode basiert unter anderem auf der Analyse bestehender Daten, was bedeutet, dass zu Beginn der Modellbildung ein Vorrat an verwendbaren Datensätzen für ähnliche Produkte generiert oder ermittelt und anschließend aufbereitet werden muss. Das bedeutet, dass das Modell im zweiten Schritt mit konkreten Werten bereits durchgeführter Entwicklungsprojekte versorgt werden muss. Dazu müssen für jeden im ersten Schritt ermittelten Parameter Werte vorliegen und mit dem Jahr, in dem die entsprechende Entwicklung stattgefunden hat, verknüpft werden.

Der dritte Schritt umfasst nun das Aufstellen einer sogenannten Parameterfunktion. Dazu werden die Datenpunkte bestehend aus Werten und Jahreszahlen in das Parameterwert-Diagramm eingetragen. Abbildung 3 zeigt exemplarisch ein solches Diagramm. Je nach Produktart und -branche werden nun die Maxima oder Minima der Parameter für einen definierten Zeitbereich ermittelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der optimale Zeitbereich individuell ermittelt werden muss und insbesondere von der typischen Dauer des Entwicklungsprozesses abhängt. Im abgebildeten Beispieldiagramm ist ein größerer Wert mit einem höheren Entwicklungsaufwand verbunden. Daher werden hier die Maxima der in den jeweiligen Zeitintervallen liegenden Werte bestimmt. Aus diesen wird dann eine nichtlineare Ausgleichsfunktion, die Parameterfunktion λ , ermittelt. Sind genügend und vor allem repräsentative Produktentwicklungen in das Diagramm eingetragen, spiegelt die Parameterfunktion die durchschnittliche technologische Grenze des jeweiligen Parameters im zugehörigen Zeitintervall wider. Das bedeutet, dass es keine Entwicklungen gegeben hat, die diese Grenze wesentlich überschreiten. Für jeden der im ersten Schritt ermittelten Parameter wird dieses Vorgehen einmal ausgeführt.

Im vierten Schritt wird das gleiche Vorgehen für die Entwicklungskosten der vorhandenen Datenmenge durchgeführt. Analog zu den technischen Parametern werden die Kosten über dem zugehörigen Jahr im Kostendiagramm aufgetragen und aus den Maxima der Kosten in den jeweiligen Zeitintervallen eine lineare Ausgleichsfunktion, die sogenannte Kostenfunktion ζ , bestimmt. Um eine Vergleichbarkeit der Werte zueinander zu erhalten, ist es notwendig, auf inflationsbereinigte Kostenwerte zurückzugreifen.

Nach der erfolgten Ermittlung von Parametern und dem Aufstellen von Parameter- und Kostenfunktionen mit Hilfe der Parameterwert- und Kostendiagramme ist die Modellbildung abgeschlossen.

3.3 Bestimmung des Produktentwicklungsaufwands

Mit einem bestehenden Modell kann nun mit der eigentlichen Prognose des Entwicklungsaufwands begonnen werden. Abbildung 4 zeigt dazu die grundsätzliche Vorgehensweise inklusive der jeweils notwendigen Eingangsgrößen und der Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte.

Zunächst werden die Entwurfparameter für die neu durchzuführende Entwicklung aufgestellt. Dabei handelt es sich um die grundlegenden Anforderungen an das Produkt, die schon vor Beginn der

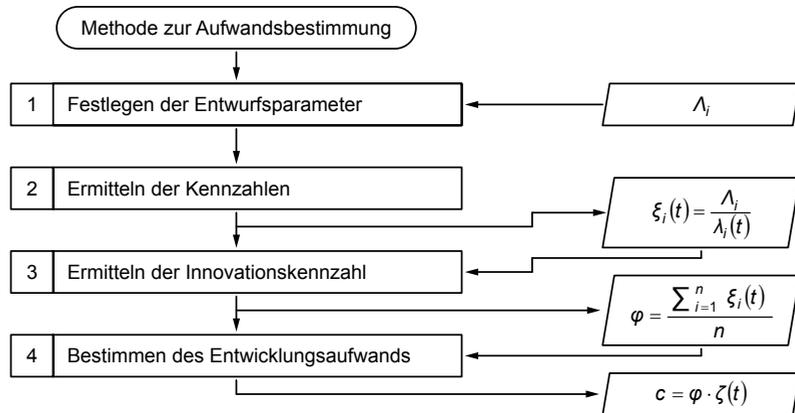


Abbildung 4: Arbeitsschritte der Methode zur Bestimmung des Produktentwicklungsaufwands

eigentlichen Entwicklungsarbeit feststehen und somit die Haupteingangsgröße für die Methode sind. Außerdem ist das Jahr, in dem die Entwicklung durchgeführt werden soll, erforderlich. Es wird benötigt, da die im Modell verwendeten mathematischen Zusammenhänge unter anderem bestehende Daten benutzen und die vorhandenen Parameter jeweils in Bezug zum Entwicklungszeitpunkt setzen.

Im nächsten Arbeitsschritt werden für jeden einzelnen Parameter Kennzahlen gebildet, die auf die prinzipielle Ähnlichkeit der vorliegenden Entwicklung mit im Datenbestand vorhandenen, bereits durchgeführten Entwicklungen schließen lassen. Dazu wird das Verhältnis ξ_i aus dem Entwurfparameter Λ_i der abzuschätzenden Entwicklung und der zugehörigen Parameterfunktion λ_i zum gewünschten Zeitpunkt gebildet. Diese Kennzahlen beschreiben dabei für jeden Parameter die Ähnlichkeit mit einer zum Zeitpunkt t durchgeführten theoretischen Entwicklung, die exakt auf der vorliegenden technologischen Grenze, welche im Modell durch die Parameterfunktion beschrieben wird, liegt.

Im dritten Arbeitsschritt wird die Innovationskennzahl ϕ berechnet. Sie besteht aus dem arithmetischen Mittel der einzelnen Kennzahlen ξ_i . Abhängig von der Bedeutung der jeweiligen Kennzahlen für das zu entwickelnde Produkt kann es auch hilfreich sein, die Kennzahlen zu gewichten. Das kann vor allem dann sinnvoll sein, wenn mehrere Parameter ähnliche technologische Herausforderungen beschreiben. Für diesen Fall bietet es sich an, Gruppen von Parametern zu bilden und diese durch die Gewichtungsfaktoren abzuschwächen, so dass ein ausgewogenes Bild der beschreibenden Parameter entsteht.

Als letzter Arbeitsschritt kann nun die Bestimmung des Kostenwerts c erfolgen. Das geschieht, indem die Innovationskennzahl mit der Kostenfunktion ζ des Modells multipliziert wird. Abhängig davon, ob die Entwicklungskosten im Kostendiagramm jeweils auf ein einzelnes Erzeugnis (typischerweise bei geringen Stückzahlen) oder für ein ganzes Produktprogramm (bei entsprechend großen Stückzahlen) angegeben worden sind kann nun die Angabe des Produktentwicklungsaufwands erfolgen.

3.4 Integration in den Produktentwicklungsprozess

Typischerweise bleibt es nicht bei einer ausschließlichen Prognose des Entwicklungsaufwands. Vielmehr wird ein Produkt nach erfolgreichem Abschluss der Planungsphase auch tatsächlich entwickelt. Die dabei entstandenen Kosten können während und nach Abschluss des Projekts gemessen werden und mit den vorab prognostizierten Kosten verglichen werden.

Auf der einen Seite ist diese Rückführung im Sinne einer Validierung grundsätzlich notwendig, um zu überprüfen, ob das gemäß der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Vorgehensweise aufgebaute Modell auch fähig ist, den Entwicklungsaufwand zu bestimmen. Dies ist insbesondere auch von der Wahl der richtigen Parameter abhängig. Auf der anderen Seite ist es sinnvoll, die gewonnenen Daten zusätzlich in das Modell zu integrieren. Dadurch erhöht sich die Anzahl der zu Grunde liegenden Datenpunkte in den einzelnen Parameterwertdiagrammen und dem Kostendiagramm, was zu einer präziseren Prognose führen wird. Die erforderlichen Validierungs- und Rückführungsschleifen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Soll die Methodik grundsätzlich in einen Produktentstehungsprozess als permanenter Bestandteil integriert werden, ist es sogar erforderlich, das Modell kontinuierlich nachzuführen und mit aktuellen Daten zu versehen, da es ansonsten im Laufe der Zeit den aktuellen Ansprüchen nicht mehr genügt.

4 Anwendung am Beispiel der zivilen Luftfahrzeugentwicklung

Die in Abschnitt 3 vorgestellte Methodik ist exemplarisch für die zivile Flugzeugentwicklung von Passagiermaschinen mit mehr als einhundert Sitzplätzen angewendet worden. Dazu wurde die Modellbildung durchlaufen und die zweite Komponente der Methodik in einem Software-Prototyp implementiert.

In der Flugzeugentwicklung ist es üblich, grundlegende Entwurfparameter als Top Level Aircraft Requirements (TLAR) zu bezeichnen. Diese stehen typischerweise bereits vor dem Beginn der Entwicklungs- und Konstruktionsphase fest. Außerdem lassen sie sich für

bereits erfolgte Entwicklungen aus Herstellerunterlagen ermitteln, so dass die Verfügbarkeit der notwendigen bestehenden Daten sichergestellt ist. Es bot sich also an, die für das Modell notwendigen technischen Parameter aus dem Satz der TLAR zu wählen.

Anschließend wurde die prinzipielle Eignung der Parameter für das Modell überprüft. Erwartungsgemäß übt das zulässige Startgewicht einen großen Einfluss auf den Entwicklungsaufwand aus. Allerdings reicht eine Betrachtung nur dieses Parameters alleine nicht aus, um sinnvoll auf den Aufwand zu schließen. Das Gewicht ist zwar in der Luftfahrtindustrie eine zentrale treibende Größe. Dennoch üben auch andere Trends – wie etwa der zu immer größeren Flugzeugen mit mehr Sitzplätzen – großen Einfluss auf die Komplexität der Entwicklung aus, so dass weitere Parameter nötig sind. Viele Anforderungen haben sich auch als nicht geeignet erwiesen, da sich aus ihnen keine oder nicht eindeutige Zusammenhänge zum Entwicklungsaufwand ermitteln ließen. So spielt zwar der von einem Flugzeug erzeugte Lärm eine wesentliche Rolle beim Entwurf von Flugzeuggeometrie und Triebwerken, dennoch ließ sich im

Funktionen	Bezeichnung	TLAR
λ_1, Λ_1 bzw. ξ_1	Höchstabfluggewicht	<i>MTOW</i>
λ_2, Λ_2 bzw. ξ_2	<u>Höchstlandegewicht</u> Landebahnlänge	<u><i>MLW</i></u> <u><i>LFL</i></u>
λ_3, Λ_3 bzw. ξ_3	Sitzanzahl · Reichweite	<i>Seats · Range</i>
λ_4, Λ_4 bzw. ξ_4	<u>Sitzanzahl</u> Betriebsleergewicht	<u><i>Seats</i></u> <u><i>OWE</i></u>
λ_5, Λ_5 bzw. ξ_5	<u>Höchstnutzlast · Reichweite</u> Statischer Schub	<u><i>Max. Payload · Range</i></u> <u><i>SLST</i></u>

(Parameteranzahl $n = 5$)

Abbildung 5: Parameter, die für die Beispielimplementierung benutzt wurden

Parameterdiagramm keine sinnvolle Ausgleichs-funktion ermitteln. Nach der Untersuchung einer Vielzahl an Parametern (sowohl direkt übernommene Werte als auch durch systematische Kombination vorhandener Parameter neu erzeugte Werte) konnten schließlich fünf Parameter ermittelt werden, die als besonders geeignet erschienen und anschließend im Prototyp implementiert wurden. Sie können Abbildung 5 entnommen werden. Aufgeführt sind sowohl die typischen Bezeichnungen der für die Kennzahlen verwendeten Parameter als auch die Benennung des entsprechenden Entwurfsparameters, wie er in den üblicherweise englischsprachigen TLAR verwendet wird.

Eine umfangreiche Validierung mit tatsächlich erfolgten Flugzeugentwicklungen (sowohl solche, die als Teil der Grundgesamtheit zur Modellbildung herangezogen worden sind, als auch bisher nicht betrachtete) konnte zeigen, dass die durchschnittliche Abweichung der prognostizierten von den tatsächlichen Entwicklungskosten lediglich 21,9 % betrug. Die eingangs aufgestellten Hypothesen können daher als zutreffend angesehen werden und das Modell als fähig, den Produktentwicklungsaufwand zu bestimmen.

5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde aufgezeigt, wie der Entwicklungsaufwand und damit auch die Entwicklungskosten eines Produkts ausgehend von technischen Parametern basierend auf bestehenden Daten schon im Vorfeld der eigentlichen Produktentwicklung bestimmt werden kann. Dabei ist die Methodik durch den zweiteiligen Aufbau grundsätzlich unabhängig von der Produktart anwendbar. Exemplarisch wurde eine Adaption für die zivile Flugzeugentwicklung präsentiert.

Die vorgestellte Methodik zur Abschätzung des Produktentwicklungsaufwands ist in einem interdisziplinären Forschungsprojekt entwickelt worden, dessen Ziel es ist, den gesamten Lebenszyklus eines zivilen Luftfahrzeugs von der ersten Konzeptionierung bis hin zur Entsorgung umfassend abzubilden.

Das Projekt wird aus Mitteln der Exzellenzinitiative der Bundesrepublik Deutschland gefördert.

Literaturverzeichnis

- Boehm, B. 1981: Software Engineering Economics. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Boehm, B.; Clark, B.; Horowitz, E.; Westland, C.; Madachy, R.; Selby, R. 1995: Cost Models for Future Software Life Cycle Processes: COCOMO 2.0. In: Annals of Software Engineering 1 (1), S. 57–94.
- Duverlie, P.; Castelain, J. M. 1999: Cost Estimation During Design Step. Parametric Method versus Case Based Reasoning Method. In: Int J Adv Manuf Technol (15), S. 895–906.
- Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U. 2007: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 6. überarbeitete und korrigierte Auflage. Berlin: Springer.
- Feldhusen, J.; Koy, M. 2002: Methode zur Produktivitätsmessung für Entwicklung und Konstruktion. In: Konstruktion (9), S. 49–54.
- Feldhusen, J.; Pollmanns, J.; Heller, J. E. 2010: Prognose des Entwicklungsaufwands. Adaption des COCOMO Modells auf die Produktentwicklung. In: Brökel, K., Feldhusen, J., Grote, K.-H., Rieg, F. und Stelzer, R. (Hrsg.): 8. gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2010. Barleben: docupoint.
- Hauschild, J.; Schlaak, T. M. 2001: Zur Messung des Innovationsgrades neuartiger Produkte. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 71.
- Hichert, R. 1976: Praktische Ansätze zur Termin-, Kapazitäts- und Kostenplanung in Entwicklung und Konstruktion. In: Moll, H. H. (Hrsg.): RKW-Handbuch Forschung, Entwicklung, Konstruktion. Ergänzbare Handbuch für Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Verwaltung. Berlin: Schmidt (3).
- Horváth, P.; Gleich, R.; Scholl, K. 1997: Vergleichende Betrachtung der bekanntesten Kalkulationsmethoden für das kostengünstige Konstruieren. In: Männel, W. (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement. Kalkulationsmethoden und DV-Unterstützung. Wiesbaden: Gabler, S. 111–131.
- Raymer, D. P. 1989: Aircraft Design. A Conceptual Approach. Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Roskam, J. 1990: Airplane Design. Airplane Cost Estimation. Design, Development, Manufacturing and Operating. Ottawa: Roskam Aviation and Engineering Corporation (Airplane Design, 8).
- Wolfram, M. 1994: Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren. München: Hanser.

Kontakt

Dipl.-Ing. Jan Erik Heller

Dipl.-Ing. Judith Pollmanns

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Feldhusen

RWTH Aachen University

Lehrstuhl und Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaus

Steinbachstraße 54B

52074 Aachen

www.ikt.rwth-aachen.de