Konstruktion

Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe

Organzeitschrift der VDI-Gesellschaften Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) und Materials Engineering (VDI-GME)

Konstruktionskataloge für den effizienten Einsatz physischer Modelle im Produktentwicklungsprozess

Sonderdruck Ausgabe 10/2009

IGW Ingenieurgesellschaft Weferlingen mbH

in Zusammenarbeit mit

INSTITUT FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK

K. Kirchner, U. Drebing, H.-J. Franke

Konstruktionskataloge für den effizienten Einsatz physischer Modelle im Produktentwicklungsprozess

Design Catalogs for the Efficient Use of Physical Models in the Product Development Process

Inhalt *Die Rahmenbedingungen für Unternehmen haben sich in den letzten Jahren verschärft. Produkte müssen in kürzerer Zeit entwickelt, in kleineren Stückzahlen zu geringeren Preisen angeboten und besser auf individuelle Nutzerprofile abgestimmt werden. Rapid Technologies unterstützen dies durch die schnelle Fertigung physischer Prototypen, mit welchen Designstudien, Konzeptuntersuchungen und Funktionstests durchgeführt werden können. Die dabei gewonnen Informationen bilden das Fundament weitgehend abgesicherter Entscheidungen. Allerdings werden die Möglichkeiten dieser Technologien noch nicht optimal genutzt. Dies liegt auch daran, dass Unternehmen das erforderliche Expertenwissen fehlt, um sie zielgerichtet einzusetzen. Es ist daher sinnvoll eine einheitliche Wissensbasis zu schaffen.*

Abstract *In recent years the conditions for companies have get worse. Products must be developed in less time, in smaller quantities at lower prices and better adapted to individual user profiles. Rapid Technologies are supporting this through the rapid production of physical prototypes for design studies or concept studies and functional tests. The subsequent information is the fundament of largely verified decisions. However, the possibilities of these technologies are not yet used optimally. This is because companies lack necessary expertise to use them purposefully. Therefore it makes sense to create a common knowledge base.*

Autoren

Dipl.-Ing. Karsten Kirchner
Institut für Konstruktionstechnik,
TU Braunschweig

Dr.-Ing. Uwe Drebing
Geschäftsführer
IGW Ingenieurgesellschaft Weferlingen mbH
Tel.: 03 90 61/9 83-0
E-Mail: drebing@igwmbh.de
www.igwmbh.de

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Franke
Institutsleiter, Institut für Konstruktionstechnik, TU Braunschweig
Kontakt:
Technische Universität Braunschweig
Institut für Konstruktionstechnik (IK)
Langer Kamp 8
38106 Braunschweig
Tel.: 05 31/3 91-33 55
E-Mail: kirchner@ikt.tu-bs.de
www.ikt.tu-bs.de

1 Einleitung

Die Rahmenbedingungen für europäische Unternehmen haben sich in den letzten Jahren deutlich verschärft. Eine zunehmende Individualisierung der Produkte erhöht die Variantenvielfalt und reduziert, bei konstantem Marktvolumen, die Verkaufszahlen pro Produktvariante. Zusätzlich verkürzt ein Trend zur Schnelllebigkeit die Produktionszeit. In Kombination mit einem starken globalen Wettbewerb kommt es schließlich zum Preisverfall.

Zukünftig müssen Produkte in deutlich kürzerer Zeit entwickelt, in kleineren Stückzahlen zu geringeren oder zumindest gleichbleibenden Preisen angeboten und besser auf individuelle Nutzer- und Anforderungsprofile abgestimmt werden. Für Unternehmen werden deshalb folgende Erfolgsfaktoren immer wichtiger: Verkürzung der Entwicklungszeit, Senkung der Kosten und Erhöhung der Flexibilität [1].

Die sogenannten Rapid Technologien (Rapid Prototyping) sind besonders interessante Methoden, um den Entwicklungsprozess besser abzusichern und zu beschleunigen [2, 3, 4]. Damit lassen sich innerhalb kürzester Zeit kostengünstige Prototypen erzeugen, mit denen schon in frühen Entwicklungsphasen Designstudien, Konzeptuntersuchungen und sogar Funktionstests durchgeführt werden können. Die dabei gewonnen Informationen bilden das Fundament frühzeitiger, weitgehend abgesicherter Entscheidungen und reduzieren damit den Änderungsaufwand erheblich. Allerdings werden die Möglichkeiten dieser relativ neuen Technologien noch nicht optimal genutzt. Dies liegt vor allem daran, dass Unternehmen im Allgemeinen das erforderliche Expertenwissen fehlt, um sie zielgerichtet einzusetzen [5,

6, 1]. Aufgrund der Vielzahl verfügbarer Verfahren und deren ständiger Weiterentwicklung, ist es für Unternehmen nahezu unmöglich, immer auf dem aktuellen Wissensstand zu sein.

Um die strategische Planung und die rationale Auswahl geeigneter Prozessketten (z. B. Stereolithografie, Schleifen, Vakuumgießen) zu ermöglichen, ist es daher sinnvoll, dass eine einheitliche Wissensbasis geschaffen und den Unternehmen zur Verfügung gestellt wird. Ergänzend sind Methoden zur Technologieauswahl zu entwickeln.

2 Das Konzept – Rapid X Catalogue

Rapid X Catalogue (RapCat) soll es Unternehmen erleichtern, Prototypen zielgerichtet einzusetzen. Dafür stellt das vorgestellte System das erforderliche Expertenwissen zur Verfügung, unterstützt die Planung des Prototypeneinsatzes und hilft, unter der Vielzahl verfügbarer Prozessketten, die für die jeweilige Anwendung am besten geeignete auszuwählen. Das hinterlegte Wissen kann z. B. in Form von Richtlinien oder Handlungsanweisungen abgerufen werden und ermöglicht auch unerfahrenen Anwendern den richtigen Umgang mit Prototypen. Zusätzlich kann die Datenbasis beliebig erweitert werden, so dass Unternehmen auch eigene Informationen, wie z. B. Erfahrungsberichte oder Versuchsprotokolle, ablegen können.

Das Gesamtkonzept basiert auf der Grundidee der „Konstruktionskataloge", die einen schnellen Zugriff auf benötigte Informationen ermöglichen und für unterschiedliche Einsatzbedingungen, wie z. B. Neu-, Änderungs- und Baukastenkonstruktionen, über den gesamten Produktentwicklungsprozess geeignet sind [7, 8, 9, VDI2222]. Es handelt sich dabei um systematische Wissensspeicher, aus denen während des Konstruktionsablaufs benötigte Informationen schnell und einfach entnommen werden können. Um dies zu gewährleisten, haben sie einen einheitlichen Aufbau und sind begrifflich exakt ausgeführt. Durch eine geeignete softwaretechnische Umsetzung lassen sie sich optimal an unterschiedliche Randbedingungen, wie z. B. Branche, Produkt sowie Qualität und Quantität der benötigten Informationen, anpassen und mit weiteren Konstruktionsmethoden verknüpfen [10].

Bewährt haben sich Kataloge nach dem in Bild 1 dargestellten Schema, welches auch für RapCat verwendet wird. Es hat einen Gliederungsteil, der Gesichtspunkte enthält, die die Elemente des Katalogs widerspruchsfrei unterteilen, einen Hauptteil, der den eigentlichen Inhalt des Katalogs darstellt und einen Zugriffsteil, der die Elemente im

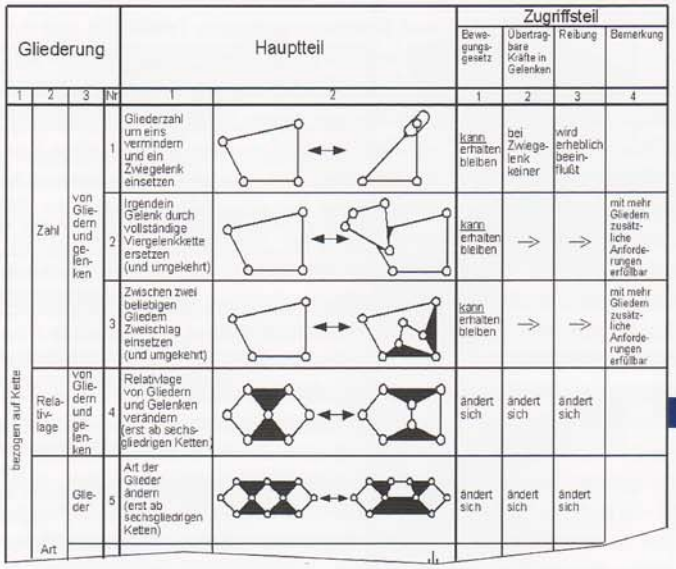

Bild 1
Grundsätzlicher Aufbau von Konstruktionskatalogen [Rot94]

Hauptteil charakterisiert und dadurch eine Auswahl des am besten geeigneten Elements ermöglichen soll. Im Anhang können zusätzliche Informationen, wie Erfahrungsberichte oder Verweise auf andere Kataloge, abgelegt werden.

3 Der Aufbau von RapCat

Bild 2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau von RapCat. Es besteht aus einem erweiterbaren System miteinander verknüpfter Methoden-, Technologie- und Bauteilkataloge mit unterschiedlichen Informationsgehalten (Übersichts- und Detailkataloge), die in zentralen Datenbanken gespeichert sind. Der Anwender kann über eine grafische Benutzungsoberfläche vordefinierte Kataloge abrufen, filtern und ggf. ergänzen oder auch eigene Kataloge zusammenstellen. Der Zugriff erfolgt vorzugsweise über das Internet, was verteiltes Arbeiten begünstigt, Verknüpfungen mit anderen Informationsquellen über entsprechende Links ermöglicht und die Aktualisierung der Datenbestände erleichtert. Das System erlaubt den Zugriff auf Konstruktionsmethoden, Technologien und Bauteile.

Mit den hinterlegten **Methoden** lässt sich z. B. prüfen, ob der Einsatz von Prototypen sinnvoll ist und welche Anforderungen ein für den jeweiligen Einsatzzweck geeigneter Prototyp erfüllen muss. Dies hilft bei der strategischen Planung des Prototypeneinsatzes und bei der Auswahl des geeigneten Werkzeuges zur Informationsbeschaffung.

Zu den **Technologien** gehören Materialien, Fertigungsverfahren und Folgeprozesse, z. B. Feinbearbeitung oder Vakuumgießen. Sie dienen zur Herstellung physischer Prototypen, auf welche hier der Schwerpunkt gelegt wird. Die Technologien sind in einem logischen Katalogsystem abgelegt und untereinander verknüpft. Mit den Verknüpfungen lassen sich z. B. Unverträglichkeiten berücksichtigen oder deren Anwendungsfelder voneinander abgrenzen.

In dem Zugriffsteil der Technologiekataloge sind alle für deren Auswahl und Bewertung sowie zur Prozesskettenmodellierung relevanten Informationen hinterlegt. Bei den Fertigungsverfahren gehören dazu Informationen über Kosten, Bauzeit und Qualität der Produkte sowie deren Ein- und Ausgangsbedingungen.

Mit Hilfe der Verknüpfungen lassen sich aus den Technologiekatalogen auf Basis der gestellten Anforderungen repräsentative Prototypen und die zugeordneten Prozessketten zu deren Herstellung ableiten. Sie werden in **Bauteilkatalogen** gespeichert. Je mehr Bauteilkataloge im Laufe der Zeit entstehen, umso effizienter wird RapCat, da unmittelbar auf bewährte Lösungen zurückgegriffen werden kann. Beispielsweise kann ein Anwender bestimmte Standardprototypen für Standardanwendungen (Kommunikation, Validierung, Dokumentation) vorsehen, diese abhängig vom Anwendungsfall ablegen und somit den Lösungsfindungsprozess erheblich beschleunigen.

Liegt dem Anwender die für seinen Anwendungsfall am besten geeignete Prozesskette vor, kann er den entsprechenden Prototyp herstellen und anwenden. Die beim Prototypeneinsatz gewonnenen Informationen werden in das System zurückgeführt, um aus den dabei gemachten Erfahrungen zu lernen.

Durch systematische Kombination der Technologien ist es außerdem möglich, den sich daraus ergebenden Lösungsraum vollständig abzubilden und somit das Lösungsspektrum zu erweitern. Damit können neue Prozessketten aus verfügbaren Technologien, wie z. B. im Unternehmen vorhandene Fer-

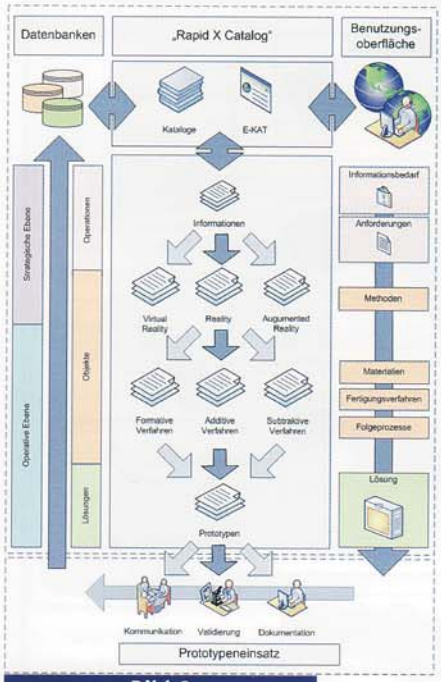

Bild 2

Prinzipieller Aufbau des Katalogsystems

tigungsverfahren, modelliert und bewertet werden. Für einen Rapid Prototyping Dienstleister bedeutet dies beispielsweise, dass er damit seine verfügbaren Ressourcen besser ausnutzen und sein Produktspektrum erweitern kann (Bild 2).

4 Die Kataloge – ein Praxisbeispiel

Um die Funktionsweise von RapCat zu verdeutlichen, werden die Zusammenhänge zwischen Methoden-, Technologie- und Bauteilkatalogen exemplarisch vorgestellt. Bild 3 zeigt den Aufbau der dafür verwendeten Kataloge. Es handelt sich dabei um den Informations- und den RP-Verfahrenskatalog.

Mit Hilfe des **Informationskatalogs** überprüft der Anwender welche Informationen er benötigt und bestimmt die Anforderungen, welche die Werkzeuge zur Informationsbeschaffung erfüllen müssen. Im Anhang sind systematisch Checklisten hinterlegt, mit denen er überprüfen kann, ob der Einsatz eines Prototypen für den gewählten Anwendungsfall sinnvoll ist, d.h. ob der Informationsbedarf einen entsprechenden Aufwand rechtfertigt. Dies ermöglicht eine schnelle, einfache und objektive Beurteilung des Modellnutzens und unterstützt somit die Entscheidung für oder gegen den Einsatz eines Modells.

Außerdem lassen sich im Zugriffsteil Modell-Anforderungen ablesen, die aus den entsprechenden Operationen, wie z. B. „Validierung der Funktion" oder „Kommunikation über das Design" resultieren. Diese Anforderungen sind Grundlage für die Modellierung und Auswahl einer geeigneten Prozesskette. Hierfür werden vordefinierte, anpassbare Bewertungsvorlagen angeboten, die über einen Link im Anhang abrufbar sind und auf die Daten der Technologie- und Bauteilkataloge zugreifen.

Der **RP-Verfahrenskatalog** liefert einen ersten schnellen Überblick über kommerziell verfügbaren RP-Verfahren und gestattet damit eine Vorauswahl prinzipiell geeigneter Verfahrensklassen (z. B. STL, FDM, SLS). Im Zugriffsteil sind neben Bauteileigenschaften wie Qualität, Kosten und Zeit auch Prozesssicherheit und Verfügbarkeit der Verfahren erfasst. Außerdem können eine Vielzahl weiterer Informationen über die einzelnen Verfahrensklassen abgerufen werden. Dazu gehören eine umfangreiche Verfahrensbeschreibung, Konstruktionsregeln, verfügbare Materialien und mögliche Folgeprozesse. Detailliertere Informationen, z. B. über kommerziell verfügbare Anlagen, Hersteller oder regionale Dienstleister, sind in Detailkatalogen hinterlegt und können über entsprechende Links im Anhang aufgerufen werden.

Durch eine Verknüpfung verschiedener Technologiekataloge, z. B. Verfahrens- und Folgeprozesskataloge, ist es möglich, Lösungen abzuleiten, die in Bauteilkatalogen abgelegt werden. Der Anwender kann sich dadurch schnell und einfach für seinen Anwendungsbereich passende Lösungen zusammenstellen oder auf vordefinierte Lösungen zurückgreifen.

Ein Beispiel für einen **Bauteilkatalog** der bereits erfolgreich in der Praxis eingesetzt wird zeigt Bild 4. Es handelt sich dabei um einen Auswahlkatalog der Fa. IGW Ingenieurgesellschaft Weferlingen mbH, die auf die Herstellung von Funktionsprototypen für die Motorenentwicklung spezialisiert ist.

Der Katalog beschreibt Luftführungen von Verbrennungsmotoren, welche bereits innerhalb von fünf bis zehn Werktagen nach Auftragserteilung lieferbar sind. Um den größten Nutzen aus dieser extrem kurzen Lieferzeit zu ziehen, ist eine schnelle Auswahl des geeigneten Bauteils entscheidend. Der Zeitvorteil kann nämlich durch einen langwierigen Entscheidungsprozess schnell verloren gehen. Dabei unterstützt der Katalog, indem er den Anwender gezielt und in übersichtlicher Form über die technischen Lösungen für Funktions-

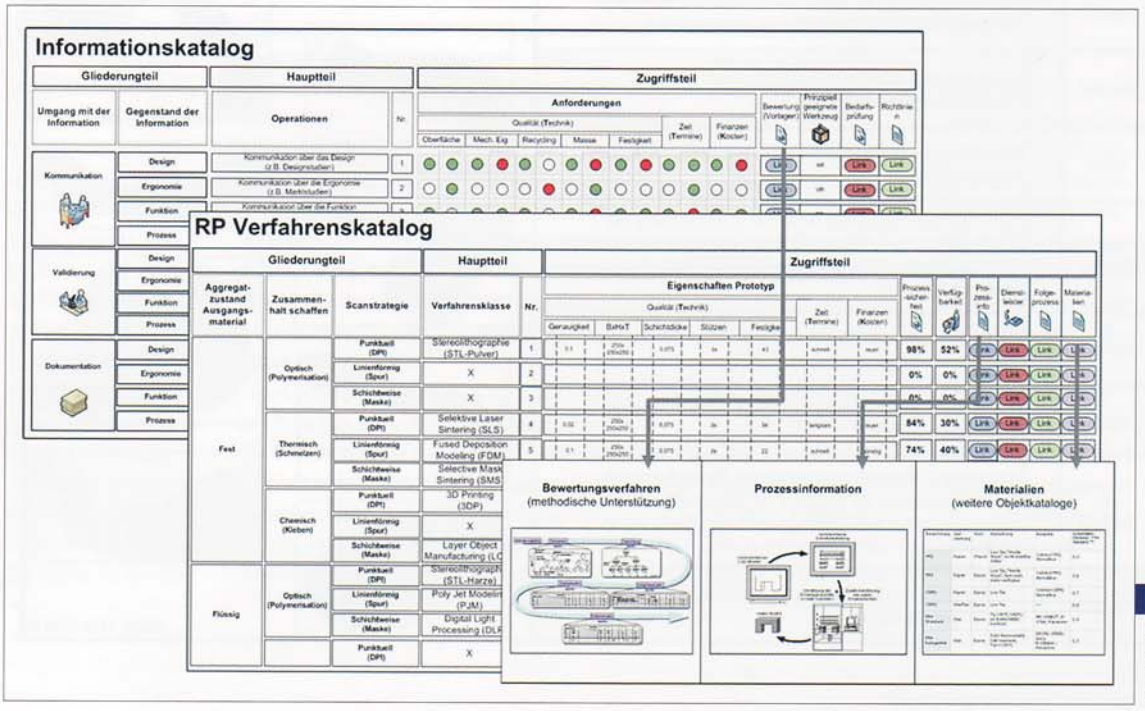

Bild 3

Aufbau des Informations- und des RP-Verfahrenskatalogs

Auswahlkatalog für Luftführungen von Verbrennungsmotoren

IGW Ingenieurgesellschaft Weferlingen mbH

www.igwmbh.de

Druck-bereich	Tmax bei Betrieb	Bauart	Nr.	Prototyp
Unterdruck bis ca. 0,2 bar rel. (Rohluft-, Reinluft-ansaugung)	kalt ca. +80°C	starr	1	a) Saugrohr aus PA 12 (Lasersinter), gasdicht infiltriert b) Saugrohr aus PUR (Polyurethanvakuumguß) c) Saugrohr aus Nylon PA 6 (Gußpolyamid)
		teil-flexibel	2	a) Saugrohr als Verbundkonstruktion [PA 12 (Lasersinter), gasdicht infiltriert, mit flexiblem Faltenbalg aus Silikonkautschuk] b) Saugrohr aus elastomeren PUR (Polyurethanvakuumguß)
		flexibel	3	a) Saugschlauch aus elastomeren PUR (Polyurethanvakuumguß)
	mittel ca. +120°C	starr	4	a) Saugrohr aus PA 12 (Lasersinter), gasdicht infiltriert b) Saugrohr aus PUR (Polyurethanvakuumguß) c) Saugrohr aus Nylon PA 6 (Gußpolyamid)
		teil-flexibel	5	a) Saugrohr als Verbundkonstruktion [PA 12 (Lasersinter), gasdicht infiltriert, mit flexiblem Faltenbalg aus Silikonkautschuk] b) Saugschlauch aus Silikonkautschuk (Spritzguß) mit Stahlringen verstärkt
		flexibel	6	Saugschlauch aus Silikonkautschuk (Spritzguß) mit Stahlringen verstärkt
	heiß ca. +180°C	starr	7	a) Saugrohr aus Nylon PA 6 (Gußpolyamid) b) Saugrohr in Faserverbundbauweise (Epoxidharz mit Glasfasergewebe)
		teil-flexibel	8	a) Saugrohr aus Nylon PA 6 (Gußpolyamid), mit flexiblem Faltenbalg aus Silikonkautschuk
		flexibel	9	Saugschlauch aus Silikonkautschuk (Spritzguß) mit Stahlringen verstärkt
Druck bis ca. 3 bar rel. (Ladeluft-führung)	heiß ca. +180°C	starr	10	Druckrohr aus NylonPlus PA 6 GF (Gußpolyamid mit Glasfaserfüllung)
		teil-flexibel	11	Druckrohr aus NylonPlus PA 6 GF (Gußpolyamid mit Glasfaserfüllung) im Verbund mit Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebeverstärkung
		flexibel	12	Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebeverstärkung
	sehr heiß ca. +220°C	starr	13	Druckrohr in Faserverbundbauweise (Epoxidharz mit Glasfasergewebe)
		teil-flexibel	14	Druckrohr in Faserverbundbauweise (Epoxidharz mit Glasfasergewebe) im Verbund mit Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebeverstärkung
		flexibel	15	Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebeverstärkung
Wechsel-druck (Ladeluft-führung mit Unterdruck-stößen)	heiß ca. +180°C	starr	16	Druckrohr aus NylonPlus PA 6 GF (Gußpolyamid mit Glasfaserfüllung)
		teil-flexibel	17	Druckrohr aus NylonPlus PA 6 GF (Gußpolyamid mit Glasfaserfüllung) im Verbund mit Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebe und Stahlringen verstärkt)
		flexibel	18	Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebe und Stahlringen verstärkt
	sehr heiß ca. +220°C	starr	19	Druckrohr in Faserverbundbauweise (Epoxidharz mit Glasfasergewebe)
		teil-flexibel	20	Druckrohr in Faserverbundbauweise (Epoxidharz mit Glasfasergewebe) im Verbund mit Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebe und Stahlringen verstärkt
		flexibel	21	Druckschlauch aus Silikonkautschuk mit Aramidgewebe und Stahlringen verstärkt

Stand: 14.04.2009 Dr

Bild 4

prototypen und deren wichtigsten Unterscheidungsmerkmale informiert.

Bei der Erstellung des Katalogs stand weniger die absolute Vollständigkeit als vielmehr dessen praktischer Nutzen im Vordergrund, daher erfolgt die Gliederung anhand der wichtigsten Einsatzmerkmale, z. B. Druck und Temperatur. Der Gliederungsteil ist dabei gleichzeitig auch Zugriffsteil. Dies erhöht die Übersichtlichkeit und erleichtert die Entscheidungsfindung. Im Hauptteil finden sich eine kurze verbale Beschreibung der Bauart, eine Auflistung geeigneter Materialien und ein exemplarisches Bild eines Typvertreters (Repräsentanten).

Die Auswahl der geeigneten Bauweise kann allerdings auch noch von anderen Faktoren beeinflusst werden, die im Katalog nicht berücksichtigt werden können. Dazu gehören für den Anwendungsfall spezifische geometrische Einbaubedingungen, Relativbewegungen und Schwingungen der benachbarten Bauteile wie auch die benötigte Stückzahl. Sie erfordern im nächsten Schritt den unmittelbaren Informationsaustausch und das Gespräch mit dem Vorserienteilelieferant (RP-Dienstleister).

5 Zusammenfassung und Ausblick

RapCat ist ein methodischer Informationsspeicher, der dem Konstrukteur bei der Auswahl und Bewertung geeigneter Prototypen und der Planung des Prototypeneinsatzes hilft. Die systematische Speicherung von Informationen und Kataloge mit unterschiedlichen Informationsgehalten unterstützen den methodischen Prototypeneinsatz im gesamten Produktentwicklungsprozess. Außerdem hilft RapCat bei der Generierung neuer Lösungen. Die Produktentwicklung wird dadurch abgesichert, beschleunigt und kostengünstiger. Letztendlich wird die Produktqualität verbessert.

Eine leichte und bequeme Handhabung garantiert den schnellen Zugriff auf das benötigte Wissen. Durch einen einheitlichen, an den Konstruktionsablauf angepassten Aufbau, begrifflich exakte Ausführungen und übersichtliche Darstellungsformen wird die Informationsbeschaffung wesentlich beschleunigt. Die Einfachheit und die daraus resultierende Transparenz der Methode fördert die Akzeptanz beim Anwender.

Mittels softwaretechnischer Umsetzung kann das Katalogsystem sehr flexibel sein, z. B. können Kataloginhalte schnell an die jeweilige Situation angepasst, erweitert oder umsortiert werden. Das Katalogsystem ist damit weitgehend unabhängig von Branche oder Firma in der es zum Einsatz kommt.

Der vorgestellte Informationskatalog hilft bei der Anforderungsdefinition und der Einsatzplanung. Der RP-Verfahrenskatalog gibt einen guten Überblick über die verfügbaren Verfahrensprinzipien und deren Eigenschaften. Eine Kombination dieser beiden Kataloge ermöglicht eine einfache und schnelle Auswahl geeigneter Verfahren.

Im Bauteilkatalog der Fa. IGW wurde das Fachwissen aus den Bereichen Prototypenbau sowie Fahrzeug- und Motorenentwicklung vereint und damit auch unerfahrenen Anwendern zugänglich gemacht. Der Katalog ist ein praxisorientiertes Hilfsmittel für Motorenentwickler, Versuchsingenieure und Beschaffer von Versuchsteilen für Vorserien- und Versuchsmotoren, welches hohes Zeit- und Kosteneinsparpotential hat. Er wird bereits erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Um RapCat zukünftig noch effektiver zu machen wird die Anzahl derartiger Bauteilkataloge, in enger Zusammenarbeit mit den Anwendern, stetig erweitert.

Nach der softwaretechnischen Umsetzung soll RapCat mit weiteren Inhalten und Funktionen erweitert werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Integration weiterer Fertigungsverfahren, z. B. Blasformen, Prägen und Tiefziehen. Langfristig sollen auch weitere Methoden zur Prüfplanung, Auftragsabwicklung und komplexere Bewertungsmethoden in das Gesamtkonzept eingebunden werden.

Literatur

[1] Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren : Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing. 3. Aufl. München : Hanser, 2007. – ISBN 9783446226661

[2] Bertsche, B.; Bullinger, H-J: Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte – Rapid Prototyping : Grundlagen, Rahmenbedingungen und Realisierung /. URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69880-7

[3] Dreher, S.: Flexible Integration von Rapidprototyping-Prozessketten in die Produktenstehung, 2005

[4] Zäh, M F.: Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien. Anwender-Leitfaden zur Auswahl geeigneter Verfahren. München [u.a.] : Hanser, 2006. – ISBN 3-446-22854-3978-3-446-22854-2

[5] Pieverling, J. von: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling. München: Utz, 2003 (Forschungsberichte iwb 178). – ISBN 3-8316-0230-1

[6] Wohlers, T.: Wohlers report 2008. State of the industry ; annual worldwide progress report. Fort Collins, Colo. : Wohlers Associates, 2008. – ISBN 0-9754429-4-5978-0-9754429-4-4

[7] Pahl, G.; Beitz, W; Feldhusen, J; Grote, K-H: Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007 (7. Auflage.). – ISBN 978-3-540-34061-4

[8] Roth, K.; Franke, H-J; Simonek, R. (1972): Aufbau und Verwendung von Katalogen für das methodische Konstruieren. In: Konstruktion, Jg. 24, H. 11, S. 449-458.

[9] Roth, K: Kataloge. 3. Aufl., mit wesentlichen Erg. Berlin : Springer, 2001 (Konstruieren mit Konstruktionskatalogen / Karlheinz Roth Bd. 2). – ISBN 3540670262

[10] Franke, H. -J ; Löffler, S. ; Deimel, M.: Increasing the efficiency of design catalogues by using modern data processing technologies. Dubrovnik, 2004(International Design Conference – DESIGN 2004)

[11] Roth, K: Verbindungen und Verschlüsse, Lösungsfindung: Mit 48 Konstruktionskatalogen und 52 Lösungssammlungen. Bd. 3. Berlin: Springer, 1996 (2. Aufl., wesentlich erw. und neu gestaltet.). – ISBN 354060782-X

Weiterführende Literatur:

Gebhardt, A.: Hype um Generative Verfahren. In: Economic Engineering (2008), Nr. 3, S. 76-79

Roth, K: Konstruktionslehre. 3. Aufl., erw. und neu gestaltet. Berlin : Springer, 2000 (Konstruieren mit Konstruktionskatalogen / Karlheinz Roth Bd. 1). – ISBN 354067142024900