

H. Steck-Winter, D. Šebo

# Aufwandstreiber bei der Zeitaufwandsschätzung von Konstruktionsaufträgen

## *Effort Drivers in Engineering Design Cost Estimation*

**Inhalt** Bei der Zeitaufwandsschätzung zur Bearbeitung von Konstruktionsaufträgen im Anlagenbau ist es nicht sinnvoll, vorhandene Konstruktionen immer wieder neu zu schätzen. Stattdessen sollte man die Stundenschreibungen aus vergangenen Projekten nutzen und die ermittelten Werte in einem Schätzkatalog hinterlegen. Das Verhältnis von Produktgröße, Produktkomplexität, Produktreife und Zeitaufwand ist jedoch nicht linear, daher wird der auf einem Schätzkatalog basierende Zeitaufwand systematisch unterschätzt. Es ist nahe liegend, dass die Komplexität einer Konstruktion einen wesentlichen Einfluss auf die benötigte Konstruktionszeit hat [3]. Bei der Verwendung von Schätzkatalogen muss daher ein Komplexitäts- und ein Wachstumsfaktor eingeführt werden.

**Abstract** *It is not reasonable to estimate engineering effort for existing design again and again. Instead, working time records of already realised engineering design should be stored for reuse in an engineering effort estimation data base. However, the ratio of product size, product complexity, product maturity and related engineering time is not linear, thus the estimated engineering time will be systematically underestimated. Obviously complexity and size has significant influences on the necessary engineering time. For that reason a complexity and a growth factor will have to be introduced.*

## 1 Algorithmische Methoden der Zeitaufwandsschätzung

Einen ersten Ansatz zur Lösung der Problemstellung bieten die algorithmischen Methoden der Zeitaufwandsschätzung, die z.B. bei der Berechnung des Zeitaufwands großer kommerzieller Softwareentwicklungsprojekte eingesetzt werden. Bei dieser Methode wird der Zeitaufwand mit Hilfe mathematischer Gleichungen berechnet, die den funktionalen Zusammenhang der Projektgröße (Größe), der Komplexität (K), diversen stochastischen Einflussfaktoren (EF), einem Größenfaktor (GF) und dem daraus resultierenden Aufwand darstellen.

$$\text{Aufwand} = \left( \text{Größe}^K \cdot \prod_{i=1}^n \text{EF}_i \right)^{GF} \quad (1)$$

Die Gleichung (1) besteht aus drei Teilen die auch die Dynamik eines Konstruktionsauftrags widerspiegeln:

- dem nominalen Zeitaufwand bestehend aus einer additiven Analogieschätzung (Größe) und einem exponentiellen Komplexitätstreiber (K),
  - den multiplikativen stochastischen Einflussfaktoren (EF) und
  - einem exponentiellen Größenfaktor (GF).
- Der Komplexitätsfaktor und der Größenfaktor werden in die Gleichung als Exponenten eingesetzt. Damit wird dem mit der Projektgröße steigendem Aufwand Rechnung getragen. Einflussfaktoren haben eine multiplikative Auswirkung auf den nominalen Zeitaufwand [10].

## 2 Schätzkatalog

Alle Schätzverfahren basieren grundsätzlich auf der Anwendung von Analogien. Bei den algorithmisch orientierten Schätzverfahren werden die Analogien lediglich mathematisch bestimmt. Es gibt kein Schätzverfahren mit

dem sich allein rein mathematisch der Aufwand errechnen ließe. Ohne Erfahrungswerte sind alle Schätzverfahren wertlos.

Jeder Schätzkatalog ist nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. In einer Tabelle werden die Standardaufgaben kategorisiert und mit Aufwandszahlen ergänzt [6]. Ein Schätzkatalog ist immer spezifisch für ein Unternehmen. Einen normierten Schätzkatalog für den Konstruktionszeitaufwand gibt es nicht.

### Autoren

MSc. Hartmut Steck-Winter MBA  
 Fachbereichsleiter bei der AICHELIN Service GmbH  
 in Ludwigsburg  
 E-Mail: steck-winter@gmx.de

Prof. Dr.-Ing. Dušan Šebo  
 arbeitet als Professor am Lehrstuhl für Industrial Engineering an der Technischen Universität Košice  
 E-Mail: dusan.sebo@tuke.sk

Aufwandstreiber (AT)	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	extrem hoch
	Komplexität des Produkts	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0
fehlende Produktreife	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Schnittstellen	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Automatisierungsgrad	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Anteil Fremdvergaben	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5

**Tabelle 1**

Metrik der Aufwandstreiber

Die im Schätzkatalog hinterlegten Werte spiegeln den Organisationsgrad eines Unternehmens zu einem bestimmten Zeitpunkt wider. Ändern sich die Voraussetzungen, dann ändern sich auch die hinterlegten Schätzwerte.

### 3 Zeitaufwandstreiber

Weil das Verhältnis von Zeitaufwand und Produktkomplexität, bzw. Projektgröße nicht linear ist, wird der einem Schätzkatalog entnommene Zeitaufwand systematisch unterschätzt. Bei der Verwendung von Schätzkatalogen muss daher ein Komplexitätsfaktor, als Summe der Zeitaufwandstreiber, eingeführt werden. Der Komplexitätsfaktor und der Größenfaktor werden Gleichung (1) als Exponenten eingesetzt. Damit wird dem mit der Projektgröße steigendem Aufwand Rechnung getragen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass im Anlagenbau ca. 70 bis 85 % der Zeitaufwandsschätzung aus einem Schätzkatalog übernommen werden können [4, 5, 10], weil sie entweder Varianten- oder Anpassungskonstruktionen sind.

In einer Literaturanalyse hat der Autor die nachstehend kurz beschriebenen Aufwandstreiber auf den Konstruktionszeitaufwand ermittelt, die im wesentlichen in einer explorativen Untersuchung ausgeführter Konstruktionsaufträge bestätigt wurden [10].

#### 3.1 Komplexität des Produkts

Merkmale der Komplexität sind die Anzahl und die Verschiedenheit der Baugruppen, die Anzahl und Verschiedenheit der Beziehungen zwischen den Baugruppen, die Variantenanzahl [4, 7], der subjektive Neuerungsgrad für das Unternehmen, der Grad der herstellungstechnischen Komplexität und das Ausschöpfen der technologischen Grenze.

Die Kompliziertheit eines Systems ist abhängig von der Anzahl und der Verschiedenheit der Elemente eines Systems sowie der Anzahl und Verschiedenheit der Beziehungen zwischen den Elementen. Ein hoher Grad an Kompliziertheit macht ein komplexes System aus [7].

Probleme beim Umgang mit Komplexität sind Handeln ohne vorherige Situationsanalyse, Aktionismus, mangelnde Einsicht in Zielkonflikte, Nichtberücksichtigung von Fern- und Nebenwirkungen, die Beseitigung von akuten Missständen ohne Ursachen- Wirkungs-Analyse sowie eine Tendenz zum Übersteuern [3].

#### 3.2 Produktreife und technisches Risiko

Anlagen sind häufig Unikate bei denen eine Vielzahl von Baugruppen in gleicher oder ähnlicher Form von vorhergehenden Aufträgen übernommen werden kann. Je höher der wieder verwendbare Anteil an Baugruppen, desto höher die Produktreife und desto geringer das technische Risiko.

Merkmale der Produktreife sind die Zuverlässigkeit [1], die jeweiligen Anteile der drei Konstruktionsarten. Das Ausschöpfen der technologischen Grenzen, insbesondere der Grenzen der Verfahrenstechnik, hat häufig einen exponentiellen Anstieg des Risikos und aller Maßnahmen zur Begrenzung des Risikos zur Folge [8, 9].

#### 3.3 Anzahl und Merkmale der Schnittstellen

Jeder Praktiker hat schon die Erfahrung gemacht, dass Schnittstellen wichtige Zeitaufwandstreiber der Konstruktion sind. Schnittstellen können sowohl innerhalb einer Anlage als auch gegenüber externen Systemen bestehen. Eine typische Schnittstelle ist z.B. die Materialübergabe oder die Materialabgabe von der Anlage zu einem externen Logistiksystem. An Schnittstellen werden nicht nur Waren, sondern oft auch Informationen ausgetauscht. Gerade der Austausch von Information hat einen signifikanten, zeitaufwandstreibenden Einfluss. Unterschiedliche Schnittstellen verursachen einen höheren Zeitaufwand als die gleiche Anzahl gleichartiger Schnittstellen [11].

#### 3.4 Automatisierungsgrad

Die Flexibilität und die Produktivität einer Anlage sind vom Automatisierungsgrad abhängig. Kennzeichen des Automatisierungsgrads sind das selbsttätige Steuern und Regeln und die Anzahl der unterschiedlichen Betriebsarten

einer Anlage. Mit steigendem Automatisierungsgrad werden Daten erfasst, dokumentiert, analysiert und visualisiert.

Ein Aufwandstreiber des Automatisierungsgrads ist die Reaktionsfähigkeit einer Anlage auf unerwartete Ereignisse, die durch ein Steuerungssystem befriedigt werden müssen. Unerwartete Ereignisse sind z.B. extern einwirkende Störungen [9, 10]. Ein Hauptproblem liegt, wie es der Wortbegriff schon impliziert, in der Definition der unerwarteten Ereignisse. Der Konstrukteur muss sich also sehr gut in die Anlage hineindenken und die möglicherweise auftretenden Probleme antizipieren.

#### 3.5 Fremdkonstruktionsanteil

Eine Fremdvergabe von Konstruktions-tätigkeiten bietet die Möglichkeit Spezialisierungsvorteile der Lieferanten zu nutzen und die eigene Konstruktion zu entlasten.

Allerdings darf bei einer Fremdvergabe nicht außer acht gelassen werden, dass jede Fremdvergabe quasi eine Schnittstelle mit entsprechendem Koordinationsaufwand darstellt.

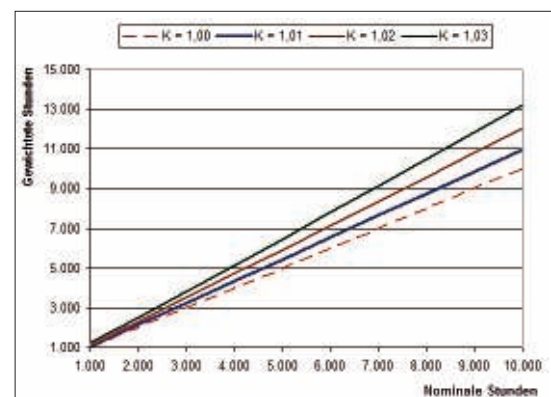
Durch die Fremdvergabe und die damit verbundene Reduzierung der eigenen Konstruktionsstunden wird das Projekt „künstlich“ verkleinert, obwohl der Koordinationsaufwand und der Aufwand zur Qualitätssicherung überproportional ansteigen.

### 4 Berechnung der Aufwandstreiber

Aufwandstreiber wirken sich selten zu 100% aus. Jeder Aufwandstreiber hat daher kategorische Attribute mit denen die Stärke der Auswirkung beschrieben wird.

Die Metrik der Aufwandstreiber in Tabelle 1 ist noch intuitiv und muss auf Basis weiterer ausgeführter Konstruktionsaufträge kalibriert werden. Der Komplexitätsfaktor (K) als Summe der Aufwandstreiber (AT) wird nach der Gleichung

$$K = 1 + 0,001 \cdot \sum_{i=1}^j AT_i \quad (2)$$



**Diagramm 1**

Zeitaufwand in Abhängigkeit des Komplexitäts-treibers

berechnet. Der Wertebereich des Komplexitätstreiberfaktors liegt also zwischen 1,00 (alle Aufwandstreiber sehr gering) und 1,03 (alle Aufwandstreiber extrem hoch).

Wie aus Diagram 1 ersichtlich ist, ist der Komplexitätsfaktor als Summe der Aufwandstreiber sehr sensitiv. Die Metrik der Aufwandstreiber muss für jeden spezifischen Anlagentyp auf Plausibilität hinterfragt und kalibriert werden.

### 5 Projektgrößenfaktor

Der Konstruktionszeitsaufwand eines Projekts, ist nicht linear zur Größe des Projektes. Bei zunehmender Projektgröße treten auf Grund des größeren Overheads und der mit der Projektgröße steigenden Komplexität negative Effekte auf.

Soll die Konstruktionszeit verkürzt werden, werden mehr Mitarbeiter benötigt. Mehr Mitarbeiter erhöhen aber den Kommunikationsaufwand innerhalb des Teams. Der höhere Kommunikationsanteil reduziert wiederum die Produktivität. Kann die Bearbeitungsdauer verlängert werden, dann werden weniger Mitarbeiter benötigt, der Kommunikationsanteil sinkt und die Produktivität jedes Mitarbeiters steigt [2].

COCOMO II [1] liefert Anhaltspunkte zwar für den Projektgrößenfaktor die nach Ansicht des Autors für den Anlagenbau viel zu hoch sind. Basierend auf der vorstehend bereits erwähnten explorativen Untersuchung ausgeführter Konstruktionsaufträge wird für den Größenfaktor ein Wert zwischen 1,003 und 1,023 vorgeschlagen [10].

### 6 Berechnungsbeispiele

Tabelle 2 zeigt am Beispiel von fünf ausgeführten Konstruktionsaufträgen die mit der vorgeschlagenen Metrik berechneten Komplexitätstreiber und Projektgrößenfaktoren. Es

Faktor	Auftrag 1		Auftrag 2		Auftrag 3		Auftrag 4		Auftrag 5	
	Faktor	Stunden	Faktor	Stunden	Faktor	Stunden	Faktor	Stunden	Faktor	Stunden
Nominale Zeitaufwand in Stunden		2.315		2.295		3.145		2.845		2.155
<b>Aufwandstreiber</b>										
Komplexität des Produkts	2,00		2,00		2,00		2,00		2,00	
fehlende Produktreife	0,00		2,00		4,00		2,00		0,00	
Schnittstellen	0,00		0,00		0,00		1,00		1,00	
Automatisierungsgrad	2,00		2,00		2,00		2,00		2,00	
Fremdvergaben	1,00		1,00		2,00		1,00		1,00	
<b>Komplexitätstreiber (K=0,001 x EAT)</b>	1,0055	101	1,0075	137	1,0105	278	1,0065	199	1,006	102
<b>Projektgrößenfaktor</b>	1,003	63	1,003	63	1,003	105	1,003	89	1,003	57

Tabelle 2

Berechnungsbeispiel

zeigt sich, dass die Metrik praxisnah und einfach anwendbar ist. Die Schätzgenauigkeit konnte bei allen Beispielen deutlich verbessert werden.

### 7 Fazit

In dieser Arbeit wurden die fünf wichtigsten Zeitaufwandstreiber der Konstruktion im

Anlagenbau identifiziert. Zeitaufwandstreiber sind (1) die Komplexität des Produkts, (2) die Produktreife, (3) die Anzahl und Merkmale der Schnittstellen, (4) der Automatisierungsgrad und (5) der Fremdkonstruktionsanteil. Zeitaufwandstreiber haben einen mit der Projektgröße steigenden Einfluss auf die aus einem Schätzkatalog ermittelte nominale Zeitaufwandschätzung.

### Literatur

[1] Boehm, B.W.: Software cost estimation with COCOMOII; Prentice Hall PTR, 2000

[2] Brooks, F.P.: The Mythical Man Month – Essays on Software Engineering. Addison-Wesley, 1975

[3] Dörner, D.: Die Logik des Misslingens, Taschenbuchausgabe, Rowohlt, München 2003

[4] Ehrenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung, Methoden für Prozessorganisation, Produktentwicklung und Konstruktion. 2. Aufl., Carl Hanser Verlag, München 2003

[5] Pahl, G.; Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.H.: Konstruktionslehre. 6. Aufl. Springer, Berlin 2004

[6] Plewan, H.J.: Agiles Projektmanagement, dpunkt.verlag, 2006

[7] Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen Managen, Wie Unternehmen die wertvollste Ressource nutzen, Gabler, Wiesbaden 1999

[8] Schuh, G. / Schwenk, U.: Produktkomplexität managen – Strategien, Methoden, Tools; Carl Hanser Verlag, 2001

[9] ŠEBO, J.; ŠEBO, D.: Waste management logistics. In: SGEM 2007: Modern management of mine producing, geology and environmental protection : 7 th international scientific conference : Albena, 11–15 June 2007. Sofia: International scientific Conference SGEM, 2007

[10] Steck-Winter, H.: Ein praxis-orientiertes Zeitaufwandsschätzverfahren für die Projektplanung der Entwicklung und Konstruktion kleiner und mittlerer Unternehmen des Anlagenbaus, Dissertation, 2008

[11] Valerdi, R.: The Constructive Systems Engineering Cost Model (COSYS-MO), Dissertation, University of Southern California, 2005