Konfiguration auf Basis unsicherer Informationen im Produktentstehungsprozeß

Walter Eversheim, Heinrich Unbescheiden

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre

Lehrstuhl für Produktionssystematik

SFB 361 "Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozeßgestaltung"

der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG),

RWTH Aachen

Abstract: Aufgrund der Globalisierung der Märkte, des schnellen technologischen Wandels sowie veränderter Kundenanforderungen kommt der Produktinnovation eine entscheidende Bedeutung zu. Die Randbedingungen der Produktentstehung sind komplex, dynamisch und unsicher, wodurch die Entwicklung erheblich erschwert wird. Im Rahmen der Produktinnovation nimmt die Konstruktion eine herausragende Stellung ein, da hier Kosten, Qualität und Entwicklungszeit entscheidend bestimmt werden. Für erfolgreiche Produktentwicklungen ist es daher erforderlich, Konstrukteure mit effizienten Hilfsmitteln auszustatten, um die Lösung der Bearbeitungsaufgabe zu erleichtern.

Ein Ansatz ist die Unterstützung von Konstrukteuren mit Konfigurationswerkzeugen, die die Berücksichtigung von Restriktionen und die Sicherung der Konsistenz gefundener Lösungen ermöglichen. Diese Werkzeuge müssen für die speziellen Randbedingungen in der Produktentstehung geeignet sein. Hierfür wurde der Ansatz der Fuzzy Constraint Netzwerke entwickelt. Diese wurden zur Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung genutzt. Es wurde gezeigt, daß durch Konfiguration in den frühen Phasen der Produktinnovation unsichere Informationen handhabbar sowie die Komplexität und Dynamik in Entwicklungsprojekten reduziert werden können. Dadurch entsteht mehr Transparenz in der Produktinnovation.

1. Ausgangssituation

Die heutigen Anforderungen an die Unternehmen sind von der Nachfrage nach individuellen, qualitativ hochwertigen und preisgünstigen Produkten geprägt, die ständig dem Wandel der technologischen Entwicklung angepaßt werden müssen [Saretz, 1993]. Daher nimmt die Produktentwicklung wesentlichen Einfluß auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen.

Entwicklungsprojekte gelten als komplex, unsicher und dynamisch [Clausing, 1994; Eversheim, Laufenberg, 1995; Zanger, Baier, Bierschenk, 1994]. Komplexität kann in die Komplexität von Produkten (z. B. durch Mechatronik), von Prozessen (z. B. durch integrierte Technologien) und von Projektstrukturen (z. B. durch steigenden Parallelisierungsgrad) unterteilt werden. Sie äußert sich im Entstehungsprozeß durch den Aufwand, der zur Einhaltung der Abhängigkeiten und Restriktionen erforderlich ist [Roggatz, 1997].

Unsicherheit ist in der Produktentwicklung durch den erforderlichen hohen Innovationsgrad und durch die weitreichenden Folgen von Entscheidungen in frühen Phasen bedingt. Um innovative Produkte auf den Markt zu bringen, müssen oftmals Lösungsansätze verfolgt werden, über die nur wenige Erfahrungen gesammelt wurden und mit denen Entwickler nicht vertraut sind. Die Entscheidungen über diese Lösungsansätze werden in frühen Phasen gefällt, während die Auswirkungen der Entscheidungen erst in späteren Phasen auftreten. Die Folge sind zahlreiche Änderungen, die zum einen die Kosten der Produktentwicklung in die Höhe treiben, zum anderen die Entwicklungszeit entscheidend verlängern [Roggatz, 1997].

Aufgrund der beschriebenen Probleme in der Produktentwicklung erwächst die Notwendigkeit, effiziente Hilfsmittel zur Bewältigung der Aufgaben zur Verfügung zu stellen. In diesem Beitrag wird die Möglichkeit der Unterstützung von Konstrukteuren mit einem Konfigurationshilfsmittel beschrieben, mit dem Komplexität und Unsicherheit handhabbar werden. Hierdurch wird die Transparenz in Produktentstehungsprozessen erhöht, und zeit- und kostenintensive Änderungen in der Produktentwicklung werden vermieden.

2. Konfiguration in Produktinnovation

Zur optimalen Unterstützung des Entwicklungsprozesses ist ein Einsatz von Konfigurationswerkzeugen in allen Phasen der Produktentstehung sinnvoll. Konfigurationswerkzeuge erleichtern die Berücksichtigung von Wirkzusammenhängen und Restriktionen und ermöglichen zudem die Überprüfung und Bewertung gefundener Lösungen hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen. Im Bereich der Konfiguration existieren zahlreiche Anwendungssysteme (CASS, SELCON, PLAKON, etc.), die allerdings nur für Aufgaben aus dem sogenannten Routine-Konfigurieren geeignet sind [Günter, 1993]. Unter Routine-Konfigurieren werden solche Problemstellungen verstanden, bei denen alle Domänenobjekte, ihre Eigenschaften und ihre kompositionelle Struktur vorgegeben sind und bei denen die Lösungsfindung auf einer bekannten Vorgehensweise basiert [Brown, Chandrasekaran, 1989]. Aufgrund der beschriebenen Probleme in der Produktentwicklung (Komplexität, Unsicherheit, Dynamik) sind solche Systeme für den Einsatz in diesem Anwendungsgebiet nur

wenig geeignet. Daher wurde diese Form der Konfigurierung erweitert und der Ansatz der Fuzzy Constraint Netzwerke entwickelt.

3. Fuzzy Constraint Netzwerke

Fuzzy Constraint Netzwerke sind eine Verbindung von Constraint Netzwerken mit der Fuzzy-Set-Theorie [Young, Giachetti, Ress, 1996]. Dieses Konfigurierungssystem erlaubt die Erweiterung des Routine-Konfigurierens um

- unscharfe, unvollständige und unsichere Zielspezifikationen,
- unscharfe, unvollständige und unsichere Definitionen von Domänenobjekten, Objekteigenschaften und Relationen sowie um
- funktionale Anforderungen [Young, Perrone, Eversheim, Roggatz, 1995].

Zudem kann bei der Verwendung dieses Ansatzes flexibel konfiguriert werden. Definiert werden Fuzzy Constraint Netzwerke wie folgt [Dechter, Pearl, 1988]:

Ein Fuzzy Constraint Netzwerk besteht aus einer Menge von *n* Variablen, $\tilde{X} = \{\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, ..., \tilde{X}_n\}$, und einer Menge von *m* Constraints, C = {C_1, C_2, ... , C_m}. Jede unscharfe Variable $\tilde{X}_i$ gehört zu einem Domain Ω_i. Dieser Domain enthält alle Werte, die für die Variable zugelassen sind. Ein Constraint C_i ist eine Relation zwischen k Variablen einer Untermenge $\tilde{X}$, $\tilde{X}_i' = \{\tilde{X}_{i1}, \tilde{X}_{i2}, ..., \tilde{X}_{ik}\} \subseteq \tilde{X}$. Somit ist ein Constraint (z. B. $C_i(\tilde{X}_{i1}, \tilde{X}_{i2}, ..., \tilde{X}_{ik})$) eine Untermenge des kartesischen Produktes $\Omega_{i1} \times \Omega_{i2} \times ... \times \Omega_{ik}$ [Dechter, Beek, 1995; Mackworth, 1990].

Bei dieser Formulierung wird jeder Constraint zu einem bestimmten Grad $\mu_{Ci} \in [0,1]$ erfüllt. Das Netz gilt als gelöst, wenn $\mu_{Ci} \geq \alpha_S$ wobei α_S der Wahrheitswert ist. Der Anwender bestimmt, ab welchem Wahrheitswert er einen Constraint als ”eingehalten”, bzw. ab welchem Grenzwahrheitswert er Constraints als ”verletzt” betrachtet [Roggatz, 1997].

4. Einsatz von Fuzzy Constraint Netzwerken in der Konstruktion

Aufbauend auf den Arbeiten zur Entwicklung von Fuzzy Constraint Netzwerken wurden im Rahmen des SFB 361 an der RWTH Aachen Vorgehensweisen erarbeitet, um die Netzwerke zur Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung im Konstruktionsprozeß einzusetzen. Hierbei wurden sowohl Ansätze zur Strukturierung der Netzwerke untersucht als auch Möglichkeiten zur Nutzung häufig eingesetzter präventiver Qualitätstechniken

für den Aufbau der Netzwerke geprüft [Eversheim, Roggatz, Young, 1997]. Dabei hat sich die Verbindung der Netzwerke mit Quality Function Deployment (QFD) als besonders geeignet erwiesen. Diese Verbindung ermöglicht sowohl die Unterstützung von Anwendern bei der Formulierung von Constraints als auch die Bewertung der ermittelten Lösung im Hinblick auf die Erfüllung von Kundenanforderungen [Eversheim, Roggatz, Unbescheiden, 1997].

Bei dieser Vorgehensweise müssen mögliche Ausprägungen der in der QFD ermittelten Produktmerkmale bestimmt und fuzzifiziert werden. Im nächsten Schritt werden die Ausprägungen der Produktmerkmale kombiniert und Restriktionen abgebildet, die bei der Kombination der Ausprägungen berücksichtigt werden müssen. Bei der Formulierung der Restriktionen können aus der Korrelationsmatrix der QFD wichtige Hinweise über die Existenz und die Art von Abhängigkeiten entnommen werden.

Aufbauend auf die Abbildung der Merkmalsausprägungen und der Restriktionen können die realisierbaren Lösungen mit dem Konfigurationswerkzeug ermittelt werden. Für die quantitative Bewertung von Merkmalkombinationen muß eingangs für jedes Merkmal (M_i), das über einen Wertebereich variiert werden kann, eine Zielfunktion (Z_i) ausgewählt werden. Diese Zielfunktion gibt die Optimierung eines Merkmals über seiner Basisvariablen an. Der Wertebereich der Zielfunktion bewegt sich auf der Ordinate zwischen null (Ziel nicht erfüllt) und eins (Ziel voll erfüllt). Auf der Abszisse wird die Basisvariable aufgetragen. Hier besteht keine Einschränkung bezüglich des Wertebereichs. Als Zielfunktion eignet sich prinzipiell jede mathematische Funktion, deren Wertebereich zwischen ‘0’ und ‘1’ liegt. Stetigkeit und Differenzierbarkeit sind nicht zwingend notwendig. Im Anschluß an die Definition der Zielfunktion wird der Erfüllungsgrad (E_{ij}) der Zielfunktion durch die möglichen Ausprägungen (M_{ij}) des Produktmerkmals (M_i) ermittelt. Hierfür können verschiedene Fuzzy-Operatoren verwendet werden, für eine optimistische Abschätzung ist der Possibility-Operator besonders geeignet. Mit Hilfe des Possibility-Operators wird das Maximum der Schnittmenge zwischen einer Ausprägung und der Zielfunktion bestimmt. Dadurch erhält man eine Abschätzung des Erfüllungsgrads der Zielfunktion durch eine Ausprägung. Der Erfüllungsgrad der Zielfunktion durch die Ausprägung j des Merkmals i ergibt sich dadurch zu: $E_{ij} = Poss(Z_i \mid M_{ij})$. Der Erfüllungsgrad von zweiwertigen Merkmalen ist entweder ‘0’ (Merkmal nicht vorhanden) oder ‘1’ (Merkmal vorhanden). Durch Multiplikation des Erfüllungsgrads der Zielfunktion mit der in dem QFD ermittelten Bedeutung eines Merkmals bezüglich der Erfüllung aller Kundenanforderungen (B_i) erhält man die Wertigkeit der Ausprägung

im Hinblick auf die Kundenanforderungen: $W_i = E_i * B_i$. Die Gesamtwertigkeit einer Kombinationsmöglichkeit von Ausprägungen im Hinblick auf die Erfüllung aller Kundenanforderungen erhält man durch Summenbildung der Wertigkeiten der Ausprägungen aller Produktmerkmale: $W_{ges} = \sum_{i=1}^{n} (E_{ij} * B_i)$

bzw. $W_{ges} = \sum_{i=1}^{n} (Poss(Z_i \left| M_{ij} \right.) * B_i)$.

Zur Überprüfung der Konsistenz gefundener Lösungen können die Abhängigkeiten zwischen Aktivitäten modelliert werden. Durch Zuweisung von Werten zu den einzelnen Variablen des Fuzzy Constraint Netzwerks werden die Abhängigkeiten ermittelt, die bei der angestrebten Lösung nicht eingehalten werden können. Diese Überprüfung ist vor allem bei parallelen Aktivitäten in der Produktentwicklung sinnvoll [Eversheim, Roggatz, Young, 1997].

4. Beispiel zur Ermittlung und Bewertung von Merkmalsausprägungen

Die beschriebene Vorgehensweise zum Einsatz von Fuzzy Constraint Netzwerken in der Konstruktion wird im folgenden am Beispiel der Entwicklung eines Mobiltelefons verdeutlicht. In dieser Beispielanwendung werden die Constraint Netzwerke zur Definition des Produktentwicklungsprojektes herangezogen.

	sehr klein	klein	mittel	groß	sehr groß
Länge [mm]	[<110,110,125]	[110,125,140]	[125,140,155]	[140,155,170]	[155,170,>170]
Akku-Kapazität [mAh]	[<300,300,450]	[300,450,600]	[450,600,750]	[600,750,900]	[750,900,>900]

Tabelle 1: Unscharfe Ausprägungen von Länge und Akku-Kapazität eines Mobiltelefons

Wesentliche Kundenanforderungen an ein mobiles Telefon sind unter anderem die äußeren Abmessungen und die maximale Gesprächszeit. Unscharfe Ausprägungen der genannten Merkmale zeigt Tabelle 1. Aufbauend auf der Bestimmung der möglichen Ausprägungen der Produktmerkmale können deren Kombinationsmöglichkeiten zusammengestellt werden. Bei j Produktmerkmalen mit je n unterschiedlichen Ausprägungen ergeben sich j^n mögliche Zusammenstellungen. Diese können mit einem Fuzzy Constraint Netzwerk abgebildet werden. Um die technisch realisierbaren Kombinationen zu ermitteln ist es erforderlich, zusätzliche Constraints zu formulieren, die die Abhängigkeiten zwischen den Merkmalsausprägungen repräsentieren. Beispiele für solche Constraints sind, daß zur Realisierung einer Akkumulatorkapazität von über 550 mAh die Länge des Handys größer als 150 mm sein muß, bzw. daß für eine Akkumulatorkapazität

von über 700 mAh die Länge des Mobiltelefons mindestens 160 mm betragen muß. Die Anwendung derartiger Constraints auf das ursprüngliche Netzwerk liefert die technisch realisierbaren Kombinationen von Merkmalsausprägungen.

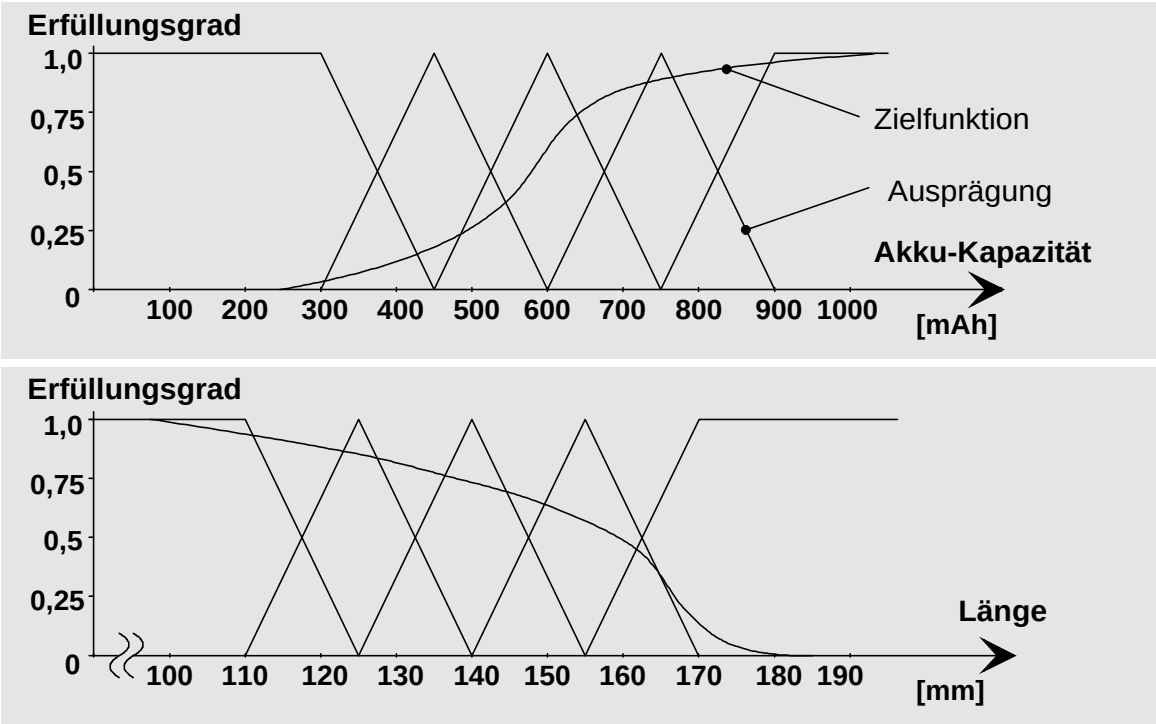

Bild 1: Zielfunktionen

Zur unscharfen Bewertung der Kombinationen müssen Zielfunktionen für die Produktmerkmale definiert werden. Zielfunktionen für Akkumulatorkapazität und Länge eines Mobiltelefons zeigt Bild 1. Im nächsten Schritt wir die Erfüllung der Zielfunktion durch die einzelnen Ausprägungen ermittelt. Zur Bestimmung dieses Erfüllungsgrads wird in diesem Beispiel der Fuzzy-Operator Possibility verwendet. Eine Akkumulatorkapazität zwischen 600 und 900 mAh ergibt somit einen Erfüllungsgrad der Zielfunktion von 0,8. Wurde in der QFD eine relative Bedeutung dieses Produktmerkmals von 117 ermittelt, ergibt sich die Wertigkeit der Ausprägung zu 0,8*117=93,6. Die Summe der Wertigkeiten aller Ausprägungen einer Kombinationsmöglichkeiten liefert die Gesamtwertigkeit. Zur besseren Übersichtlichkeit kann diese normiert werden. Tabelle 2 zeigt einen Auszug aus der Bewertung der Kombinationsmöglichkeiten von Länge und Akkumulatorkapazität des Mobiltelefons. Aus dieser Bewertung ist ersichtlich, daß ein Mobiltelefon mit einer Akkumulatorkapazität zwischen 800 und 900 mAh und einer Länger von über 155 mm die Kundenanforderungen am besten erfüllt und somit den größten Kundennutzen aufweist.

	Akku-Kapazität	Länge	Absolute Wertung	Relative Wertung
Handy 1	klein	klein	70,2	5,3
Handy 2	mittel	mittel	114,75	8,6
Handy 3	mittel	groß	111,15	8,3
Handy 4	groß	sehr groß	127,35	9,5

Tabelle 2: Auszug aus der Bewertung der Kombinationsmöglichkeiten

6. Nutzen des Einsatzes von Fuzzy Constraint Netzwerken bei der Projektdefinition

In der Vergangenheit konnte gezeigt werden, daß sich Fuzzy Constraint Netzwerke gut für den Einsatz in der Produktentstehung eignen. Am Beispiel der Entwicklung eines Mobiltelefons wurden frühe Phasen der Produktentstehung durchlaufen, wobei Markt- und Produktionsanforderungen sowie Zeit-, Kosten- und Qualitätsrestriktionen abgebildet wurden. Hierdurch konnte die Konsistenz gefundener Lösungen überprüft und somit die Dynamik in Produktentstehungsprozessen reduziert werden [Eversheim, Roggatz, Young, 1997; Giachetti, Young, Roggatz, Evershiem, Perrone, 1997]. In diesem Beitrag wird beschrieben, wie mit Hilfe der Netzwerke ebenfalls eine Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Kundennutzens vorgenommen werden kann. Diese Bewertung der Ergebnisse erleichtert die Ermittlung der marktgerechtesten Lösungsalternative.

Insgesamt kann gesagt werden, daß durch unscharfe Konfiguration mit Hilfe von Fuzzy Constraint Netzwerken die Klärung und Lösung der Konstruktions- bzw. Entwicklungsaufgabe erheblich erleichtert wird.

7. Literatur

Brown, D.C.; Chandrasekaran, B., 1989: Design Problem Solving, Pitman.

Clausing, D., 1994: Total Quality Development, A Step-By-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering, ASME Press - New York.

Dechter, R.; Beek, P. van, 1995: Local and Global Relation Consistency, Principals and Practise of Constraint Programming, Proceedings of the 1st International Conference on Constraint Programming, Cassis, Frankreich, Springer Verlag.

Dechter,R.; Pearl, J., 1988: Network-Based Heuristics for Constraint Satisfaction Problems, Artificial Intelligence, vol.34, S. 1-38.

Eversheim, W.; Laufenberg, L., 1995: Markterfolg ist planbar!, Integrierte Gestaltung von Simultaneous Engineering-Projekten, VDI-Z 1/2.

Eversheim, W.; Roggatz, A.; Unbescheiden, H., 1997: The Use of Uncertain Information for Premature and Customer-Oriented Assessment of Product Parameters, Proceedings of the IDEA, Aachen, S. 7-11.

Eversheim, W.; Roggatz, A.; Young, R. E., 1997: Ability of Fuzzy Constraint Networks to Reduce the Dynamic of Changes in Product Development, Reusch, B. (Hrsg.), Computational Intelligence - Theory and Applications, Springer Verlag, Berlin, S. 122-140.

Giachetti, R.; Young, R. E.; Roggatz, A.; Eversheim, W.; Perrone, G., 1996: A Methodology for the Reduction of Imprecision in the Engineering Design Process, erscheint in: European Journal of Operations Research.

Günter, A., 1993: Überblick über PROKON-Ziele und –Aktivitäten, Tagungsband zum Statusseminar KI des BMFT‘s, DLR, Berlin.

Machworth, A. K., 1990: Constraint Satisfaction; in: Encyclopedia of Aritficial Intelligence, John Wiley & Sons, Chichester, S.205-211.

Roggatz, A., 1997: Entscheidungsunterstützung für die frühen Phasen der integrierten Produkt- und Prozeßgestaltung, Dissertation an der RWTH Aachen.

Saretz, B., 1993: Entwicklung einer Methodik zur Parallelisierung von Planungsabläufen, Dissertation an der RWTH Aachen.

Young, R.; Giachetti, R.; Ress, D., A., 1996: A Fuzzy Constraint Satisfaction System for Design and Manufacturing, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, New Orleans, S.: 8-10.

Young, R.; Perrone, G.; Eversheim, W.; Roggatz, A., 1995: Fuzzy Constraint Satisfaction for Simultaneous Engineering, Production Engineering Vol. II/2, S.: 181-184.

Zanger, C.; Baier, G. 1994: Computereinsatz zur Entscheidungsunterstützung für Führungskräfte, Management und Computer, Jg. 2, Heft 3, S.: 203-209.