

GENERIERUNG VON PRODUKTANFORDERUNGEN AUS STÖRFUNKTIONEN

Hans Grabowski, Ralf-Stefan Lossack, Christine Bruch

Kurzfassung

Im Verlauf des Konstruktionsprozesses wird die Realisierung der Nutzfunktionen eines zu konstruierenden technischen Produktes durch eine geeignete Auswahl von Prinziplösungen erreicht. Prinziplösungen erfüllen im Allgemeinen zusätzlich zu den Nutzfunktionen noch weitere Funktionen, die sich, in Abhängigkeit von der Verwendung der Prinziplösungen, negativ auf das Produkt selbst und/oder dessen Umgebung auswirken können. Solche Funktionen werden im Kontext dieses Artikels *Störfunktionen* genannt. Wenn es möglich wäre, solche immanente Störfunktionen systematisch und methodisch in Prinziplösungen zu erkennen und ihre Auswirkungen abzuschätzen, könnten daraus produktentwicklungsrelevante Neuanforderungen abgeleitet werden, mit deren Hilfe potentielle Konstruktionsfehler frühzeitig, noch während der Konzipierungsphase, unter geringem Zeit- und Kostenaufwand, „wegkonstruiert“ werden. Ziel dieses Beitrags ist die Vorstellung eines Konzeptes zur methodischen, wissensbasierten Generierung von Neuanforderungen aus nicht vernachlässigbaren, in Prinziplösungen implizit oder explizit enthaltenen Störfunktionen. Im ersten Kapitel wird in die Problematik eingeführt und die Zielsetzung des vorliegenden Beitrags formuliert. Im zweiten Kapitel wird die Lösungsidee mit den zugrundeliegenden Annahmen und Definitionen erläutert. Außerdem wird eine mögliche Systemarchitektur eines auf der Lösungsidee basierenden, wissensbasierten Assistenzsystems zur interdisziplinären Produktentwicklung, mit dessen Hilfe Neuanforderungen aus Störfunktionen automatisiert generiert werden könnten, kurz vorgestellt. Im letzten Kapitel wird der Nutzen des vorgestellten Lösungsansatzes dargestellt.

1 Einleitung und Zielsetzung

Vom Markt werden heute kostengünstige Produkte mit hoher Qualität und kurzer Entwicklungszeit gefordert. Aus der betrieblichen Praxis stammt—ist jedoch nicht in einer Norm festgelegt—der Begriff *Produktqualität*. Darunter wird die Eignung eines Produktes für seinen Verwendungszweck verstanden. Dies beinhaltet neben der geforderten Funktionserfüllung die Einhaltung der Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Gebrauchs- und Ergonomieeigenschaften, Recycling und Entsorgung sowie Herstellungs- und Nutzungskosten. Das Erreichen einer marktfähigen Produktqualität, d.h. die Qualitätssicherung und -verbesserung, wird in der Konstruktion entscheidend beeinflusst [1]. Will man die Produktentwicklungszeit verkürzen, so muss man mit weniger, bzw. mit kürzeren Iterationszyklen und mit weniger physischen Prototypen auskommen. Weiterhin ist es unbedingt notwendig, gerade in den frühen Phasen der Konstruktion, Schwachstellen und Fehler zu entdecken und zu beseitigen, da ihre Beseitigung dann am kostengünstigsten ist. 80 % aller Produktfehler entstehen durch unzureichende Planung und Konstruktion, werden jedoch zu 70 % spät, in der Produktherstellung oder in der Produktnutzung erkannt [2]. 60 % aller Produktausfälle während der Produktnutzung sind auf fehlerhafte oder unreife Entwicklungen zurückzuführen [1]. Entsprechend der *rule of ten* und unter der Annahme, dass beispielsweise die Beseitigung eines Konstruktionsfehlers in der Konzeptphase 1 EUR kostet, wird die Beseitigung desselben Fehlers in der Arbeitsvorbereitung 10 EUR, in der Produktherstellung 100 EUR und während der Produktnutzung sogar 1000 EUR kosten [2, Seite 130].

Konstruktionsfehler können unterschiedliche Ursachen haben. Die meisten Konstruktionsfehler werden beim Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung erzeugt. Diese Fehler habe

ihre Ursache in einer ungenügenden Aufgabenanalyse bzw. Ziel- und Anforderungsformulierung. An zweiter bzw. dritter Stelle bzgl. der Konstruktionsfehlerverursachung sind Lösungssuche und –auswahl zu nennen. Fehler während der Lösungssuche werden hauptsächlich durch Verharren im Bekannten verursacht. Während der Lösungsauswahl führen hauptsächlich eine mangelhafte Analyse der Lösungseigenschaften, falsche oder falsch gewichtete Kriterien zur Lösungsbewertung sowie eine ungeprüfte Übertragung von Vorurteilen zu Fehlern.

Daher ist eine ganzheitliche vorausschauende Produktentwicklung, die Anforderungen aus allen Produktlebensphasen berücksichtigt, die wirksamste Methode zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Konstruktionsfehlern.

Eine Qualitätssicherung bzw. -verbesserung in der Konstruktion wird zunächst schon durch eine methodische Vorgehensweise hinsichtlich Arbeitsablauf, Lösungs- und Gestaltungsmethoden sowie Bewertungs- und Auswahlmethoden unterstützt. So dienen neben den Gestaltungsmethoden eine Reihe methodischer Arbeitsmittel zur Qualitätssicherung in der Konstruktion. Mit Hilfe des Arbeitsmittels *Anforderungsliste* sollen keine produktentwicklungsrelevanten Anforderungen vergessen werden. Zur Grobauswahl von Lösungsvarianten haben sich *Auswahllisten* bewährt. Die *Nutzwertanalyse* wird zur detaillierten Bewertung und zum Erkennen von Schwachstellen eingesetzt. Die *Fehlerbaumanalyse* wird zum Abschätzen von Störgrößen- und Fehlerauswirkungen eingesetzt [3]. Mit Hilfe der *Failure-Mode-and-Effect-Analysis-(FMEA)-Methode* können potentielle Konstruktionsfehler und damit verbundene Risiken analysiert und noch umfassender als mit der Fehlerbaumanalyse abgeschätzt werden. Als weitere Methode zur Umsetzung von Kundenanforderungen in beschreibbare und quantifizierbare Anforderungen für die einzelnen Unternehmensbereiche hat sich das *Quality Function Deployment (QFD)* etabliert. Mit Hilfe der (rechnerunterstützten) *Toleranzanalyse und –synthese* kann der Konstrukteur bei komplexen Produktstrukturen kosten- und qualitätsgünstige Toleranzen festlegen. (Rechnerunterstützte) *Zuverlässigkeitsanalysen* dienen zur Abschätzung der Lebensdauer bzw. der Ausfallwahrscheinlichkeit von Maschinenkomponenten, Maschinen und Anlagen. Rechnerbasierte *Optimierungsverfahren*, mit denen komplexe, technische Systeme bei Berücksichtigung von Restriktionen optimiert werden können, sind ein weiteres wichtiges Arbeitsmittel zur Konstruktion einer umfassenden Produktqualität. Zur *Strukturanalyse* hinsichtlich auftretender Spannungen und Verformungen bei mechanischen und thermischen Belastungen hat sich die Finite Elemente Methode bewährt. Auch alle analytischen Nachberechnungs- und Auslegungsverfahren dienen der Sicherstellung von Qualitätsmerkmalen. Trotz der Vielfalt der Möglichkeiten der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung der Qualitätsverantwortung des Konstrukteurs wird heute in Unternehmen zusätzlich ein Qualitätsmanagement eingeführt, das mit den Strategien Total Quality Management (TQM) oder Total Quality Control (TQC) eine Qualitätsphilosophie ausdrückt, die alle am Produktentstehungsprozess Beteiligten zu einem durchgängigen und ganzheitlichen Quality-Engineering einbindet.

Die wichtigste Voraussetzung zum Vermeiden von Konstruktionsfehlern oder zumindest zum Abschwächen von deren Auswirkungen ist das Erkennen und Abschätzen potentieller Konstruktionsfehler zu einem möglichst frühen Zeitpunkt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist keine Methode bekannt, mit deren Hilfe ein systematisches, rechnerunterstütztes Erkennen und Abschätzen von in Prinziplösungen implizit oder explizit enthaltenen Störfunktionen möglich ist. Alle vorgestellten Methoden zur Qualitätssicherung kommen erst zum Einsatz, wenn bereits Gestaltinformationen einer Konstruktionsaufgabe bekannt sind.

Ziel dieses Beitrags ist, ein Konzept zur systematischen Generierung von Neuanforderungen aus in Prinziplösungen enthaltenen Störfunktionen vorzustellen. Der Lösungsansatz ist so konzipiert, dass darauf aufbauend ein Assistenzsystem zur interdisziplinären Produktentwicklung implementiert werden kann.

2 Lösungsansatz

2.1 Lösungsidee

In Bild 1 ist der Lösungsidee zur Generierung von Neuanforderungen aus Störfunktionen, die in Prinziplösungen explizit oder implizit enthalten sind, schematisch dargestellt.

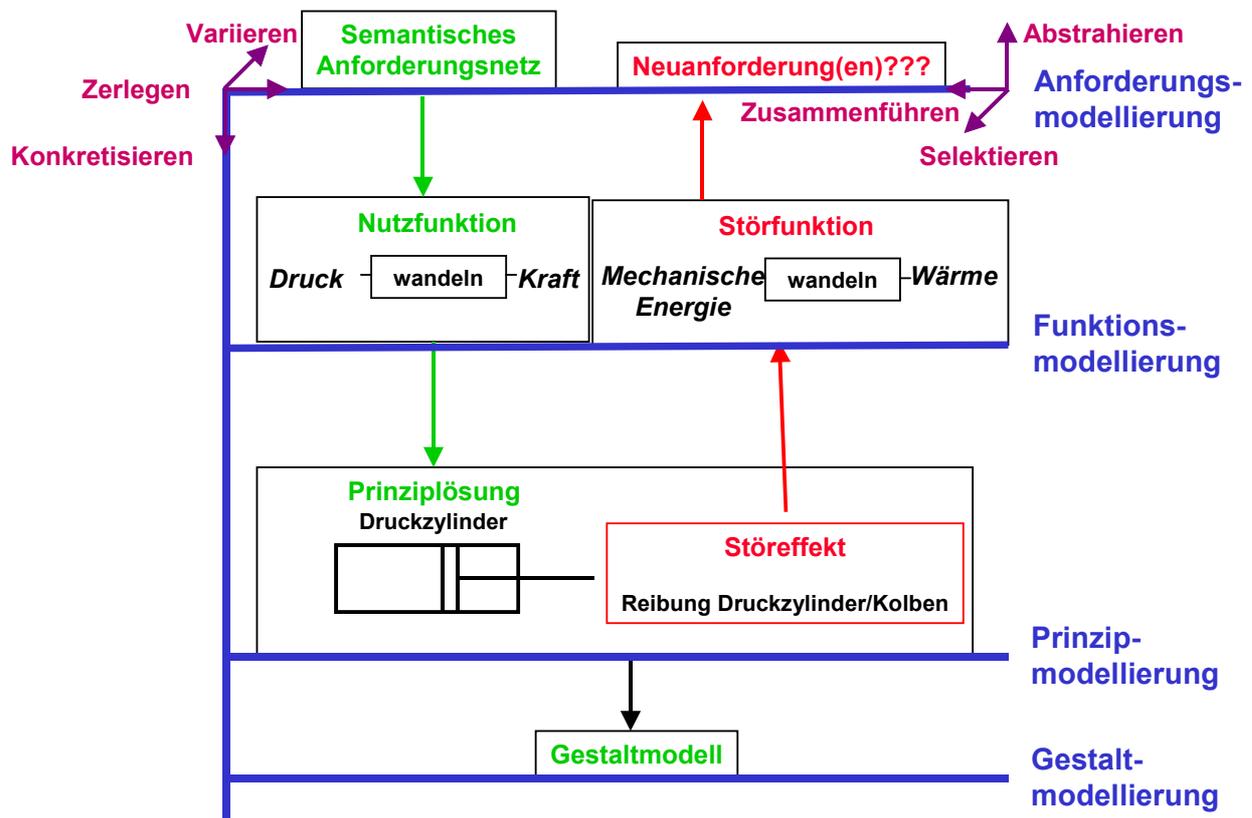


Bild 1: Lösungsansatz zur Generierung von Neuanforderungen aus Störfunktionen

Grundlage des Lösungsansatzes ist das Vorgehensmodell des methodischen, rechnerunterstützten Konstruktionsprozesses, das den Konstruktionsprozess in die Konstruktionsphasen Anforderungs-, Funktions-, Prinzip- und Gestaltmodellierung mit definierten Arbeitsergebnissen in jeder Phase zerlegt. Ergebnis der *Anforderungsmodellierung* ist die formale, rechnerverarbeitbare Spezifikation der produktentwicklungsrelevanten Anforderungen und deren Beziehungen untereinander in Form eines Anforderungsmodells. *Anforderungen* sind quantitative oder qualitative Festlegungen von Soll-Eigenschaften eines zu realisierenden Produktes und des dazugehörigen Produktentwicklungsprozesses. Sie haben ihren Ursprung in allen Produktlebensphasen und dienen zur Verifizierung der im Verlauf des Konstruktionsprozesses erarbeiteten Ist-Eigenschaften der Konstruktionslösung. Die *Funktionsmodellierung* ermöglicht die formale Spezifikation von Funktionen und Funktionsstrukturen auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus. Diesem Forschungsvorhaben wird die in der Richtlinie VDI 2222 [4] vorgeschlagene Definition des Begriffes *Funktion eines technischen Systems* zugrundegelegt. Demnach repräsentiert eine *Funktion* den lösungsneutralen Wirkzusammenhang zwischen Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen eines technischen Systems zum Erfüllen einer Aufgabe. Im Allgemeinen ist es zweckmäßig, eine Funktion durch ein Substantiv und ein Verb auszudrücken, beispielsweise *Energie wandeln*. Jede Funktion eines technischen Systems kann abstrakt in Form einer Black-Box mit den Eingangs- und Ausgangsgrößen

ßen Energie, Stoff und Signal beschrieben werden. Funktionen können über Energie-, Stoff- und Signalflüsse zu Funktionsstrukturen verknüpft werden. Ergebnis der *Prinzipmodellierung* ist die formale Spezifikation der Konstruktionslösung in Form eines Prinziplösungsmodells. Eine *Prinziplösung* wird durch die physikalischen, chemischen oder biologischen Effekte und durch die Effekträger spezifiziert, welche dazu geeignet sind, eine gegebene Funktion zu realisieren. Die *Gestaltmodellierung* ist die konkreteste Form der Produktmodellierung, charakterisiert durch die vollständige, dreidimensionale, geometrische und stoffliche Beschreibung aller Gestaltungszonen der Konstruktionslösung in Form von Einzelteilen sowie deren Kombination zu Baugruppen und Baugruppenstrukturen.

Um die Lösungsfindung formal beschreiben zu können, wird das konstruktionsmethodische Vorgehensmodell in den sogenannten Konstruktionsarbeitsraum eingebettet, der von den drei voneinander unabhängigen Lösungsrichtungen *Konkretisieren/Abstrahieren*, *Zerlegen/Zusammenführen* und *Variieren/Selektieren* aufgespannt wird. Unter *Konkretisieren* wird die Überführung von Arbeitsergebnissen in Arbeitsergebnisse der nächst konkreteren Modellierungsebene verstanden, beispielsweise die Zuordnung einer Prinziplösung zu einer Funktion bzw. Funktionsstruktur. Die Lösungsrichtung *Abstrahieren* ist der Lösungsrichtung *Konkretisieren* entgegengesetzt. Abstrahieren dient zum Erkennen der wesentlichen Eigenschaften eines Produktes. Durch ein geeignetes Abstraktionsverfahren könnten beispielsweise eine Störfunktion aus einem Störeffekt der Prinziplösung, bzw. eine Neuanforderung aus einer Störfunktion abgeleitet werden. Bei der Lösungsrichtung *Zerlegen* wird die Lösung innerhalb einer Modellierungs- bzw. Abstraktionsebene detailliert. Die Lösungsrichtung *Zusammenführen* ist dem Zerlegen entgegengesetzt. Anwendung findet sie beispielsweise im Zusammenführen von Teillösungen zu einer Gesamtlösung in einer beliebigen Modellierungsebene. Unter *Variieren* versteht man das Ersetzen von Arbeitsergebnissen mit alternativen, wünschenswert besseren Arbeitsergebnissen. Dabei wird die Modellierungsebene nicht verlassen. Eine Prinziplösung kann beispielsweise variiert werden, indem unter Beibehaltung des physikalischen Effektes der Effekträger geändert wird. Die Lösungsrichtung *Selektieren* ist dem Variieren entgegengesetzt und bezeichnet das Festlegen auf ein Arbeitsergebnis innerhalb einer Modellierungsebene. Voraussetzung zum Selektieren einer Lösung von mehreren Alternativen ist die Bewertung der einzelnen Lösungsalternativen mit geeigneten Bewertungskriterien.

Es muss bemerkt werden, dass nur im Idealfall eine im Sinne der Konkretisierung vorwärtsgerichtete Arbeitsweise angewendet wird. In der Praxis ist der Konstruktionsprozess ein iterativer Prozess.

Ausgangspunkt der Lösungsidee ist eine Menge von konstruktionsbestimmenden Anforderungen für eine Konstruktionsaufgabe. Diese Anforderungen bzw. die Beziehungen zwischen ihnen können beispielsweise in einem semantischen Anforderungsnetz spezifiziert werden. Im Verlauf des iterativen Konstruktionsprozesses werden aus der Menge der konstruktionsbestimmenden Anforderungen die Nutzfunktionen des zukünftigen Produktes erarbeitet. Als *Nutzfunktionen* werden Funktionen bezeichnet, die den allgemeinen und gewollten Zusammenhang zwischen den Eingangs- und den Ausgangsgrößen eines technischen Systems, mit dem Ziel, eine vorgegebene Aufgabe zu erfüllen, beschreiben. In dem hier vorgestellten Beispiel wurde die (Teil)-Nutzfunktion *Druck in Kraft wandeln* erarbeitet und zu ihrer Realisierung wurde die Prinziplösung *Druckzylinder* von mehreren Alternativen selektiert (Bild 1). Prinziplösungen erfüllen im Allgemeinen zusätzlich zu den Nutzfunktionen auch sogenannte Störfunktionen, die ihren Ursprung in den Störeffekten der Prinziplösung haben [5]. *Störfunktionen* erhalten ihren störenden Charakter entweder dadurch, dass sie die Eingangsgrößen einer Nutzfunktion reduzieren oder dadurch, dass ihre Ausgangsgrößen unerwünscht sind. Ob die Funktionen, die von einer Prinziplösung realisiert werden, Nutz- oder Störfunktionen sind, hängt von der Verwendung der Prinziplösung, d.h. vom Kontext der Konstruktion, ab. Im vorliegenden Beispiel beinhaltet die Prinziplösung *Druckzylinder* die Eigenschaft *Reibung zwischen Druckzylinder und Kolben*. Daraus kann die Funktion *Mechanische Energie in*

Wärme wandeln durch Abstraktion abgeleitet werden. Die Störwirkung dieser Funktion hängt vom Anwendungskontext, d.h. vom Produkt und/oder der Produktumgebung ab. Ob eine zusätzliche Funktion einer Prinziplösung zur Störfunktion wird, hängt von einer Bewertung der Störwirkung der Funktion ab. Demnach unterscheidet man zwischen vernachlässigbaren und nicht vernachlässigbaren Störwirkungen einer Funktion. Die nicht vernachlässigbaren Störwirkungen würden sich als Störfunktionen des zukünftigen Produktes äußern und sich auf das Produkt selbst und/oder auf dessen Umgebung störend auswirken und müssen folglich beseitigt oder auf ein tolerierbares Ausmaß reduziert werden. Aus Störfunktionen mit nicht vernachlässigbarer Auswirkung werden mittels geeigneter Verfahren Anforderungen abgeleitet. Dabei wird nach Überprüfung der Kompatibilität der aus Störfunktionen generierten Anforderungen mit der bereits vorhandenen Anforderungsmenge, die Neuanforderung als konstruktionsbestimmende Anforderung festgelegt und im weiteren Konstruktionsprozess berücksichtigt. Dabei sollen unter *Neuanforderungen* jene Anforderungen verstanden werden, die nicht bereits explizit oder implizit in der bereits vorhandenen Anforderungsmenge enthalten sind und somit einen echten Wissenszuwachs in Richtung Vermeidung von Konstruktionsfehlern für die jeweilige Konstruktionsaufgabe darstellen.

2.2 Architektur eines wissensbasierten Assistenzsystems

In Bild 2 ist die mögliche Architektur eines wissensbasierten Assistenzsystems zur interdisziplinären Produktentwicklung, das eine rechnerunterstützte Generierung von Neuanforderungen aus Störfunktionen, die in Prinziplösungen enthalten sind, ermöglicht, dargestellt.

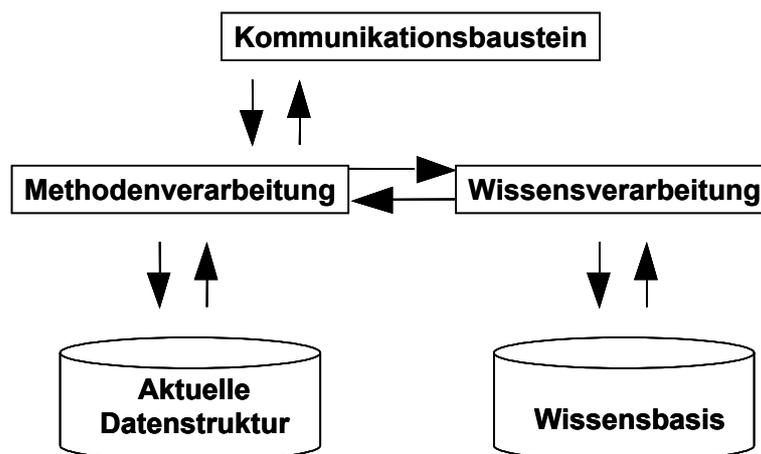


Bild 2: Architektur eines wissensbasierten Assistenzsystems zur interdisziplinären Produktentwicklung

Es besteht aus dem Kommunikationsbaustein, aus den Bausteinen zur Methoden- und Wissensverarbeitung und aus der Datenbasis für die aktuelle Datenstruktur sowie aus der Wissensbasis und aus den internen Schnittstellen zwischen den Bausteinen. Der *Kommunikationsbaustein* stellt die Schnittstelle zwischen dem Systembenutzer und dem System dar. Über den Kommunikationsbaustein erfolgt die Eingabe einer Aufgabenformulierung an das System und die Ausgabe der Ergebnisse. Über die Suchkomponente als Bestandteil des Kommunikationsbausteins ist eine Navigation in der Begriffsbasis und die Formulierung von Suchanfragen an das System möglich. Über die *Methodenverarbeitungs*komponente kommen die implementierten Methoden unter Verwendung der *aktuellen Datenstruktur*, die in einer Datenbasis abgelegt ist, zum Einsatz.

Der Prozess der Generierung von Neuanforderungen aus Störfunktionen, die in Prinziplösungen enthalten sind, ist wissensintensiv. Das relevante Wissen wird in einer *Wissensbasis* gespeichert und verwaltet. Zur Verarbeitung von Wissen kommt die *Wissensverarbeitungs*-

komponente zum Einsatz. Die Wissensbasis besteht aus drei Komponenten, der *Lösungskomponente*, der *Ontologiekomponente* und der *Fallkomponente*. In der Lösungskomponente werden Konstruktionslösungen auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus, d.h. als Funktions-, Prinzip- oder Gestaltmodelle mit den entsprechenden Beziehungen zueinander und zu den Anforderungsmodellen, die ihnen zugrunde liegen, dargestellt. Die Entwicklung interdisziplinärer Produkte (beispielsweise mechatronischer Produkte) erfordert, dass sich Personen mit unterschiedlichem Expertenwissen und Begriffswelten über Aufgabenstellungen austauschen können müssen, die im Alleingang in einer Ingenieursdisziplin nicht lösbar sind. Einen Lösungsansatz zur Klärung und Angleichung unterschiedlicher Begriffswelten stellt die formale Erfassung von Ontologien in einer Ontologiekomponente und die Identifikation von semantischen Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen Ontologien dar. Eine Ontologie ist eine Sammlung von Konzepten (Begriffen), Relationen zwischen den Begriffen und Regeln, die auf dem Konsens einer Gruppe von Personen beruht. Sie beinhaltet die relevanten Begriffe und Relationen einer Domäne und bietet somit einen Mehrwert im Vergleich zu klassischen Taxonomien, da sie um Relationen zwischen den Begriffen erweitert ist. Die Ontologiekomponente soll ermöglichen, dass eine bestimmte Menge von Begriffen und deren Beziehungen zueinander dem Anwender zur Verfügung gestellt wird. Dabei sollen sowohl die natürliche Sprache als auch die Fachsprache einer Domäne angewendet werden können. Durch die konsequente Erstellung und Verwendung einer solchen Ontologiekomponente kann Wissen gezielt in einer einheitlichen Form von Kontexten abgespeichert und entsprechende Sach- oder Suchkontexte formuliert werden.

In der Fallkomponente der Wissensbasis wird das Erfahrungswissen zur Generierung von Neuanforderungen aus Störfunktionen in Form von Fällen abgespeichert. Eine Fallrepräsentation besteht aus einer sogenannten Lösungsvoraussetzung, aus der Lösung selbst und aus den Handlungen mit deren Hilfe aus der Lösungsvoraussetzung eine Lösung erarbeitet wurde. Das deklarative Wissen der Generierung von Neuanforderungen aus Störfunktionen wurde in sogenannten Objektmustern, das prozedurale Wissen in Prozessmustern dargestellt. Objekt- und Prozessmuster sind Spezialisierungen des Begriffes Lösungsmuster.

3 Schlussfolgerung

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Konzept zur systematischen, wissensbasierten Generierung von Neuanforderungen aus Störfunktionen, die in Prinziplösungen explizit oder implizit enthalten sind, vorgestellt.

Dieser Lösungsansatz ermöglicht eine frühzeitige, systematische Erkennung und Abschätzung von Konstruktionsfehlern, die ihren Ursprung in immanenten Eigenschaften von Prinziplösungen haben. Dadurch werden Iterationszyklen verkürzt und somit die Produktentwicklungszeiten und –kosten gesenkt. Gleichzeitig werden sowohl Produkt- als auch Konstruktionsprozessqualität erhöht. Wird das Erfahrungswissen bzgl. der Ableitung von Neuanforderungen aus Störfunktionen in adäquater Form zur Verfügung gestellt, können Effizienz und Effektivität des Konstruktionsprozesses weiter gesteigert werden, da Fehlschritte vermieden werden. Bei vielen Produkten liegt die Prinziplösung fest, weil sie sich schon über Jahrzehnte als optimal erwiesen hat bzw. weil eine Änderung dieser mit langen Produktentwicklungszeiten sowie hohen Risiken verbunden sein kann. Dann liegt der Schwerpunkt des Konstruierens meist auf dem Gestalten oder der Optimierung der Werkstoffeigenschaften. Andererseits sind gerade durch ein besseres Verständnis der physikalischen Vorgänge der bereits existierenden Produkte innovative Lösungen möglich, da die Arbeit mit physikalischen Effekten neue Sichtweisen eröffnet und Denkblockaden auflösen kann.

4 Literatur

- [1] Pahl G. Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung. Springer-Verlag, Berlin, 1997
- [2] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung—Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. Carl Hanser-Verlag, München, 2003
- [3] DIN 25424-1: Fehlerbaumanalyse; Methode und Bildzeichen. Beuth-Verlag, 1981
- [4] VDI 2222, Blatt 1, Seite 8: Konstruktionsmethodik—Konzipieren technischer Produkte. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1977
- [5] Langlotz, G.: Ein Beitrag zur Funktionsstrukturentwicklung innovativer Produkte. Dissertation, Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion, Universität Karlsruhe (TH), Seite 118 ff, Shaker Verlag, Aachen, 2000

o.Prof. Em. Prof. E.h. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans Grabowski
Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion
Universität Karlsruhe (TH)
Adenauerring 20, AVG 50.41, D-76131 Karlsruhe
Tel: +49-721-608-2129
Fax: +49-721-661138
Email: gr@rpk.uni-karlsruhe.de
URL: <http://www-rpk.mach.uni-karlsruhe.de>

Dr.-Ing. Ralf-Stefan Lossack
Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion
Universität Karlsruhe (TH)
Adenauerring 20, AVG 50.41, D-76131 Karlsruhe
Tel: +49-721-608-3374
Fax: +49-721-661138
Email: lossack@rpk.uni-karlsruhe.de
URL: <http://www-rpk.mach.uni-karlsruhe.de>

Dipl.-Ing. Christine Bruch
Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion
Universität Karlsruhe (TH)
Adenauerring 20, AVG 50.41, D-76131 Karlsruhe
Tel: +49-721-608-4157
Fax: +49-721-661138
Email: bruch@rpk.uni-karlsruhe.de
URL: <http://www-rpk.mach.uni-karlsruhe.de>

