

RESSOURCENGERECHTE PRODUKTENTWICKLUNGS- PROZESSMODELLIERUNG UND OPTIMIERUNG MIT GENETISCHEN ALGORITHMEN

Tibor Bercsey, István Groma, Tamás Rick

Zusammenfassung

Im 21. Jahrhundert können wegen der immer steigenden und wechselnden Kundenwünsche nur solche Firmen wettbewerbsfähig bleiben, die am schnellsten die Kundenanforderungen befriedigen können. Die dazu notwendige Basis ist eine grobe Produktstruktur aus der Konzeptphase mit vorgesehenen Kosten, Zeiten und Termine. Zur Produktstrukturbeschreibung wird die Design Structure Matrix (DSM) verwendet, wobei die Reihenfolgeoptimierung erfolgt mit Hilfe genetischen Algorithmen. In unserem Beitrag würde das effizient die zwei Selektionsverfahren („Better Half“ und „Tournament“ Selektion) beim verschiedenen Mutations- und Rekombinations- Wahrscheinlichkeiten untersucht. Für Rekombination wurde eine Position basiertes und für Mutation einer Reihenfolge basiertes verfahren angewendet.

Im weitere die optimierte Reihenfolge lassen sich im MPM Netzplan umwandeln. Bei diesem netzplan sind aber die Aktivitäten nicht fest gebunden, sondern besteht die Möglichkeit diese in der Zeit zu verschieben. Damit die Aktivitäten die nicht am kritischen Weg sind kann man so verschieben das die begrenzten Ressourcen am besten ausgenutzt werden können. Zu dieser Aufgabe wurde ein intelligenter lernfähiger Algorithmus entwickelt.

Diese Forschungsarbeit wurde in Rahmen der T032474 OTKA durchgeführt.

1 Einleitung

Der technische Fortschritt hat des Lebenszyklus des Produktes und Systems reduziert und die Globalisierung der Handelsmarkt führte zu komplexe und unsichere Geschäftsbedingungen. Wettbewerbsfähig zu bleiben müssen viele Unternehmen als ein integrierter Teil ein verteilte Unternehmen zusammenarbeiten, welche zusammenfasst verschiedene Partnerunternehmen, die fördern eine effektive Handelsgemeinschaft für ihre Lieferanten und Kunden. Es ergibt, dass zu behandelnde strategische, taktische und operative Aktivitäten die zwischen und über Unternehmen sind gemeinsam definiert und koordiniert werden müssen.

Für die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeiten kommt deshalb dem Produktentwicklungsprozess als dem Prozess, in dessen Rahmen über Produkteigenschaften und Entwicklungszeiten entschieden wird, eine besondere Bedeutung zu. Der Prozess kennzeichnet das eigentliche Vorgehen im Projekt zur Herstellung des Produkts; er beschreibt also den Planungs- und Realisierungsablauf. Im Prozess werden die für die Zielerreichung notwendigen Aktivitäten — gemeinhin als Arbeitspakete bezeichnet — in definierte Abläufe eingeordnet, wobei die jeweils notwendigen Vorgaben sowie die zu erreichenden Ergebnisse bindend festgelegt sind.

Das Endergebnis eines Entwicklungsprozesses ist ein Produkt. Der soll den Aufbau des Prozesses bestimmen, deswegen soll als Basis für Prozessplanung der Produktstruktur, bzw. Produktelementen Struktur dienen [2].

2 Modellierung und Optimierungssystem

Die Aufgabe des System ist Produktentwicklungsprozesse zu planen berücksichtigend der Struktur der Entwickelnde Produkt und die dazu benötigte Ressourcen, Zeiten und Kosten. Das System versucht optimale Lösung zu Finden auf den folgenden Fragen:

1. Welche ist die kürzeste Weg ein bestimmtes Produkt(struktur) mit begrenzten Ressourcen zu konstruieren, bzw. wie sollen die Aktivitäten in eine Zeitspanne **angeordnet** oder **aufsplittert** werden möglichst kurze Entwicklungszeit zu erreichen?

Randbedingungen:

- Ressourcen
- Zeit und Kosten

Hier wird ein Optima (Zeit, Kosten) nahe aber die Ressourcen gut ausnutzende Lösung gefunden.

2. Welche und wie sollen die Ressourcen zur Verfügung stehen ein bestimmtes Produkt(struktur) unter einer gegebenen Zeitspanne und Budget zu Konstruieren?

Randbedingungen:

- Ressourcen (unendlich)
- Zeit und Kosten

Bei diesem Aufgabe wird ein Ressourcenprofil gesucht mit minimierte Zeit und Kosten.

2.1 DSM

Diese Fragen zu beantworten im ersten Schritt muss ein Integriertes Modellierungsmethode gewählt werden. Für Beschreibung die Strukturelementen und deren Zusammenhänge ist die Design Structure Matrix eine Innovative Werkzeug. Grosse vorteile sind der DSM, dass es möglich mehrere Informationen für weitere Arbeiten (z.B.: Finanzierungsplanung, Terminplanung, Ressourcenplanung, EDM/PDM Systemen) ableiten.

Stewart [6] war der erste, der zur Erfassung der Ablauforganisationen und Informationsflüsse DSM benutzte. Später hat dazu Rogers [5] ein auf genetischen Algorithmen basierendes Optimierungssystem entwickelt, um Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse zu optimieren. Die DSM Methode basiert auf der Annahme, dass in Entwicklung und Konstruktion größere Rationalisierungspotentiale im Zusammenspiel und der Reihenfolge der Engineering-Tätigkeiten (Entwicklung eine Teil der Produktes) in einer effizienteren Durchführung einzelner Konstruktions-(teil) aufgaben liegen.

Die für die Entwicklung und Konstruktion typischen iterativen Arbeitsläufe mit ihren Rückkopplungen und Optimierungsschleifen werden dafür zunächst in einer angedeuteten Informationsflussmatrix abgebildet, deren Zeilen- und Spaltenköpfe die Produktstruktur Elementen in ihrer gegenwärtigen Ablauffolge darstellen. Die Entwicklung von Strukturelementen benötigt Input-Informationen von den in der jeweiligen Zeile mit einem „1“ markierten Funktionen und leitet in gleicher Weise Output-Informationen an anderen Strukturelementen weiter. In der Matrix, die Elementen die über den Diagonal sind, sind Vorwärtskopplungen, z.B.: von Strukturelement (SE.) 1. wird Information zum SE. 2. und 6.

weitergeleitet. Unter der Diagonale sind Rückkopplungen oder Zyklen, aber dieseangaben sind nur für die Reihenfolge der Strukturelemente.

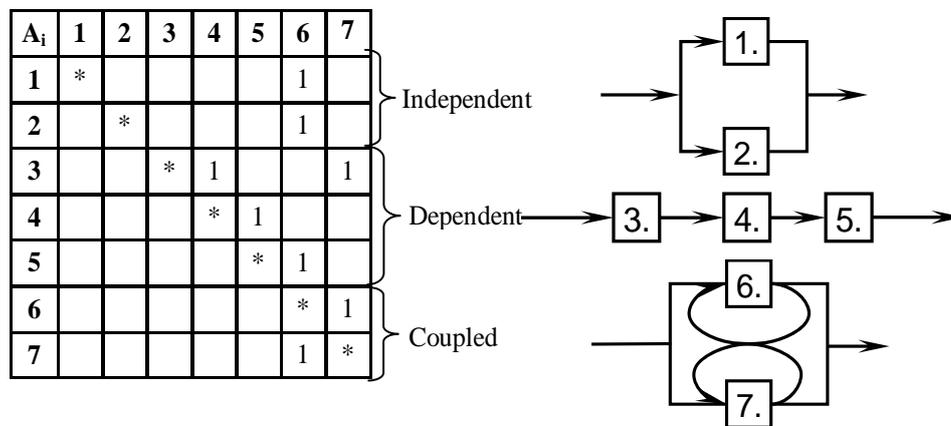


Bild 1: DSM

Diese Matrixbeschreibung ermöglicht einer übersichtlichen und anwenderfreundlichen Repräsentation einen Graph. Weitere Vorteil diese Repräsentation ist, dass es einfach und eindeutig in einem Netzplan oder Blockdiagramm konvertierbar, Bild1 und 2.

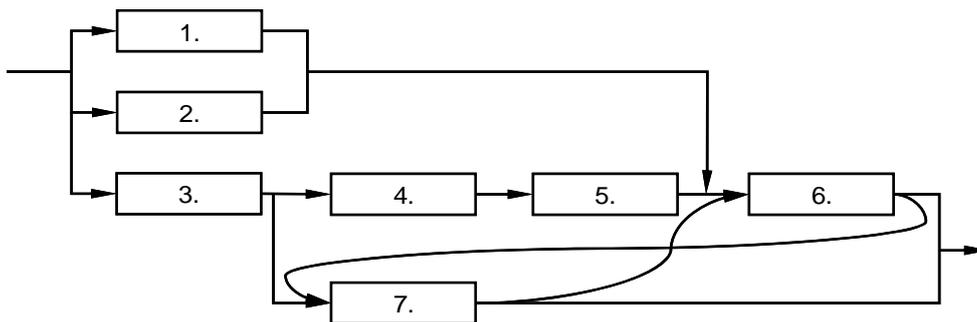


Bild 2: Blockdiagramm entsprechend zum Bild 1.

Im günstigen Fall können durch Vertauschen von Reihenfolgepositionen Iterationen vermeiden oder verkürzt werden. Für diese Aufgabe wird ein genetischer Algorithmus implementiert. In der Integrierten Matrix können zu den einzelnen Tätigkeiten weitere Informationen angegeben werden: Konstruktionstyp, Kosten, Zeit, „Learning Rate“, erforderliche Ressourcen (detailliert nach Organisation oder Abteilung).

2.1.1 Genetische Algorithmen

Genetische Algorithmen (GA) sind eine mathematische Methode, deren Grundidee mit der Evolutionstheorie aus der Natur stammt. Es geht darum, Lösungen zu Problemen zu finden, die nicht einfach so berechnet werden können, sondern durch Ausprobieren gesucht werden müssen [3], [4].

Rekombination und Mutation

In unserem Beitrag würde das effizient die zwei Selektionsverfahren („Better Half“ [1] und „Tournament“ [8] Selektion) beim verschiedenen Mutations- und Rekombinations-

Wahrscheinlichkeiten untersucht. Für Rekombination wurde eine Position basiertes [7] und für Mutation einer Reihenfolge [7] basiertes verfahren angewendet.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Effektivität das "Better Half" Selektion ist viel mehr schlechter als das "Tournament" Selektion beim Groß –dimensionale Matrizen. Beim Groß –dimensionale Matrizen die Suche ist effizienter wenn das Mutations-/Rekombinatio-Wahrscheinlichkeitsrate auf 0,4/0,6 gestellt wird.

Auswertung

Als Auswertung (Fitnesswertbestimmung) wird die Prozessdurchlaufzeit mit Zyklen berechnet. Zum Realität zu nähern wird eine Learning Rate eingeführt. Dass heißt dass beim Wiederbearbeitung ein schon bearbeitete Element wird in der Zeit kürzer dauern, so die Kosten sind auch weniger.

Allgemeine Definition des Zielfunktion (1):

$$f(\underline{wt}, \underline{wi}, \underline{tt}, \underline{ct}_{\langle s \rangle}, TI) := [\underline{wt}_1 \quad \dots \quad \underline{wt}_n] \times \begin{bmatrix} \frac{1-tt_1^{ct_1}}{1-tt_1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{1-tt_n^{ct_n}}{1-tt_n} \end{bmatrix} \times \begin{matrix} TI \\ \begin{bmatrix} t_1.i_1 & \dots & t_1.i_m \\ \vdots & & \vdots \\ t_n.i_1 & \dots & t_n.i_m \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{bmatrix} wi_1 \\ \vdots \\ wi_m \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tabelle 1: Beschreibung der Formel 1.

T	Mannigfaltigkeit die Elemente
$n \in N_1 : T = n$	Menge die Elemente
$m \in N_1$	Menge die Auswertungsindikatoren
$\langle s \rangle$	Eine Reihenfolge die Elemente
$\underline{wt} \in R^n$	Gewichtung für einzelne Elemente
$\underline{wi} \in R^m$	Gewichtung einzelne Indikatoren
$\underline{tt} \in [0,1]^n$	Learning Rate für einzelne Elemente
$\underline{ct}_{\langle s \rangle} \in N_0^n$	„wievielmals soll ein Element bearbeitet werden“
$TI \in R^{n \times m}$	Indikatorwertmatrix zu den Elementen.

Zielfunktion bei der Berechnung (2):

$$f(\underline{ct}_{\langle s \rangle}) = \underline{l}^T \times (I - \begin{bmatrix} tt_1^{ct_1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & tt_n^{ct_n} \end{bmatrix}) \times \underline{r} \quad (2)$$

Tabelle 2: Beschreibung der Formel 2.

$\underline{l}, \underline{r} \in R^n$	Hilfsvektor bei der Zielfunktionsberechnung.
$I \in R^{n \times n}$	unitäre Matrix.

Aufgabeformulierung (3):

$$\langle s_0 \rangle \in Perm(T): f(\underline{ct}_{\langle s_0 \rangle}) \approx \min_{\langle s \rangle} f(\underline{ct}_{\langle s \rangle}) \quad (3)$$

$$|Perm(T)| = n!$$

Also, bei der Optimierung wurde eine Reihenfolge die Elemente gesucht, wobei der gesamt Mannstunde und die Gesamtkosten minimal sind Bild 3. Die hier erworbene Zeit kann noch nicht zeigen wie lange das entsprechende Projekt dauern will.

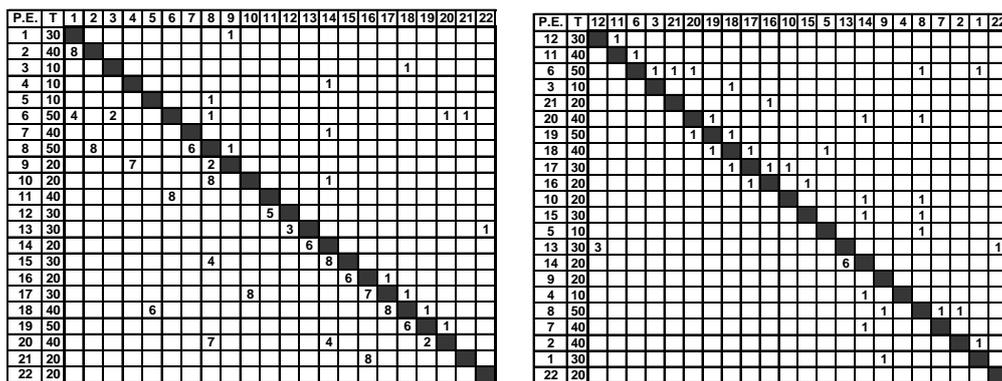


Bild 3: Ausgang und optimierte DSM [9]

2.2 Ressourcenplanung

Die Optimierte Reihenfolge wie am Bild 1. und 2. gezeigt ist, lassen sich in einem Blockdiagramm auflösen. Dies Diagramm bildet die Basis zu einer sequenzarmen MPM Netzplan. Bild 4. Dieser erstellte Netzplan ist noch nicht Kalenderiert, und keine Ressourcen sind zugewiesen.

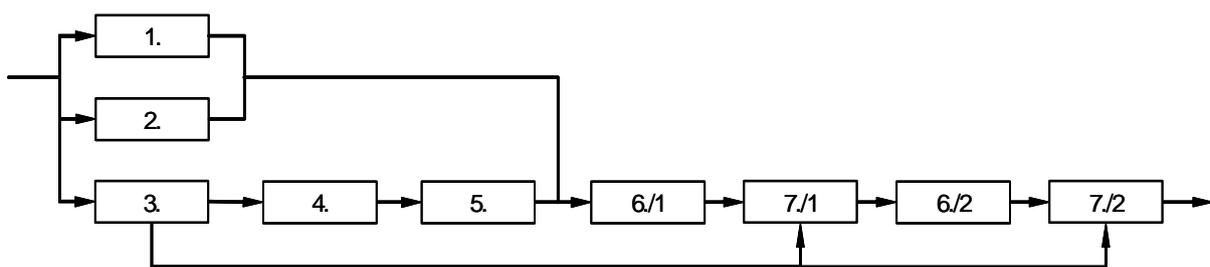


Bild 4: Sequenzarme Netzplan

Die Ressourcenzuweisung kann verschiedener Strategien folgen, der durch die folgende Parametern gesteuert ist:

- Abtastzeit (globale Parameter)
- Wie stark soll man dem kritischen Weg folgen?
- Welcher Weg dem Graph soll nächstens mit Ressourcen aufgefüllt werden?

- Wie groß darf sein die Wartezeit eine Aufgabe, bzw. wie weit darf eine Aufgabe verschoben werden?
- Mehrere Projekte oder Mehrere Ressourcen sollen laufen? (nur bei Multiprojekt Optimierung)
- Darf ein Aufgabe Aufgesplittert werden?
- Wie klein darf sein ein Teil beim aufgesplitterte Aufgaben?
- Usw.

Da ist es absehbar, dass eine optimale Parametereinstellung ist hängt von der Produktstruktur (so vom DSM) und von den Ressourcen, diese Probleme effizient zu Lösen muss ein intelligentes lernfähiges System eingesetzt werden. Wenn die angegebene Zeit und Kosten überschreiten wird, wird das Berechnung abgebrochen und mit eine neue Parametereinstellung anfangen. Das gesamte System ist am Bild 5. dargestellt.

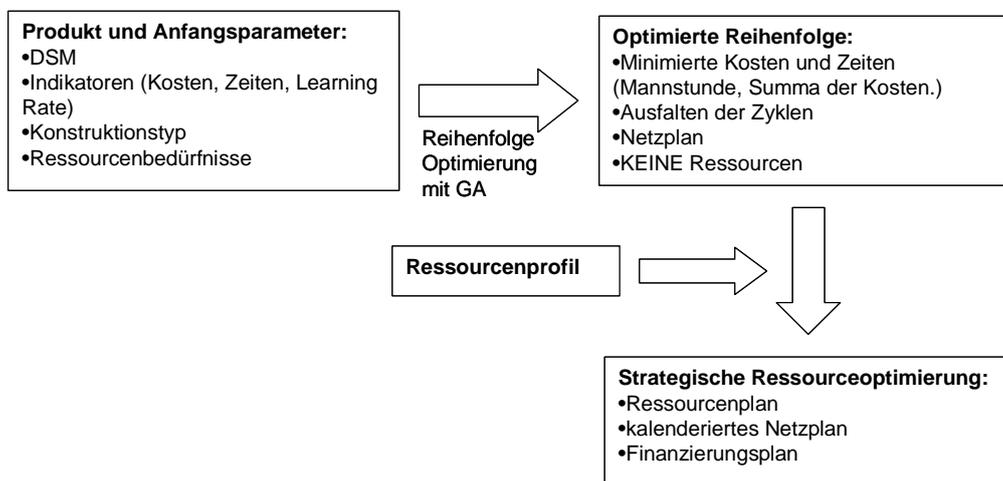


Bild 5: Systemaufbau

Die am Anfang diese Kapitel gestellte Fragen können folgenderweise gelöst werden.

Zur Frage 1.:

Diese Frage zu Lösen braucht man eine genau so angegebene Ressourcenprofil wie es am Anfang zu dem Einzelnen DSM Elemente zugewiesen worden (Zeichner1. – Zeichner 1, FEM Spezialist 1 – FEM Spezialist 1.). Dies kann analytisch und einzeln ereignen. Zu den Ressourcen kann weitere Kosten Parameter angegeben werden wie z.B. Stundenlohn, dies kann die Ressourcenzuweisung und den Kostenplan beeinflussen.

Hier im günstigen Fall der Kritische Weg ist nicht so lang wie die Zeitspanne die vorgegeben wurde. Dementsprechend eine gleichmäßige Ressourcenausnutzung erreichen zu können (bei minimaler Zeitverlängerung und Kostenerhöhung gegenüber den Ursprüngliche), werden die Aufgaben nach der gewählten Strategie in der Zeit verschoben oder aufgesplittert. Abhängig von der Strategie können die Aufgaben nicht vom oben nach unten sondern von links nach recht mit Ressourcen aufgefüllt werden. Wenn die Abtastzeit abgelaufen ist wird die Graph, bzw. Netzplan neu berechnet, wobei kann eine andere Zinke der Graph kritisch werden. Die Berechnung läuft so lange bis die kritische Weg erreicht oder überschreiten worden.

Zur Frage 2.:

Ähnlich wie beim Frage 1. nur die Ressourcen sind unendlich. Hier als Ergebnis wird ein Ressourcenprofil berechnet und der Anwender kann entscheiden ob ihre Firma genügend gut ausgestattet mit Ressourcen, oder wie viele, bzw. welche Ressourcen sind erforderlich den Auftrag zu erfüllen.

Wenn man den gesamten Produktentwicklungsprozess nach VDI 2221 betrachtet, in den ersten zwei Phasen sind meistens serielle Aufgaben und das Ausarbeitungsgrad ist gering. Am Ende der Konzeptionellen Phase ist das Produkt in Hauptgruppen gegliedert, die bis zu dem letzten Teilen auflösbar sind, entsteht eine sehr komplexe DSM.

Die VDI Hauptphasen sind so genannte Superzyklen. In diesen Superzyklen sind mehrere Aufgaben (Konstruieren eine Baugruppe, Teil, usw.) seriell, parallel oder in Zyklus auszuführen, die bilden eine Superzyklus. Wenn ein Superzyklus (z.B.: Superzyklus 3) in einem „Nicht in Ordnung“ Zustand endet, dann muss man den vorigen Superzyklus (z.B.: Superzyklus 2 und dann noch mal den Superzyklus 3) ausführen; gelingt man in einer Hyperzyklus Bild 6.

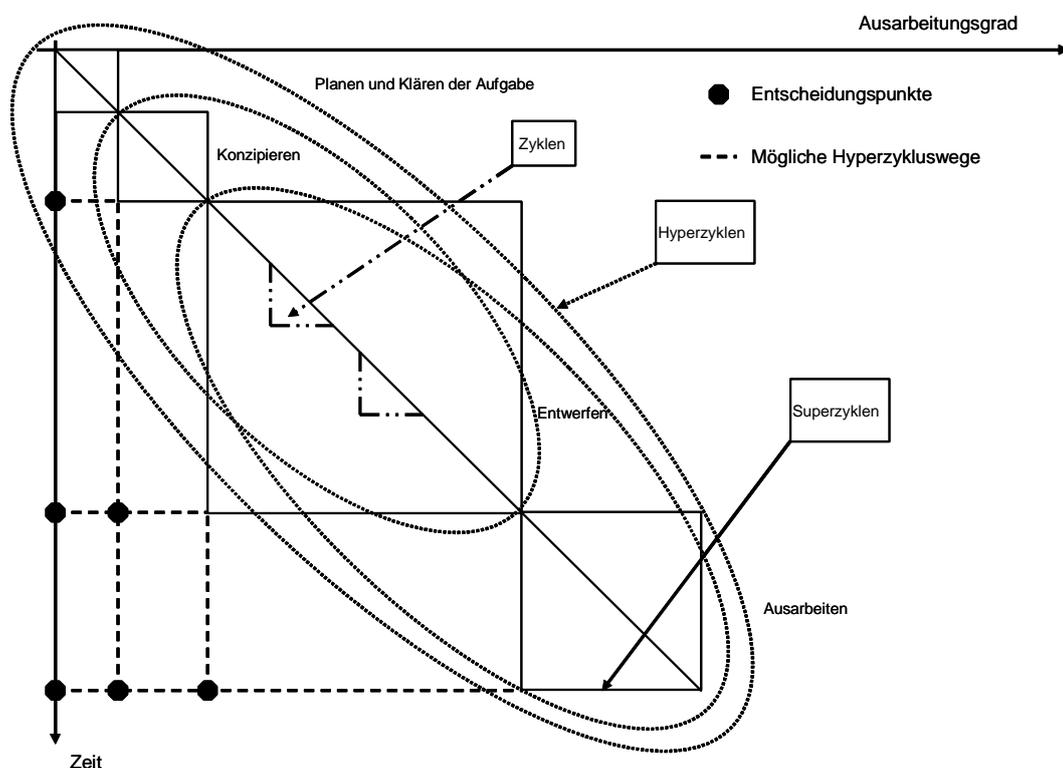


Bild 6: Hyperzyklen in der Konstruktion

Ob das passiert, und wenn es passiert was wird es kosten, und wie lange wird es dauern lassen sich modellieren. In den Entscheidungspunkten einem „Nicht in Ordnung“ Aussage hat eine Wahrscheinlichkeit. Die Punkte die näher zu dem besten Weg sind haben höhere Wahrscheinlichkeitswerte die weiter entfernt sind, aber durch die Erhöhung des Ausarbeitungsgrads wachsen die Wahrscheinlichkeitswerte auch. Mittels dieser Werte lassen sich verschiedene Projektpläne zu erstellen von dem besten Fall bis zu dem schlechtesten.

3 Zusammenfassung

Das entwickelte System ermöglicht eine ganzheitliche Prozessplanung in der Konstruktion. Nach dieser weise geplante Prozesse sind nicht nur nach Kosten, Zeiten und Ressourcen optimiert, sondern ermöglicht früh in der Planungsphase der Kostenplanung, Personal Management, Budgetplanung und Risikomanagement zu unterstützen.

4 Literatur

- [1] Abramson, D., Lewis, A., Peachey, T., Fletcher, C.: An Automatic Design Optimization Tool and its Application to Computational Fluid Dynamics. Proc.,
- [2] Dondald, G., R.: Die neuen Werkzeuge der Produktentwicklung, Carl Hanser Verlag, Wien, 1998
- [3] Holland, J.: Adaptation in natural and artificial systems, MIT Press, Cambridge, Mass 1975
- [4] Rechenberg, I.: Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution, Friedrich Frommann Verlag, Stuttgart 1973
- [5] Rogers, J., L.: DeMAID/GA - An Enhanced Design Manager's Aid for Intelligent Decomposition, 6th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symp. on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Seattle, WA , September 4-6, 1996a. AIAA paper No. 96-4157.
- [6] Steward, D., V.: System Analysis and Management: Structure, Strategy and Design, Petrocelli Books Inc. 1981.
- [7] Syswerda, G.: Schedule Optimization Using Genetic Algorithms, Handbook of Genetic Algorithms, Van Nostran Reinhold, New York, 1990.
- [8] Back, T.: Generalized Convergence Models for Tournament- and Selection, In Larry J. Eshelman, editor, Proc. Sixth Int. Conf. on Genetic Algorithms, 2-8. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1995.
- [9] T., Rick; M., Horvath; T., Bercsey: Produktstrukturbasierte Produktentwicklungs- - Prozessmodellierung und Optimierung, 15. Symposium „Design for X“, Neukirchen, 14-15. Oktober, 2004.

Prof. Dr.-Ing. Tibor Bercsey
Dipl.-Ing. Tamás Rick
Dipl.-Math. István Groma
Lehrstuhl für Maschinenkonstruktionslehre
Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest
Bertalan L. Str. 3 - H-1111 Budapest
Tel: xx36-1-463-1372
Fax: xx36-1-463-3505
Email: bercsey.tibor@gszi.bme.hu
rick.tamas@gszi.bme.hu
groma.istvan@gszi.bme.hu
URL: <http://www.gszi.bme.hu>