

## **EINE ENTWICKLUNGSUMGEBUNG FÜR RÄUMLICHE ELEKTRONISCHE BAUGRUPPEN**

*Jan Stefan Michels, Thomas Peitz, Thomas Bigl, Lars Seifert*

### **Kurzfassung**

Die Entwicklung moderner maschinenbaulicher Produkte ist durch zahlreiche Herausforderungen geprägt. Dies gilt besonders für Produkte, die durch eine enge räumliche Integration von Mechanik und Elektronik gekennzeichnet sind und als räumliche elektronische Baugruppen bezeichnet werden. Neben der Komplexität der Entwicklung gilt es hier, die starken Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung der Baugruppe und der Gestaltung des Fertigungssystems zu beherrschen. Zu diesem Zweck wird im Verbundprojekt INERELA eine Entwicklungsumgebung für räumliche elektronische Baugruppen erstellt. Die Entwicklungsumgebung umfasst eine Entwicklungssystematik, eine Spezifikationstechnik sowie eine Wissensbasis. Die Entwicklungssystematik strukturiert den Entwicklungsprozess und dient als Leitfaden zur Durchführung konkreter Entwicklungsprojekte. Mit der Spezifikationstechnik können Lösungskonzepte für die Baugruppe domänenübergreifend und ganzheitlich beschrieben werden. Sie dient als Kommunikations- und Kooperationsplattform für die beteiligten Ingenieure. Die Wissensbasis stellt den Ingenieuren Informationen über Wirkprinzipien, Lösungselemente und Fertigungsverfahren für räumliche elektronische Baugruppen bereit. Die Entwicklungssystematik, die Spezifikationstechnik und die Wissensbasis sind informationstechnisch vernetzt. Dadurch entsteht eine Entwicklungsumgebung, die diese drei Werkzeuge sowie die spezialisierten Entwicklungswerkzeuge wie CAD- oder SPICE-Tools zusammenführt und dem Ingenieur an seinem Arbeitsplatz zugänglich macht.

### **1 Einleitung**

Viele moderne maschinenbauliche Erzeugnisse zeichnen sich durch ein enges Zusammenwirken von Mechanik und Elektronik aus. Dies gilt beispielsweise für elektro-optische Steckverbinder oder ultraflache Signalleuchten auf Basis von Leuchtdioden. Solche Produkte eröffnen zahlreiche Erfolgspotenziale, stellen aber hohe Anforderungen an Entwicklung und Herstellung. Die Herausforderung besteht in der räumlichen und funktionalen Integration auf Bauteil- und Baugruppenebene. Wesentliches Ziel ist eine hohe Funktionsdichte auf kleinem Bauraum. Neben der eigentlichen Elektronikentwicklung muss der mechanische Aufbau der Baugruppe betrachtet werden, welcher zusätzlichen geometrischen und fertigungstechnischen Randbedingungen unterliegt. Weitere Randbedingungen wie Wärmeentwicklung oder elektromagnetische Verträglichkeit erhöhen die Designkomplexität. Ferner ist es wichtig, möglichst frühzeitig Aspekte der Fertigung ins Kalkül zu ziehen, da Kosten und Zuverlässigkeit der Baugruppe maßgeblich durch ihre Herstellung beeinflusst werden.

Um die Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen methodisch zu unterstützen, wird im Verbundprojekt INERELA – Integrative Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen (BMBF-Rahmenprogramm „Forschung für die Produktion von morgen“) eine Entwicklungsumgebung erstellt. Die Entwicklungsumgebung besteht aus einer Entwicklungssystematik, einer Spezifikationstechnik und einer Wissensbasis sowie den zugehörigen Software-Werkzeugen und weiteren Entwicklungstools.

Am Verbundprojekt beteiligt sind der Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann), Universität Erlangen-Nürnberg, das Heinz Nixdorf Institut (Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier und Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek), Universität Pa-

derborn, HARTING Electro-Optics GmbH & Co. KG (Espelkamp), Hesse & Knipps GmbH (Paderborn), Hella KG Hueck & Co. (Paderborn) sowie myview technologies GmbH & Co. KG (Büren).

## 2 Entwicklungssystematik für räumliche elektronische Baugruppen

Die Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen ist durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet: Über den Maschinenbau und die Elektrotechnik hinaus sind an der Entwicklung auch Domänen wie die Informationstechnik, die Optik oder die Werkstoffwissenschaften beteiligt. Zum Einsatz kommen zahlreiche spezialisierte Entwicklungswerkzeuge wie z.B. CAD-, FEM- oder SPICE<sup>1</sup>-Tools. Vor dem Hintergrund der sog. Virtualisierung der Produktentstehung spielen die Bildung und die Analyse von Rechnermodellen der in Entwicklung befindlichen Objekte eine Schlüsselrolle. Des Weiteren wächst die Bedeutung des Produktdatenmanagements zur Verwaltung aller produkt beschreibenden Daten.

Bereits in der Entwicklung ist die Planung des Fertigungssystems der räumlichen elektronischen Baugruppe von großer Bedeutung. Zwischen der Gestaltung der Baugruppe und ihrem Fertigungsprozess sowie den Fertigungsanlagen bestehen zahlreiche Abhängigkeiten. Die Entwicklung einer Baugruppe ohne die Betrachtung fertigungstechnischer Aspekte ist nicht zielgerichtet und hat weitreichende Rücksprünge im Entwicklungsprozess zur Folge. Ähnliches gilt für die Wahl von Werkstoffen: Die Entscheidung für einen Werkstoff der Baugruppe ist nicht sinnvoll möglich, ohne das Fertigungssystem zu betrachten.

Vor diesem Hintergrund ist die Bedeutung einer Entwicklungssystematik für die Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen offensichtlich. Eine solche Entwicklungssystematik dient als Leitfaden für die Durchführung konkreter Entwicklungsprojekte. Die Entwicklungssystematik beschreibt die Phasen, Meilensteine und Prozessschritte, die im Entwicklungsprozess zu durchlaufen sind. Darüber hinaus nennt sie die an den einzelnen Prozessschritten beteiligten Personen sowie Methoden und Entwicklungswerkzeuge, mit denen sich die Tätigkeiten unterstützen lassen. Ferner nennt die Entwicklungssystematik Wissensbasen, aus denen die Entwickler diejenigen Informationen beziehen können, die sie für ihre Arbeit benötigen. Dabei steht die Wissensbasis, die Bestandteil der Entwicklungsumgebung für räumliche elektronische Baugruppen ist (siehe Kapitel 4), im Vordergrund. Darüber hinaus finden sich Angaben über weitere öffentlich zugängliche Informationsquellen wie Patentdatenbanken oder virtuelle Fachbibliotheken.

Die Darstellung der Entwicklungssystematik gliedert sich in zwei Ebenen (siehe Bild 1): Die Übersichtsdarstellung zeigt alle Phasen, Meilensteine und Prozessschritte des Entwicklungsprozesses sowie die beteiligten Personen. Weitergehende Informationen zu jedem einzelnen Prozessschritt wie Tätigkeiten, Methoden, Entwicklungswerkzeuge und Wissensbasen sind auf Beiblättern, den so genannten Prozessbausteinen, dargestellt. Darüber hinaus findet der Entwickler hier Angaben zu den Dokumenten, die Ausgangspunkt für den Prozessschritt sind, sowie zu den Ergebnissen, die in dem Prozessschritt zu erzielen sind.

Die Entwicklungssystematik wurde in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern für die im Verbundprojekt betrachteten Produktklassen ausgeprägt. So wurden Projektabwicklungssystematiken und zugehörige Prozessbausteine für die Produktklassen Verbindungstechnik, Mikrosensorik und elektro-optische Systeme erzielt.

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff SPICE-Tools werden verschiedene Entwicklungswerkzeuge zur Modellierung und Simulation elektronischer Schaltungen und Schaltkreise zusammengefasst. (SPICE: Simulation Program for Integrated Circuits Emphasis)

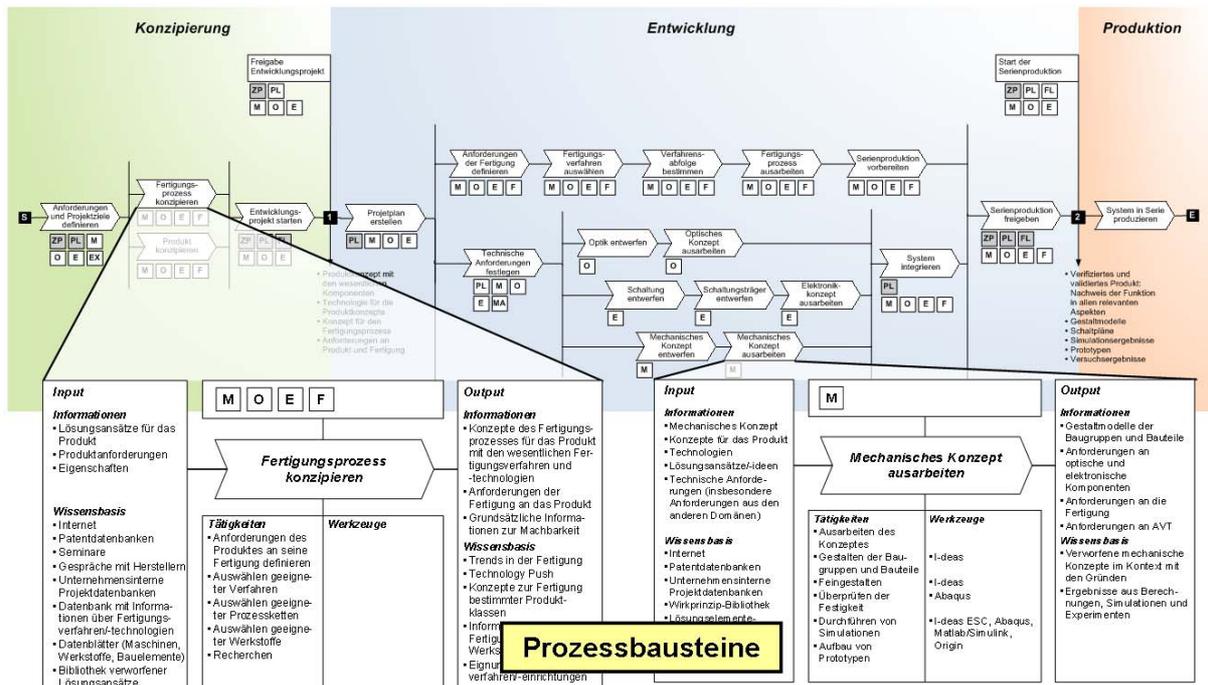


Bild 1: Die Entwicklungssystematik besteht aus einer Übersichtsdarstellung mit den wesentlichen Informationen sowie Prozessbausteinen mit ergänzenden Informationen

Bei der Definition der Entwicklungssystematik wurde besonderes Augenmerk auf die Verknüpfung der Produktentwicklung mit der Entwicklung des Fertigungssystems gelegt. Ziel war, eine Systematik zu definieren, die die frühzeitige Betrachtung fertigungstechnischer Aspekte sicherstellt und die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen dem Produkt und seinem Fertigungssystem widerspiegelt. Das Ergebnis ist ein Vorgehensmodell für die Entwicklung des Fertigungssystems, das aus sechs Prozessschritten und Prozessbausteinen besteht und in das Vorgehen der Produktentwicklung integriert ist. Die Prozessschritte sowie einige Beispiele für durchzuführende Tätigkeiten sind Bild 2 zu entnehmen.

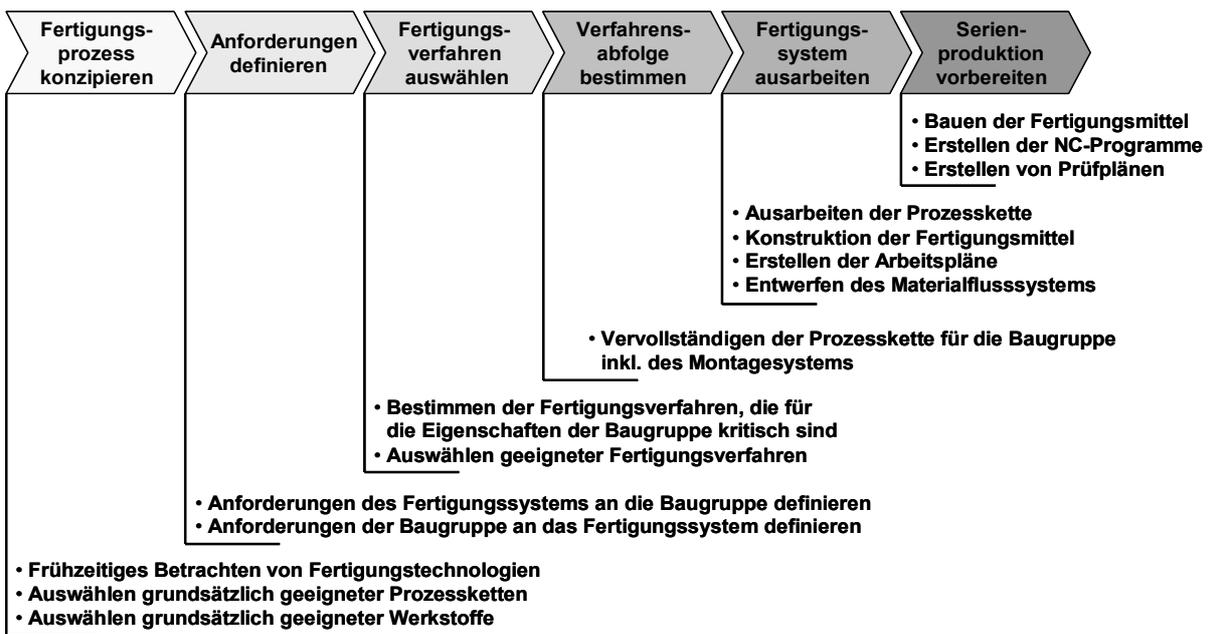


Bild 2: Vorgehensmodell für die Entwicklung des Fertigungssystems

Die Entwicklungssystematik wird den Entwicklern IT-unterstützt zugänglich gemacht. Die Entwickler können so von ihrem Arbeitsplatz aus auf alle wichtigen Informationen zugreifen. Weitere Details zur Einbettung in die Entwicklungsumgebung finden sich in Kapitel 5.

### 3 Ganzheitliche domänenübergreifende Spezifikation der Prinziplösung und der Wirkstruktur

An der Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen sind zahlreiche verschiedene Ingenieurdisziplinen wie Mechanik, Elektronik, Optik und Software beteiligt. In diesen Disziplinen gibt es etablierte Spezifikationstechniken, mit denen z.B. die Gestalt der Baugruppen oder das Verhalten ihrer elektronischen Komponenten beschrieben werden kann. Solche Spezifikationstechniken sind z.B. CAD-Modelle im Maschinenbau, VHDL<sup>2</sup> in der Mikroelektronik oder UML<sup>3</sup> in der Softwaretechnik. Diese Spezifikationstechniken sind stark auf die Belange der jeweiligen Disziplin zugeschnitten und eignen sich in der Regel nicht dazu, die Baugruppe domänenübergreifend abzubilden. In den frühen Phasen der Entwicklung einer räumlichen elektronischen Baugruppe besteht jedoch die Notwendigkeit, eine ganzheitliche domänenübergreifende Spezifikation zu erstellen. Diese Spezifikation dient als Grundlage für die Diskussion der beteiligten Entwickler. Sie ermöglicht es ihnen, sich untereinander über die Lösungskonzeption der Baugruppe – die sog. Prinziplösung – zu verständigen und Konsens zu erzielen.

Weiterhin sind räumliche elektronische Baugruppen durch starke wechselseitige Abhängigkeiten zwischen ihren Komponenten sowie dem Fertigungssystem geprägt. Diese wechselseitigen Abhängigkeiten müssen bereits in den frühen Phasen der Entwicklung identifiziert und eventuelle Störeinflüsse durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden. Der geeignete Ansatzpunkt hierzu ist die Prinziplösung. Mit der Prinziplösung werden die Wirkprinzipien<sup>4</sup> und Lösungselemente<sup>5</sup> der Baugruppe festgelegt. Deren wesentlichen Eigenschaften müssen vorliegen; sie werden mit der Prinziplösung spezifiziert. Dadurch ist es möglich, die Wirkstruktur der Baugruppe zu spezifizieren und unerwünschte gegenseitige Beeinflussungen zu erkennen. Neben der Wirkstruktur innerhalb der Baugruppe ist dabei auch das Wirkgefüge zwischen der Baugruppe und ihrem Fertigungssystem ins Kalkül zu ziehen.

Ausgangspunkt für eine geeignete Spezifikationstechnik ist die Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen [1]. Als Basiskonstrukte für die graphische Modellierung der Prinziplösung stellt die Methode Wirkprinzipien und Lösungselemente sowie beliebige Aggregationen daraus bereit. Zur fachbezogenen Spezifikation des Verhaltens und der Gestalt von Systemelementen verweist die Methode auf die in den Domänen etablierten Modelle. Die Spezifikation des Zusammenwirkens der Basiskonstrukte erfolgt mit sog. verhaltensbestimmten und randbedingungsbestimmen Assoziationsbeziehungen. Verhaltensbestimmungen zeigen das Zusammenwirken von Wirkprinzipien und Lösungselementen an, z.B. die Übertragung von Steuersignalen von einem Mikrocontroller auf einen Aktor. Randbedingungen beschreiben nichtfunktionale Abhängigkeiten wie z.B. die Festlegung einer Zielhardware für eine Steuerungssoftware. Damit erfüllt die Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen die Anforderung, eine räumliche elektronische Baugruppe ganzheitlich domänenübergreifend zu spezifizieren.

<sup>2</sup> VLSIC Hardware Description Language (VHSIC: Very High Speed Integrated Circuit), Beschreibungssprache zur Spezifikation digitaler Schaltkreise.

<sup>3</sup> Unified Modeling Language. Der Begriff UML fasst eine Familie verschiedener Spezifikationstechniken aus der Softwaretechnik zusammen.

<sup>4</sup> Wirkprinzip bezeichnet den Zusammenhang von einem physikalischen Effekt mit stofflichen und geometrischen Eigenschaften (Wirkgeometrie, Wirkbewegung und Werkstoff). [2]

<sup>5</sup> Als Lösungselement wird eine realisierte Lösung zur Erfüllung einer Funktion bezeichnet.

Die Modellierung der wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten der Baugruppe erfolgt mit Hilfe von Stoff-, Energie- und Signalflüssen, wie sie aus der Konstruktionsmethodik bekannt sind (z.B. [2], [3]). Um die Abhängigkeiten eindeutig spezifizieren zu können, muss jeweils die Qualität und Quantität der Flussgröße angegeben werden. In den frühen Phasen, besonders bei Betrachtung von Wirkprinzipien, steht jedoch die Ausprägung der Flussgrößen noch nicht fest. Zu diesem Zeitpunkt kann die Beschreibung der Wirkstruktur mit allgemeinen Flussgrößen wie dem Fluss mechanischer, elektrischer oder thermischer Energie erfolgen.

Zur Modellierung der Wirkstruktur wird jedes Wirkprinzip und Lösungselement, das in die Prinziplösung aufgenommen wird, zunächst über seine Eingangs- und Ausgangsflussgrößen spezifiziert. Für das Wirkprinzip „Leuchtdiode“ sind Eingangsflussgrößen z.B. elektrische Spannung und Strom zur Energieversorgung sowie die Ansteuersignale, die in diesem Fall an Spannung und Strom gebunden sind. Für ein entsprechendes Lösungselement liegt eine vollständige Spezifikation vor. Für Qualität und Quantität der Eingangs- und Ausgangsflussgrößen lassen sich somit konkrete Werte angeben. Ein Lösungselement für das Wirkprinzip „Leuchtdiode“ ist z.B. „Lumileds LXHL BLO I“, die u.a. über einen Durchlassstrom von 385 mA und eine Durchlassspannung von 2,85 V spezifiziert wird.

Die Wirkstruktur der Baugruppe wird über die Verkettung der Eingangs- und Ausgangsflussgrößen der Systemelemente modelliert. Die Flussgrößen für Wirkprinzipien und Lösungselemente können in unterschiedlichen Detaillierungsgraden vorliegen. Flussgrößen auf demselben Detaillierungsgrad können unmittelbar verknüpft werden. Flussgrößen, die sich qualitativ entsprechen, können zunächst vorläufig verknüpft werden. Sobald für die beteiligten Systemelemente konkrete Werte vorliegen, ist die Verträglichkeit der Flussgrößen zu überprüfen und ggf. eines der beiden Systemelemente zu überarbeiten. Jede Ausgangsflussgröße eines Wirkprinzips bzw. Lösungselement muss mit einer Eingangsflussgröße eines anderen Wirkprinzips bzw. Lösungselements verknüpft werden, ggf. sind weitere Systemelemente als Quelle bzw. Senke zu ergänzen.

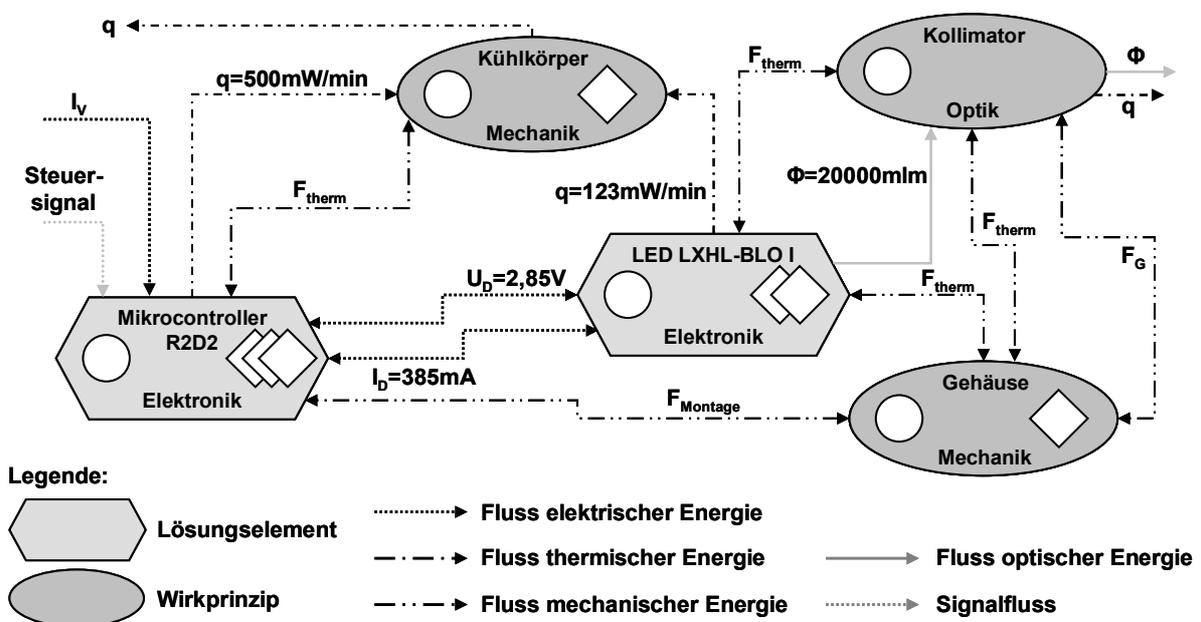


Bild 3: Spezifikation des Wirkgefüges über die Verkettung von Eingangs- und Ausgangsflussgrößen

Mit Hilfe der Wirkstruktur ist es möglich, Synergien, aber auch Inkompatibilitäten zwischen Systemelementen zu erkennen. Insbesondere erlaubt die Modellierung der Wirkzusammen-

hänge jedoch, unerwünschte oder schädliche Einflüsse eines Systemelements auf andere zu identifizieren. Ein Beispiel hierfür ist die Wärmestrahlung, die die Leuchtdiode in eine Kollimator-Linse einkoppelt und die dort zu Verformungen führt (siehe Bild 3). Werden diese sog. parasitären Effekte sichtbar gemacht, können die Entwickler frühzeitig auf andere, besser geeignete Wirkprinzipien bzw. Lösungselemente wechseln oder die Struktur der Baugruppe so ändern, dass parasitäre Effekte umgangen werden.

Für die grafische Modellierung der Prinziplösung und der Wirkzusammenhänge wird ein Software-Werkzeug auf Basis von iGrafx Professional entwickelt. Das Werkzeug erlaubt das komfortable Definieren und Visualisieren der Konstrukte sowie das Modellieren der Wirkzusammenhänge. Ferner ist das Werkzeug mit den Bibliotheken für Wirkprinzipien und Lösungselemente (siehe Kapitel 4) verknüpft. Die Informationen aus der Wissensbasis lassen sich in das Werkzeug übernehmen und für das Modell der Prinziplösung verwenden.

## 4 Wissensbasis für die Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen

Räumliche elektronische Baugruppen integrieren in vielen Fällen bewährte Lösungselemente wie elektronische Bauteile (Mikrochips, Widerstände, etc.) mit grundsätzlich neuen Lösungsansätzen. Um diese Komponenten sinnvoll zu einer Baugruppe kombinieren zu können, benötigt der Entwickler umfassende Informationen über solche Lösungselemente, aber auch über die physikalischen Effekte, Wirkprinzipien und Werkstoffe, die den Ausgangspunkt für neue Lösungsansätze bilden. Hinzu kommt, dass die Gestaltung der Baugruppe starke wechselseitige Abhängigkeiten mit der Gestaltung des Fertigungssystems zeigt. Somit sind Informationen über Fertigungsverfahren und -anlagen ebenfalls von großer Bedeutung.

Webbasierte Wissensbasen dienen dazu, dem Entwickler solche Informationen an seinem Arbeitsplatz zugänglich zu machen. Die hier vorgestellte Wissensbasis umfasst Bibliotheken für Wirkprinzipien, Lösungselemente, Lösungsansätze, Werkstoffe und Fertigungsverfahren. Ergänzt wird sie durch extern zugängliche Datenbanken mit Patenten, Fertigungsanlagen und realisierte Baugruppen.

Zur Strukturierung der Bibliotheken werden die Inhalte klassifiziert. Als Klassifikation wird in diesem Zusammenhang die hierarchische Aufteilung aller Elemente einer Bibliothek in Gruppen und Untergruppen verstanden (z.B. besteht die Klasse „Motoren“ der Lösungselemente-Bibliothek aus den Klassen „Verbrennungsmotoren“ und „Elektromotoren“. Die Klasse „Elektromotoren“ setzt sich wiederum zusammen aus „Synchronmotoren“, „Asynchronmotoren“ und „Schrittmotoren“). Für jede Klasse lassen sich die relevanten Merkmale und Ausprägungen definieren. Die Navigation innerhalb der einzelnen Bibliotheken ist anhand der Klassifikation sowie durch die Suche nach einzelnen Merkmalen oder eine Volltextsuche möglich.

Die Informationen der Bibliotheken sind nicht isoliert voneinander in der Wissensbasis abgelegt, sondern vielfach miteinander verknüpft. Beispiele für solche Verknüpfungen sind:

- Eine der Informationen zu einem Lösungselement ist das Wirkprinzip, auf dem es beruht. Eine Verknüpfung führt in die Wirkprinzip-Bibliothek, wo der Entwickler Informationen über dieses Wirkprinzip findet.
- In der Lösungselemente-Bibliothek sind Informationen über geeignete Fertigungsverfahren zur Weiterverarbeitung des Lösungselementes enthalten. Die Fertigungsverfahren-Bibliothek verweist wiederum auf die Datenbank mit Fertigungsanlagen.

Durch die Verknüpfung der Bibliotheken führt die Wissensbasis alle Informationen zusammen, die der Entwickler zum Lösen seines aktuellen Problems benötigt, und macht sie an

seinem Arbeitsplatz zugänglich. Informationen zur Einbindung der Wissensbasis in die Entwicklungsumgebung finden sich in Kapitel 5.



Bild 4: Screenshot aus der Lösungselemente-Bibliothek. Auf der linken Seite ist die Klassifizierung der Lösungselemente zu erkennen. Die rechte Seite zeigt die Merkmale, Ausprägungen und Verknüpfungen mit den weiteren Bibliotheken für das Lösungselement „LXHL-BLO I“.

## 5 Entwicklungsumgebung für räumliche elektronische Baugruppen

Die Anwendung der drei oben beschriebenen Komponenten jeweils für sich unterstützt die Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen bereits hervorragend. Wie schon in den Kapiteln jeweils angedeutet, sind diese Komponenten jedoch nicht als monolithische Bausteine ausgelegt, sondern stark untereinander vernetzt. Dadurch entsteht eine Entwicklungsumgebung, die neben den drei genannten Werkzeugen auch die spezialisierten Entwicklungswerkzeuge wie CAD- oder SPICE-Tools zusammenführt und dem Ingenieur an seinem Arbeitsplatz zugänglich macht.

Zentraler Einstieg in die Entwicklungsumgebung ist die Bedienoberfläche der Entwicklungssystematik. Neben den Informationen zur Abfolge der Prozessschritte und den beteiligten Personen findet der Entwickler in den Prozessbausteinen weitergehende Informationen zu den Prozessschritten. Die Prozessbausteine sind mit den Entwicklungswerkzeugen, die den Prozessschritt unterstützen, sowie der Wissensbasis verknüpft, so dass sie aus der Benutzungsoberfläche der Projektabwicklungssystematik heraus genutzt werden können.

Ein mächtiges Entwicklungswerkzeug entsteht durch die Verknüpfung des Prinziplösungsmodellierers mit der Wissensbasis. Besonders hervorzuheben ist die Anbindung der Wirkprinzip-, Lösungselemente- und Lösungsansatz-Bibliothek an den Prinziplösungsmodellierer: Der Entwickler kann beim Modellieren der Prinziplösung und der Wirkzusammenhänge in den Bibliotheken recherchieren und Informationen daraus direkt in das Modell der Prinziplösung übernehmen. Zu diesem Zweck enthält die Benutzungsoberfläche des Prinziplösungsmodellierers eine Schnittstelle, in der auch weitere Informationen über das Wirkprinzip bzw.

Lösungselement angegeben sind (z.B. Domäne, Verhaltens- und Gestaltmodelle, Freigabestatus etc.). Über die Schnittstelle gelangt er direkt zu den Navigations- und Suchfunktionen der Wissensbasis. Nach erfolgreicher Recherche übergibt die Wissensbasis die Ergebnisse an den Prinziplösungsmodellierer. Sie werden dort mit der Prinziplösung gespeichert. Für die Darstellung weitergehender Informationen über ein Wirkprinzip oder Lösungselement greift der Prinziplösungsmodellierer auf die Daten der Wissensbasis zu. Der Prinziplösungsmodellierer und die Wissensbasis greifen somit auf ein gemeinsames Datenmodell zu.

Zu der Entwicklungsumgebung zählen auch die hochspezialisierten Entwicklungswerkzeuge der beteiligten Ingenieurdisziplinen wie z.B. CAD-, FEM oder SPICE-Tools. Sowohl aus der Entwicklungssystematik als auch aus dem Prinziplösungsmodellierer heraus ist der Einstieg in diese Tools möglich. Hierzu stehen dem Entwickler Vorlagen- und Konfigurationsdateien bereit. Die Kopplung des Prinziplösungsmodellierers mit den Entwicklungswerkzeugen ist ähnlich der Kopplung mit den Wissensbasen: Der Entwickler kann aus dem Prinziplösungsmodellierer auf die Modelle, die mit den Entwicklungswerkzeugen erstellt werden, zugreifen und diese mit der Prinziplösung speichern. Zur informationstechnischen Kopplung oder Integration der Entwicklungstools untereinander wird auf bestehende Integrationsmechanismen und Tools der Industriepartner zurückgegriffen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt Forschungsergebnisse aus dem Verbundprojekt „INERELA – Integrative Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen“. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Produktion und Fertigungstechnologien, Forschungszentrum Karlsruhe betreut.

## 6 Literatur

- [1] Gausemeier, J./Ebbesmeyer, P./Kallmeyer, F.: Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. Carl Hanser Verlag, 2001.
- [2] Pahl G. Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin 1997
- [3] Koller, R./Kastrup, N.: Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1998.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier  
Dipl.-Wirt.-Ing. Jan Stefan Michels  
Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Peitz  
Heinz Nixdorf Institut  
Universität Paderborn  
Fürstenallee 11, D-33102 Paderborn  
Tel: +49-5251-606262  
Fax: +49-5251-606268  
E-Mail: [juergen.gausemeier@hni.upb.de](mailto:juergen.gausemeier@hni.upb.de)  
[jan.stefan.michels@hni.upb.de](mailto:jan.stefan.michels@hni.upb.de)  
[thomas.peitz@hni.upb.de](mailto:thomas.peitz@hni.upb.de)  
URL: <http://www.hni.upb.de/rip>