

# 1 Einleitung

## 1.1 Übersicht über den Sonderforschungsbereich 374

### 1.1.1 Ziele

Seit einigen Jahren sind die Märkte von mehreren Faktoren geprägt: Die Kundenwünsche werden differenzierter, die Konkurrenz internationaler und die Produktentwicklungszeiten kürzer. Diese Umfeldfaktoren waren ein Treiber für die Gründung des Sonderforschungsbereichs. Bis heute hat sich die Situation weiter verschärft. Wenn ein Unternehmen im Wettbewerb bestehen will, muss es sich von anderen Unternehmen abheben. Dies geschieht in der Regel durch einen Qualitäts-, Preis- oder Zeitvorteil gegenüber der Konkurrenz. Es müssen also differenzierte Kundenwünsche möglichst schnell in geforderter Qualität befriedigt werden können. Laut der BMBF-Studie „Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2006“ (Legler, H.; Gehrke, B.; BMBF, 2006) liegt Deutschland im Bereich der Spitzentechnologie im Vergleich zu anderen Industrieländern auf einem Mittelfeldplatz. Spitzentechnologien erfordern Innovationen. Innovationen benötigen Methoden und Werkzeuge, welche die gerade bei Spitzentechnologien inhärente hohe Dynamik des Innovationsprozesses bewältigen können.

Hier setzt das in diesem Buch beschriebene Konzept des Rapid Product Development an. Iterativ einsetzbaren Instrumenten wurden entwickelt. Diese können kurzfristig an ein verändertes Unternehmensumfeld anpassen können. Dabei können kontinuierlich die Anspruchsgruppen des Unternehmens, wie beispielsweise Kunden integriert werden. Dadurch wird der Innovationsprozess beschleunigt und die Innovationsfähigkeit erhöht.

Die in der Produktentwicklung durch die Umfeldbedingungen entstehenden Probleme lassen sich in vier Bereiche einordnen: Kosten-, Zeit und Qualitätsmanagement, Arbeitswissenschaftliche Grundlagen, IT-Unterstützung sowie Prototypenerstellung, wie in Abb. 1.1 dargestellt wird.

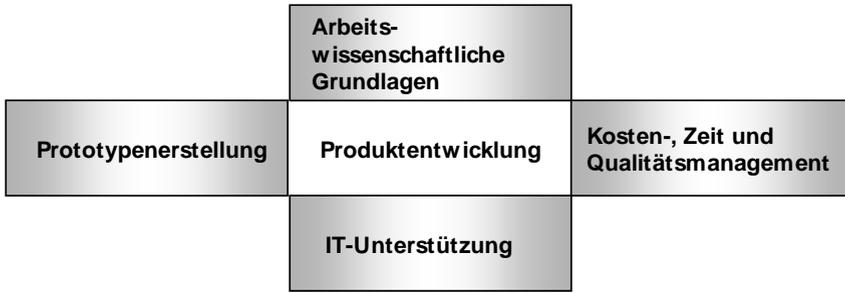


Abb. 1.1. Problembereiche des Produktentwicklungsprozesses

## 1.1.2 Überblick

### ***Grundlagen des Rapid Product Development***

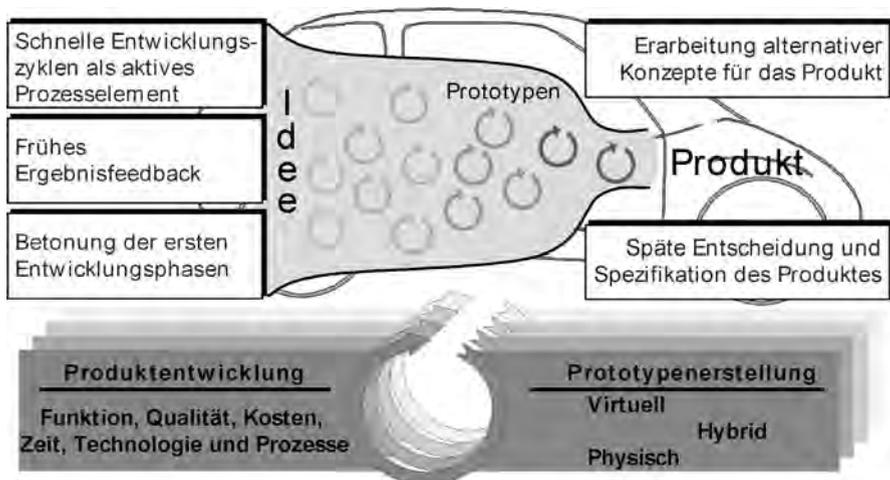
Die Forderungen nach kürzeren Entwicklungszeiten, höherer Produktqualität und schnellerer Reaktionsgeschwindigkeit auf Kundenwünsche bei gleichzeitig immer geringeren Budgets und steigender Produktkomplexität haben die Produktentwicklung zu einem entscheidenden Faktor für den Unternehmenserfolg gemacht und zwingen zu neuen Ansätzen und Lösungen. Besonders zu Beginn einer Entwicklung neuer und innovativer Produkte sind sichere Aussagen bezogen auf die Qualität, die Kosten und die Entwicklungszeit eines Produkts schwer oder gar nicht zu treffen. Bedingt ist dies durch die hohe Komplexität in der Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte.

Daher hatte der Sonderforschungsbereich (Sfb) 374 „Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte - Rapid Prototyping“ als Ziel - unter Einbeziehung eines evolutionär iterativen Ansatzes - Methoden zu erarbeiten, mit deren Hilfe aus den zur Verfügung stehenden Daten während des Entwicklungsfortschrittes schneller gesicherte Aussagen zu treffen sind. Deshalb steht eine frühe Verfügbarkeit der Daten hinsichtlich der Kriterien Kosten, Zeit und Qualität im Betrachtungsmittelpunkt. Im Rahmen der Arbeiten im Sfb 374 hat sich gezeigt, dass neben der technischen Verfügbarkeit von Daten und Informationen, insbesondere auch die Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten gestärkt werden muss. Das zukünftige Vorgehen im Rahmen einer innovativen Produktentwicklung muss daher sowohl die Zusammenarbeit der verteilt arbeitenden Experten, als auch die unterstützenden Technologien berücksichtigen. Um die Komplexität der Produkte, der Verfahren und der zur Verfügung stehenden Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Daten und Informationen zu verringern, sind Technologien notwendig, die diese Abhängigkeiten handhabbar machen kön-

nen. Die Themenstellungen im Sonderforschungsbereich waren deshalb die Herstellung virtueller und physischer Prototypen, die Vernetzung des Wissens in der Konstruktion, die integrative Betrachtung der Zeit-, Kosten- und Qualitätsanforderungen, die arbeitswissenschaftliche Betrachtung der verteilten und multidisziplinär arbeitenden Teams sowie die Entwicklung unterstützender Medien im Rahmen der Informations- und Kommunikationstechnologie.

Zur Lösung der beschriebenen Probleme bei der Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte wurde im Sonderforschungsbereich die Methode des Rapid Product Development (RPD) erarbeitet. Eigenschaften dieses Konzepts evolutionärer, iterativer Produktentwicklung sind die gezielte Nutzung schneller Iterationszyklen, die situationsgerechte Verwendung von Prototypen sowie die dezentrale Struktur selbstorganisierter, vernetzter Teams.

Der evolutionäre Charakter zeigt sich an dem gewollten Wettstreit verschiedener Lösungsalternativen, deren Kombination und Weiterentwicklung sowie deren Anpassung an sich ändernde Marktbedingungen. Hierzu müssen frühzeitig Erkenntnisfortschritt und Wissenszuwachs unterstützt sowie Fehlentwicklungen vermieden werden (s. Abb. 1.2.).



**Abb. 1.2.** Konzept des Rapid Product Development

Die Entwicklung einer integrativen Softwareplattform wurde genau so intensiv durchgeführt wie die Entwicklung in den Bereichen des Rapid Prototyping: physisches, virtuelles sowie hybrides Prototyping. Abgerundet wurde dies durch die Diskussion mit Praktikern, insbesondere mit dem

Projektpartner DaimlerChrysler, durch die Anregungen für die Forschung eingebracht werden können.

### ***Virtuelle, physische und hybride Prototypen***

Ein Schwerpunkt der Arbeiten im Sfb ist die Erstellung virtueller, physischer und hybrider Prototypen. Auf diesen Themenbereich konzentrieren sich die Arbeiten im Teilbereich D (s. Abb. 1.4.) des Sfb.

Die zunehmende Komplexität von Produkten, gestiegene Qualitätsanforderungen sowie kürzere Entwicklungszeiten erfordern schon in frühen Phasen der Produktentwicklung einen umfassend bewertbaren Prototypen. Virtuelle Prototypen sind Bauteile, die nur im Computer existieren, an denen jedoch Simulationen und Berechnungen durchgeführt werden können.

In Zukunft werden Kombinationen aus virtuellen und physischen Prototypen, die sogenannten Hybride, immer interessanter mit denen eventuelle Modifikationen bereits bestehender Bauteile durch Überlagerung verglichen und bewertet werden können. Für die physische Generierung der im Computer modellierten virtuellen Komponenten werden Verfahren des Rapid Prototyping eingesetzt.

Mit diesen beiden Entwicklungsprozessen lassen sich schon frühzeitig detaillierte Eigenschaften über das spätere Produkt ermitteln.

Die Einbindung der Rapid-Prototyping-Technologie in die Entwurfs- und Konzeptionsphasen der Produktentwicklung wird bisher in der Industrie nur in geringem Umfang realisiert. Zwar finden sich Ansätze (schnelle Verifikation von Entwürfen in Concept Modelling Systemen), diese sind jedoch nicht durchgängig methodisch ausgeprägt. Bisher erfolgt die Erstellung von Design-Formmodellen aus Materialien wie Clay oder Schaumstoff größtenteils per Hand. Das Ziel war jedoch Verfahren zur Verfügung zu stellen, die eine automatisierte Erzeugung konzeptioneller Prototypen gestatten. Dazu ist es notwendig, Konzepte und Entwürfe, die mit konventionellen Designmitteln, wie Skizzen oder handgefertigten Formmodellen, entwickelt wurden, in virtuelle Modelle zu überführen und in den Rapid Product Development-Prozess zu integrieren. Dem Designer bleibt die Gestaltungsfreiheit am physischen Modell erhalten, während ihm gleichzeitig virtuelle Werkzeuge zur Verifizierung und Präsentation seiner Konzepte in die Hand gegeben werden.

### ***Kosten-, Zeit und Qualitätsmanagement***

Die Wettbewerbsposition eines Unternehmens wird entscheidend von der Fähigkeit bestimmt, eine Leistung am Markt anbieten zu können, die für den Kunden das Optimum aus kostenmäßigen, zeitlichen und qualitativen

Eigenschaften darstellt. In der Produktentwicklung müssen zur drastischen Reduzierung von später auftretenden Änderungskosten sowie der Vermeidung von verspäteten Produktstarts bereits in den frühen Phasen der Konstruktion Zuverlässigkeitsbetrachtungen und Kostenanalysen durchgeführt, eine flexible Planung implementiert sowie Qualitätsaussagen getroffen werden.

Deshalb wurde ein Referenzmodell des Qualitätsmanagements in Entwicklungsnetzwerken des RPD erstellt, das alle qualitätsrelevanten Bausteine für Entwicklungsnetzwerke wie Kommunikation, Datenmodellierung, Produkt- und Prozessqualitätsmanagement usw. integriert. Durch ihre Kombination können sowohl bekannte, als auch neue Qualitätsmanagement-Methoden mit integrierter Funktionalität entstehen.

Zudem sind schon in den frühen Phasen der Produktentwicklung Planungsmethoden und -instrumente notwendig, die eine enge Zusammenarbeit multidisziplinärer Experten-Teams innerhalb des RPD hinsichtlich des Projektmanagements unterstützen.

Sie müssen in der Lage sein, die sich in den Iterationszyklen dynamisch verändernden Strukturen bei der Planung zu berücksichtigen. Es wurde deshalb ein Planungssystem entwickelt, das ein problemorientiertes Management von Kompetenzen und darauf aufbauend die Implementierung von dynamischen Abstimmungsmechanismen zur Beschleunigung von Planungsentscheidungen unterstützt.

Aufgrund des steigenden Kostendrucks müssen schon in der Konstruktion die Weichen für eine effiziente Entwicklung innovativer und trotzdem möglichst ausgereifter und marktoptimierter Produkte gestellt werden. Es wurde daher der Prototyp eines Konstruktionssystems entwickelt, der den Aufbau eines Aktiven Semantischen Konstruktionsnetzes (ASK) beinhaltet. Das ASK beinhaltet auch Funktionalitäten, die eine noch effizientere sowie kosten- und zuverlässigkeitsoptimierte Konstruktion unterstützen, sowie eine phasenunabhängige Modellierung des Konstruktionsproblems ermöglichen. Dadurch wird eine optimierte Kooperation und Kommunikation multidisziplinärer Entwicklungsteams ermöglicht, in dem das ASK u.a. als Basis zur Integration von Zeit, Kosten und Qualität dient.

### ***Arbeitswissenschaftliche Grundlagen***

Durch die Zusammenführung von Expertenwissen aus unterschiedlichen Bereichen in kooperativen Teams verspricht man sich synergetische Effekte sowie die Nutzung und Verstärkung der kreativen Potenziale der Teammitglieder; durch das iterative Vorgehen kann auf das Produkt im Vergleich zu einem sequenziellen Vorgehen wesentlich länger Einfluss genommen werden. Die Schwerpunkte der Untersuchungen im Bereich A

(s. Abb. 1.4.) in der vierten Förderperiode lagen abschließend in der Entwicklung von Gestaltungsempfehlungen und Instrumenten für die Unterstützung interdisziplinärer, kooperativer Arbeiten in RPD-Teams.

### ***Integrierte Softwareplattform***

Die Forschungsaktivitäten des Sfb 374 konzentrierten sich auch auf die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Verkürzung der Iterationszyklen in der Produktentwicklung. Mit dem Aktiven Semantischen Netz (ASN), wird innerhalb des RPD die zentrale softwaretechnische Integrationskomponente zur Verfügung gestellt.

Es wurde eine Integrationsplattform als Bindeglied zwischen ASN und Anwender auf der Basis eines Multiagentensystems entwickelt und prototypisch realisiert. Ziel der Integrationsplattform war die Bereitstellung von Middleware-Funktionalitäten, die zum einen den Zugriff auf das Aktive Semantische Netz (ASN) auf einer höheren Abstraktionsebene ermöglichen, und zum anderen plattformunabhängige Koordinationsmöglichkeiten für die RPD-Anwendungen bieten.

Es wurden die Aspekte einer technisch unterstützten Kooperation zwischen Teammitgliedern in Entwicklungsprozessen und deren Anwendbarkeit auf das RPD näher untersucht. Die Untersuchungen im Sonderforschungsbereich haben gezeigt, dass Kommunikation, Koordination und Wissensintegration entscheidende Faktoren für die effiziente Zusammenarbeit in multidisziplinären Teams sind. Der intensive Austausch von Wissen muss auf Strukturen basieren, die einer direkten (d.h. nicht durch ein Medium gefilterten) Kommunikation nahe kommen, um die durch die Dezentralisierung der Teams gesetzten räumlichen und zeitlichen Barrieren zu minimieren.

Ein Prototyp für ein integriertes Kommunikationssystem für vernetztes Arbeiten mit den Schwerpunkten multidisziplinäre Teamkommunikation und die Team-Team-Zusammenarbeit wurde realisiert.

## **1.1.3 Prototypen im RPD**

### ***Einsatz virtueller Prototypen***

Der Einsatz der Virtuellen Realität (VR) als Werkzeug zur Gestaltung, Evaluierung und Unterstützung der Kooperation im Entwicklungsprozess war ein Schwerpunkt im Sfb 374. Im Rahmen der Darstellung von Prototypen schafft VR neue Möglichkeiten.

Im Vordergrund stehen dabei formale Aspekte, Funktionalität, Montagemöglichkeiten, Fertigungsaspekte, Sicherheitsfragen oder physikalisch-technische Vorgänge. Ein Bereich ist die Erforschung der Wahrnehmung der Anwender in unterschiedlichen virtuellen Umgebungen (z.B. Mehrwandprojektions-Systeme) in Verbindung mit verschiedenen Interaktionskonzepten zur Gestaltung, Simulation, Montage/Demontage und Überprüfung von Fertigungsaspekten. Für die Entwicklung wird dazu das fast vollständige Spektrum heute erhältlicher VR-Ein- und Ausgabesysteme genutzt. Ein Forschungsschwerpunkt lag in der Untersuchung von Integrationsformen unterschiedlicher Aufgabenstellungen in virtuellen Umgebungen.

Die relevanten VR-Werkzeuge wurden in eine gemeinsame Benutzungsumgebung integriert, was die Produktentwicklung von der Idee bis zur Erstellung des Prototyps unterstützt. Durch die fortschreitende Arbeitsteilung bei der Entwicklung von Produkten ergibt sich weiterhin ein wachsender Bedarf an Kooperationen, beispielsweise von Berechnungsingenieuren, die an verschiedenen Standorten arbeiten. Durch die Verfügbarkeit von Hochgeschwindigkeitsnetzen haben sich klassische CSCW- Werkzeuge (computer supported cooperative work), wie Video-Konferenzsysteme, shared Notepads oder E-Mails als Alltagswerkzeuge etabliert. Somit stellen kooperative virtuelle Umgebungen eine konsequente Weiterentwicklung in diese Richtung dar und eröffnen ein bisher nicht erreichtes Potential bei der Zusammenarbeit von dezentralen Entwicklungsteams. Um jedoch eine effiziente Zusammenarbeit in einer kooperativen Sitzung gewährleisten zu können, mussten neue Interaktions- und Kooperationsmethoden entwickelt werden, die ein gemeinsames Navigieren und Interagieren erlauben und dabei den Anwender nicht wie bei einer Master/Slave-Synchronisation einschränken, d.h. ein spontanes Arbeiten behindern. Um die Effizienz bei der Auswertung beispielsweise von Berechnungsergebnissen mit Hilfe von VR-Technologien zu steigern, mussten für die fachspezifischen Anforderungen an die eingesetzte Hardware angepasste Interaktionsmethoden entwickelt werden. Sie sind intuitiv zu bedienen und ermöglichen eine präzise Interaktion mit dem virtuellen Prototyp. Durch Einsatz von haptischen Eingabegeräten wird dabei der Tastsinn des Benutzers mit ausgenutzt. Die derzeit masselose Welt der virtuellen Prototypen wird dadurch realistischer und einfacher zu bedienen. Dem Benutzer wird ein realistischerer Eindruck der manuellen Tätigkeit vermittelt, wenn er Gegenstände anfassen und spüren kann.

Für diese Umsetzung mussten Schwerpunkte vertieft werden wie die Untersuchung von Maßnahmen, um immersive, virtuelle Umgebungen aus den Laborbedingungen in ergonomische Industriearbeitsplätze zu überführen. Des Weiteren mussten 3D-Formen und -objekte in immersiver und

virtueller Umgebung generiert und modifiziert werden. Als letzter Schwerpunkt wurde die manuelle Montage/Demontagetätigkeit in virtuellen Prototypen vertieft, die durch den Einsatz von haptischen Wahrnehmungen durch Weiter- und Neuentwicklungen bestehender Haptikhardware verbessert wurde.

Vor allem für die multidisziplinäre Zusammenarbeit in virtuellen Umgebungen wurden neue Konzepte benötigt, die es ermöglichen, Daten der unterschiedlichsten Bereiche direkt am virtuellen Prototypen einblenden zu können. So genannte Metadaten und ihre Zusammenhänge aus den Bereichen der Produkt-, Zeit- und Kostenplanung sowie des Qualitätsmanagements sollen für Besprechungen und Präsentationen den Anwendern in der virtuellen Umgebung zugänglich gemacht werden. Zudem können Prototypen nicht nur aus virtuellen sondern auch in Verknüpfung mit physischen Teilprototypen bestehen. Mit dem so genannten hybriden Prototypen ist es nun möglich, die Vorteile beider Bereiche miteinander zu verbinden. Hybride Prototypen werden dazu verwendet, physikalische Effekte an realen Prototypen darzustellen und kontextbezogen auszuwerten. Konstruktionsvarianten können durch Überlagerung der Modifikationen über die vorliegende Ausgangsversion des Prototyps dargestellt und miteinander verglichen werden. In Zukunft soll es möglich sein, reale Bauteile ohne das Anbringen von Markern mit virtuellen Darstellungen zu überlagern.

### ***Verfahren und Prozesse im RPD für die Erstellung von Prototypen***

Im RPD werden (im Sinn von CAD-Modellen) unvollständig ausgelegte Designmodelle zu rapid-prototyping-fähigen Modellen entwickelt. Zur maschinengestützten Herstellung dieser Modelle wurde u.a. das „Multi Material Modelling“ eingesetzt, das in Verbindung mit der Folgetechnologie „Metallische Beschichtung von generativ gefertigten Prototypen“, die Verarbeitung unterschiedlicher Materialien ermöglichte. Somit konnte z.B. in einer Mehrkomponentenbauweise, bei der innerhalb eines Bauteils mehrere Werkstoffe zum Einsatz kommen, die partielle Beschichtung ohne vorherige Maskierung genauer untersucht werden.

Ein Bedarf an Multi Material Prototypen besteht in sämtlichen Bereichen, in denen Prototypen eingesetzt werden, z. B. zu Funktions-, Design- oder Ergonomieuntersuchungen.

Während der ersten Förderperioden wurde ausgehend von verschiedenen Basiskomponenten ein modulares Rapid-Prototyping-System aufgebaut. Dabei wurde von dem Verfahren des Lasergenerierens ausgegangen, bei dem schichtweise dreidimensionale Geometrien aufgebaut werden. In-

dem die dafür benötigten Module, wie Pulverförderer, Laser und Bearbeitungszentrum, möglichst autark gehalten werden, kann nicht nur in Bezug auf das Lasergenerieren ein hoher Grad an Flexibilität erreicht werden, sondern es ist möglich, auch andere Laserprozesse, wie Abtragen oder auch spanende Prozesse, in den Rapid Prototyping Prozess einzubeziehen. Die Weiterentwicklung dieser Idee führt zum „Modularen System“. Dabei wird je nach Anwendungsfall ein Grundmodul „Werkzeugmaschine“ mit weiteren Hardware- oder auch Wissensmodulen kombiniert. Hardwaremodule bezeichnen technisches Equipment, wie Laser und Optik, Wissensmodule hingegen bezeichnen das Wissen, bestimmte Werkstoffe oder Prozesse einsetzen zu können.

### ***Herstellung physischer Prototypen***

Um schnelle und zuverlässige Aussagen zu den einzelnen Eigenschaften und Produktaspekten zu erzielen, werden Technologien und Prozessketten benötigt, welche die zu untersuchenden Eigenschaften des Endprodukts möglichst schnell und genau abbilden. Dieser Ansatz wird im Rapid Prototyping verfolgt. Diese Technologien und Prozessketten sollten sich so ergänzen, dass in Kombination mit den verfügbaren, generativen Fertigungsverfahren Werkzeuge zur effizienten Herstellung eines breiten Spektrums der Prototypablauffolge bereitgestellt werden können. Das Produkt dieser neuen Technologien sind die physischen Prototypen mit funktionellen Eigenschaften. Diese müssen in verschiedenen Stoffen herstellbar sein, um einer optimalen Abbildung der Eigenschaften des Endprodukts möglichst nahe zu kommen. Die am besten geeigneten Technologien und Prozesse unter den Kriterien Qualität, Kosten und Zeit sind zu ermitteln.

Die Zielsetzung des Rapid-Prototyping-Labors zur Herstellung funktionaler und technischer Prototypen mittels Lasertechniken ist die Entwicklung von Verfahren zur schnellen Prototypherstellung. Der Laser bietet sich aufgrund seiner räumlichen und zeitlichen Steuerbarkeit als ideales Werkzeug für den Formgebungsprozess an. Die Lasersinter-Technologie bietet zudem den Vorteil einer breiteren Werkstoffpalette, womit Prototypen mit seriennahem Eigenschaftsprofil realisiert werden können.

Sollen Materialien mit bestimmtem Eigenschaftsprofil im Lasersintern eingesetzt werden, müssen sowohl das Verfahren, insbesondere die Temperaturführung und das Beschichtungssystem, als auch der Werkstoff aneinander angepasst werden. Für Bauteile mit guter Oberfläche muss der Werkstoff als Pulver mit geeigneter Kornform und -größe vorliegen.

Im Bereich der Materialuntersuchung und -entwicklung für das Rapid Prototyping fokussierten sich die Arbeiten des Sfb 374 in den letzten För-

derperioden auf thermoplastische Pulvermaterialien für die Anwendung im Feinguss, auf elastische Pulvermaterialien und auf Bindersysteme für die Verarbeitung keramischer Pulver. Neben den Untersuchungen an wärmeformbeständigen Thermoplasten bildete die Entwicklung des (LS)2I-Verfahrens (Liquid Silicon Infiltration of Lasersintered C-SiC Preforms) zur Herstellung endkonturnaher SiSiC-Keramikprototypen den zweiten Hauptarbeitsbereich.

Da die Verarbeitung von Werkstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen in einem Bauteil mit den verfügbaren RP-Technologien nur eingeschränkt möglich war/ist, wurde die Verknüpfung unterschiedlicher Verfahren untersucht. Das Ziel war die Adaption mehrfacher komplexer Funktionalitäten und Eigenschaften vergleichbarer Bauteile. Untersuchungen der Werkstoffverträglichkeiten bei unterschiedlichen Verfahrenskombinationen standen im Vordergrund. Prototypische Werkzeugverfahren wurden, falls aus verfahrens- oder werkstofftechnischen Gründen erforderlich, mit in die Untersuchungen einbezogen.

Neben der Herstellung der Prototypen, ist besonders im Bereich der Umformtechnik die Werkzeugherstellung von besonderer Bedeutung. Hiermit kann die Überprüfung der Serientauglichkeit des Herstellungsverfahrens durchgeführt werden und es können Prototypbauteile mit Eigenschaften, die denen des Serienbauteils entsprechen, gefertigt werden. Weitere Schwerpunkte sind die Entwicklung eines Expertensystems und der Einsatz der VR-Technologie bei der Werkzeugentwicklung. Durch die Verknüpfung von Konstruktion und FEM-Prozess-Simulation in einer virtuellen Arbeitsumgebung wird der Bauteil- und der Werkzeugentwicklungsprozess beschleunigt. Die VR Technologie ermöglicht durch die dreidimensionale Projektion eine wesentlich anschaulichere Darstellung von Konstruktions- und Simulationsdaten.

Zusammenfassend sieht man, dass die für das Rapid Product Development wichtigen Bereiche des Rapid Prototyping in das Gesamtkonzept des Rapid Product Development integriert werden. Dem Ingenieur wird eine breite Palette an unterschiedlichen Methoden zur frühen Überprüfung und Gestaltung der Konstruktion mittels virtueller, physischer und hybrider Prototypen an die Hand gegeben.

Für diese Problemstellungen wurden innerhalb des Sfb 374 Methoden, Konzepte und erste prototypische Lösungen entwickelt.

### 1.1.4 IT Unterstützung im RPD

#### ***Vernetztes Wissen in der Konstruktion***

Um vernetztes Denken und Handeln in der Konstruktion zu ermöglichen, wurde der Prototyp eines Konstruktionssystems entwickelt, der den Aufbau eines aktiven semantischen Konstruktionsnetzes (ASK) unterstützt.

Das Konstruktionsnetz besteht aus Objekten (Anforderungen, Funktionen, Bauteile) und Beziehungen verschiedenen Typs. Durch die Verwendung von Constraints und Intervallen zur Auslegung ist der Aufbau eines durchgängigen Berechnungsmodells während des Konstruktionsprozesses möglich.

Besonders in den Konzept- und Entwurfsphasen der Produktentwicklung sind viele kreative Leistungen erforderlich. Daher wird eine kontextsensitive Unterstützung für die Anwendung von Kreativitätstechniken zur Verfügung stehen. Hierbei wird zunächst untersucht, welche Kreativitätstechniken in den unterschiedlichen Phasen des computerunterstützten Konstruktionsprozesses geeignet sind und welche sich sinnvoll bei verteilt arbeitenden Konstrukteuren einsetzen lassen. Dadurch können Anforderungen und Erfahrungswissen direkt berücksichtigt werden. Aus den semantischen Beziehungen zwischen den Bauteilen des Konstruktionsnetzes lassen sich das Berechnungsmodell und die topologische Anordnung der Bauteile ableiten. Zur Beherrschung des komplexen Auslegungsmodells über die Bauteile der Konstruktionsnetze hinweg wurde der Prototyp um weitere Strukturierungsmöglichkeiten erweitert. Zur Wiederverwendung entwickelter Bauteile ist eine Suchmöglichkeit auf Basis der Intervalle und Constraints entwickelt worden. Damit Konstruktionen bereits ab einem frühen Zeitpunkt im Team kontrolliert entwickelt werden können, wurden Konzepte zur Segmentierung des Konstruktions- und Berechnungsmodells mittels einer Client-/Server-Struktur und der dazugehörigen Koordinierungsmechanismen realisiert. Einige Produkte können aus zeitlichen Gründen nicht mehr von Grund auf neu entwickelt werden, sondern sollten möglichst viele bestehende Teile oder Varianten bestehender Teile verwenden. Daher wird eine Möglichkeit zur Generierung von Baureihen entwickelt, die besonders die Ähnlichkeits- und dezimalgeometrischen Normzahlgesetze beachtet. Die Auslegungsrechnung und das Bauteilsuchsystem müssen diesen geänderten Anforderungen angepasst werden. Obwohl die Zuverlässigkeit technischer Produkte heutzutage eine zunehmende Rolle spielt, werden Zuverlässigkeitsbetrachtungen meistens erst in späten Phasen der Produktentwicklung durchgeführt, was die Änderungs- bzw. Reparaturkosten um Größenordnungen erhöht. Mit dem "Zuverlässigkeits-Informationsnetz", soll das ASK zukünftig um eine Sicht erweitert

werden, die es dem Konstrukteur ermöglicht, in seiner gewohnten Umgebung die Zuverlässigkeit der Bauteile und -gruppen in jeder Phase zu betrachten und zu berücksichtigen.

Neben der Zuverlässigkeit werden auch die Qualitätsmanagementmethoden betrachtet, die auf einzelne wertschöpfende Prozesse und Prozessabfolgen (lokal) anwendbar sind. Dabei werden Verfahren zur Verfügung gestellt, die den Anwender während eines Produktentwicklungsprojektes bei der kontextsensitiven Auswahl und Parametrisierung von Methoden unterstützen. Der gesamte Produktentstehungsprozess, also von der reinen Entwicklungsphase mit der Definition der Rahmenbedingungen und der Aufgabenstellung, bis hin zur Auswahl von Fertigungsverfahren zur Erstellung der Prototypen haben einen entscheidenden Einfluss auf die zu bevorzugende Methode bzw. deren exakte Ausgestaltung. Diese Methodenbausteine mit ihren spezifischen Parametern haben definierte Schnittstellen und werden flexibel kombinierbar gestaltet. Durch die Anpassung der Methodenparameter werden die Methodenbausteine auf die durchzuführende Aufgabenstellung optimal ausgerichtet. In einzelnen Elementen des Entwicklungsnetzwerkes können verschiedene Bausteine angewandt werden, die anschließend zu einem Gesamtmethodenkonzept kombiniert werden. Für die qualitative Absicherung der Prozessschritte in der Konzeptphase werden spezielle Qualitätsmerkmale abstrahiert, die die Besonderheiten von Entwurfsmodellen und konzeptionellen Prototypen berücksichtigen. Als Grundlage werden Rapid-Prototyping-fähige virtuelle Entwurfsmodelle betrachtet, die bereits qualitative Aussagen bezüglich des Entwurfes und Produktkonzeptes beinhalten (z.B. Ergonomie). Diese Aussagen sind aber bislang nicht formalisiert und können so nicht mit den Qualitätsmerkmalen der späteren CAD-Konstruktion in Bezug gesetzt werden. Zur Formalisierung qualitätsrelevanter Produkteigenschaften werden deshalb die zu erwartenden geometrischen, physikalischen oder funktionalen Eigenschaften am hybriden Prototypen simuliert. Die Arbeiten zum Referenzmodell des Qualitätsmanagements in Entwicklungsnetzwerken werden in die Arbeiten zu der mehrdimensionalen Bewertung von Produkt- und Projektalternativen eingebracht. Die Arbeiten zur Berücksichtigung netzwerkartiger Strukturen und die Einbeziehung industrieller, auch externer, Dienstleistungen in den Produktentwicklungsprozess wurden in das Referenzmodell integriert. Durch die konsequente Rechnerunterstützung bei der Akquisition und Speicherung von Wissen, dem Informationstransport sowie dem Einsatz von Methoden zur Entscheidungsunterstützung wird der Informationsfluss wesentlich beschleunigt und der Wissenstransfer über verschiedene Entwicklungsbereiche hinweg möglich. Nicht nur die Qualität und die Entwicklungszeit, sondern auch die Strategie hinsichtlich der Produktkosten spielt eine wesentliche Rolle und macht

die Entwicklung eines marktorientierten Kostengestaltungsmodells notwendig. Im Rahmen des Rapid Product Development ermöglicht dieses Instrumentarium prototypgestützte Produktkostenvorgaben und -prognosen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes. Mit der Entwicklung dieses Modells ist man soweit fortgeschritten, dass nun neben dem physischen Produkt auch produktbegleitende Dienstleistungen einbezogen werden. Das physische Produkt bildet mit der Dienstleistung als Leistungsbündel eine individuelle, nicht trennbare Problemlösung, deren Kosten es frühzeitig zielorientiert zu gestalten gilt. Darüber hinaus bieten Entwicklungsnetzwerke den beteiligten Unternehmen die Möglichkeit, das Entwicklungsrisiko und den hohen Kapitalbedarf aufzuteilen und die unterschiedlichen Fähigkeiten und Kernkompetenzen zu bündeln. Wenn sich ein allgemeiner Standard bei einem Produkt herausgebildet hat, bieten Dienstleistungen oftmals die einzige Möglichkeit einer eigenständigen Profilierung gegenüber der Konkurrenz. Produktbegleitende Dienstleistungen werden von den Unternehmen in einem immer stärkeren Maße als zusätzliche Erlösquellen benutzt, verursachen andererseits aber auch Kosten. Prototypen übernehmen dabei die Aufgabe, Kostenvorgaben und -prognosen für produktnahe Dienstleistungen wie Wartung, Instandhaltung oder Schulung ableiten zu können. Daher wird eine Systematisierung der Bestandteile von Leistungsbündeln entwickelt. Darauf aufbauend ergeben sich spezifische Merkmale, die Aufschluss über die Art und Intensität der Verbindung von Dienstleistung und physischem Produkt ermöglichen, um dadurch Hinweise auf eine mögliche Entbündelung zu erhalten.

Wichtig ist weiterhin eine eingehende Typologisierung und nähere Beschreibung von Kosteneffekten in Entwicklungsnetzwerken. Zunächst werden wesentliche Charakteristika von Entwicklungsnetzwerken im allgemeinen und Netzwerkkoperationen mit Prototypen im speziellen in Form eines Prozessmodells erarbeitet. Hinsichtlich eines pragmatischen Vorgehens kann die Differenzierung von Entwicklungsnetzwerken insbesondere aus organisatorischer, markt- und ressourcenorientierter Perspektive vorgenommen werden. Ein Schwerpunkt der Betrachtung und Charakterisierung stellt dabei die organisatorische Perspektive dar, weil die Probleme von Entwicklungsnetzwerken und deren Lösungen mittels Prototypen stark organisatorisch determiniert sind.

### ***Wissensintegration in der verteilten Teamarbeit***

Der bis in die jüngste Vergangenheit stark arbeitsteilig organisierte Produktentwicklungsprozess wird durch die wachsende Zahl von hochspezialisierten Experten bestimmt, so dass neben der ablaufbedingten Taylorisierung eine wissens- und kompetenzorientierte Taylorisierung in der

industriellen Praxis zu beobachten ist. Dies erschwert die schnelle und flexible Integration von neuen Produktfunktionen und führt durch einen stark erhöhten Abstimmungsbedarf zu überproportional steigenden Planungs- und Koordinationsaufwänden. Studien zeigen, dass eine verstärkte und detaillierte Planung jedoch nicht zielführend ist. Deshalb werden in der Zukunft vermehrt Methoden zur schnellen Wissensintegration und für eine effiziente Teambildung benötigt.

In den vergangenen Jahren sind Untersuchungen zu einer Standardisierung der Entwicklungsprozesse durchgeführt worden. Ergebnisse von Forschungsvorhaben und Beispiele aus der Industrie zeigen jedoch, dass insbesondere die Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte nur bedingt standardisierbar sind. Neue Ansätze aus dem Software-Management hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit von Software-Bausteinen können aber auf den Produktentwicklungsprozess übertragen werden, sodass zumindest erprobte Lösungsschritte als Erfahrungswissen abgelegt und wieder verwendet werden können.

Die schnelle Produktentwicklung erfordert häufig eine intensive Kooperation zwischen den verschiedenen Teams innerhalb eines Unternehmens sowie zwischen den Teams und den Kunden bzw. den Zulieferern. Zusätzlich werden bei komplexen Entwicklungsvorhaben, wie z. B. bei der Gestaltung des Fahrzeuginnenraums, eine ganze Reihe von Subteams innerhalb des Entwicklungsteams gebildet. Experten sind häufig Mitglied in mehreren Teams, sodass in der Regel eine Multiteamarbeit vorliegt. Sie stellt ganz neue Anforderungen an die unterstützenden Planungswerkzeuge. Diese müssen an das dynamische Umfeld und an die wechselnden Aufgabenstellungen angepasst sein. Notwendig, aber momentan nur in Grundzügen vorhanden, sind deshalb sowohl ein teamabhängiges adaptives Rollenkonzept für die Experten als auch Methoden für Navigation und Transparenz während der Kooperation.

### ***Informationsbereitstellung***

Für eine iterative, evolutionäre Produktentwicklung ist die Nutzung von fachübergreifenden Informationen in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses eine große Herausforderung. Ein Problem stellt immer noch die situationsgerechte Bereitstellung von Prozess-, Konstruktions- und Technologiewissen aber auch von Wissen über Zeiten, Kosten und Qualitäten dar.

Der komplexer werdende Lösungsraum muss durch jeden Spezialisten situativ und aufgabenangemessen bearbeitet werden können, ohne dass der Gesamtzusammenhang verloren geht. Ziel dabei muss sein, das gesamte

aktuelle interdisziplinäre Wissen eines Unternehmens zur Verfügung zu stellen.

Eine wesentliche Herausforderung für zukünftige Systemgenerationen zur Unterstützung der Produktentwicklung ist es daher, von einzelplatzorientierten zu intelligenten und kooperationsorientierten Bearbeitungsstrukturen zu gelangen. Dazu ist eine rollenspezifische und projektphasenabhängige Aufbereitung einer aktiven Wissensbasis notwendig, unter gleichzeitigem Anbieten einer Gesamtübersicht. Hierfür gibt es derzeit nur begrenzt einsatzfähige Instrumente. Das komplexe Wissen ist in der Regel durch multimediale Inhalte repräsentiert, die für eine schnelle Wissensintegration in adäquater Form visualisiert und zugänglich gemacht werden müssen. Eine intelligente Visualisierung muss dabei, im Gegensatz zu heutigen Systemen, durch Adaption den Wissensfortschritt der einzelnen kooperierenden Experten unterstützen.

Aufgrund der zunehmenden funktionellen Abhängigkeiten innerhalb des Produkts entsteht zudem eine komplexe Vernetzung der heterogenen Entwicklungswerkzeuge. Um bei der Benutzung der Werkzeuge die Konsistenz der Ergebnisse zu gewährleisten, müssen neue Methoden zum Information Routing zwischen zu integrierenden Werkzeugen erarbeitet werden. Ein insbesondere in heterogenen und verteilten Umgebungen zunehmend an Bedeutung gewinnendes Problem liegt in der sicheren Übermittlung der für die Produktentwicklung relevanten Informationen.

Die zur Kommunikation eingesetzten Dienste unterliegen dabei einer hohen Innovationsdynamik, sodass neue Unterstützungsfunktionen für den gesamten Produktentwicklungsprozess realisiert werden können und müssen. Die Konvergenz, d.h. das Zusammenführen von traditionell getrennten Medien zu einer gemeinsamen Infrastruktur erlaubt die Entwicklung von integrativen Kommunikationsdiensten für die kooperative Arbeitsweise der Experten.

Für die Unterstützung der verteilten Zusammenarbeit von multidisziplinär ausgerichteten Experten in der Produktentwicklung werden Instrumente entwickelt, die die Probleme in diesen Teams analysieren und Ansätze zu deren Lösung geben. Weiterhin werden Strategien zur Förderung der Wissensintegration in multidisziplinären Teams analysiert und erprobt, die die schnellere Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis erlauben.

Unter einer gemeinsamen Wissensbasis ist ein gemeinsam geteiltes Verständnis wichtiger Begriffe und ihrer Zusammenhänge zu verstehen.

In Untersuchungen ist festgestellt worden, dass Probleme im Bereich der Kommunikation, Koordination und Wissensintegration mit einer negativen Einschätzung der Leistung von RPD Teams hinsichtlich der Einhal-

tung von Zeit, Produktentwicklungskosten und Produktqualität einhergehen. Die Mitglieder selber empfinden dabei Stress und eine geringere Arbeitszufriedenheit.

Für die Kooperation in den Teams sind drei unterschiedliche Muster zu identifizieren:

- innerbetriebliche Kooperation in funktionsübergreifenden Teams in mittelständischen Betrieben,
- innerbetriebliche Kooperation in bereichsübergreifenden Teams in international agierenden Unternehmen,
- unternehmensübergreifende Entwicklungsteams in mittelständischen Unternehmen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Unternehmen, die dem zweiten Muster entsprechen, mehr Probleme bezüglich der Kommunikation, Kooperation und Wissensintegration im Vergleich zu den anderen beiden Typen existieren. Wichtige Einflussfaktoren sind dabei die unterschiedlichen Freiheitsgrade für die Teammitglieder bzgl. der Selbstorganisation und die Kooperationserfahrung, die die Teammitglieder mitbringen. Daher ist es wichtig zu erkennen, welche Arten von Wissen (Fachwissen, Erfahrungswissen) vorliegen und wie das für die Produktentwicklung notwendige Wissen bei unterschiedlichen Wissensdomänen und Rollen repräsentiert wird. Weiterhin muss geklärt werden wie eine Integration des Wissens in multidisziplinären Teams abläuft bzw. unterstützt werden kann. Dabei steht der Einfluss von den Rahmenbedingungen wie: z.B. die Organisationsstruktur, die Komplexität der Aufgabe, die Heterogenität des Teams, die technologische Unterstützungsmöglichkeiten und die Kreativitätsförderlichkeit des Umfeldes unter besonderer Beachtung.

Um den Anforderungen gerecht zu werden, werden die Teams auf verschiedenen Ebenen näher betrachtet. Diese Ebenen betreffen den Zugang zu den Informationen, die Planung der Teams und die Kommunikation zwischen den Mitgliedern.

Der Zugang zu diesem Wissen muss zentral und rollenspezifisch zur Verfügung stehen, damit eine effektive Unterstützung gewährleistet werden kann. Hierzu dienen Portale die einen schnellen und strukturierten Zugang zu fachlichen und fachübergreifenden Informationen sowie informationsverarbeitenden Applikationen in allen Phasen der Produktentwicklung ermöglichen. Durch die hohe Komplexität bei Produkten und Prozessen fallen bei der Produktentwicklung viele Informationen in heterogener Struktur an. Diese setzen sich aus CAD-Daten, Kostenberechnungen, Werkstoffdaten, Stücklisten, etc. zusammen. Um die Forderung nach einer

gemeinsamen Wissensbasis zu erfüllen, stehen diese Informationen für jeden Experten spezifisch zur Verfügung. Dies kann durch den Einsatz adaptiver Benutzungsoberflächen unterstützt werden. Um dieses zu ermöglichen, müssen der Zugang und die Aufbereitung der Informationen untersucht werden. Dabei stehen neue Arten und Methoden der Darstellung und der Visualisierung von Daten insbesondere im Hinblick auf die Vernetzung im Vordergrund. Außerdem werden geeignete Adaptionskonzepte, die sich auf die Auswahl der Inhalte und die Darstellung beziehen, analysiert.

Neben diesem spezifischen Zugang zu den Informationen ist eine Planung für die Teams notwendig. Die Voraussetzung für das effektive und verzahnte Arbeiten von diesen verteilten Entwicklungsteams ist die Nutzung der durch die flexiblen Organisationsprozesse geschaffenen Spielräume. Die Koordination autonomer Entwicklungsteams, die Unterstützung arbeitsintensiver und planerischer Tätigkeiten sowie die Realisierung zuverlässiger und transparenter Planungsergebnisse ist dafür notwendig. Hierdurch soll die kontinuierliche Generierung von Ideen gefördert und der Aufbau von Wissen entlang des Produktentwicklungsprozesses unterstützt werden. Aus diesen Rahmenbedingungen und der dezentralen Struktur in den Entwicklungsprojekten heraus ergeben sich Anforderungen an die Planung hinsichtlich der methodischen Unterstützung, der Klärung von Zielvorgaben, der Verarbeitung unvollständiger und inkonsistenter Daten, der durchgängigen Unterstützung der Dokumentation und Planung und der Integration und Förderung informeller Abstimmungsprozesse. Als Lösung entstand das »entwicklungsfähige Projektplanungssystem« zur Unterstützung einer teilweise automatisierten Koordination projektmanagement-spezifischer Tätigkeiten auf der einen Seite und zur Integration kooperierender Entwicklungsteams auf der anderen Seite. Mittels der Nutzung des Multi-Agenten-Systems wird dabei die Anwendbarkeit auf dezentrale Strukturen im RPD ermöglicht. Die Dezentralität wirkt sich jedoch nicht nur auf den Zugang zum Wissen und der Planung der Teams aus, sondern bildet auch für die Kommunikation zwischen den Mitgliedern in diesen multidisziplinären Teams einen entscheidenden Faktor. Die aus dem Anspruch der Beschleunigung von Iterationszyklen und der Erhöhung des Wissenszuwachses im Entwicklungsprozess abgeleiteten Anforderungen bedürfen somit einer Plattform, die sowohl spontane als auch längerfristige Absprachen unterstützt. Dabei müssen auch die jeweiligen Arbeitsumfeldbedingungen der Mitglieder erfasst werden, da sich nur auf diesem Wege unnötige Iterationszyklen in der Kommunikation der Experten vermeiden lassen. Um die Steigerung der Effizienz in der Kommunikation zu erhalten wird eine Brücke zwischen der synchronen und der asynchronen Kommunikation geschaffen. Diese Infrastruktur ermöglicht es, eine asynchrone In-

formation mit notwendigen prozessrelevanten Informationen zu hinterlegen, um somit die Iterationen im Kommunikationsprozess zu minimieren. Durch die Implementierung gemeinsamer virtueller Arbeitsräume, die sowohl synchron, als auch asynchron genutzt werden, können die hemmenden Einflussfaktoren aus der räumlichen und zeitlichen Distanz minimiert werden. Weiterhin wird durch die Zusammenlegung verteilt arbeitender Teams an einen virtuellen Ort die Bildung von Awareness unterstützt und somit eine effizientere Koordination von Arbeitsabläufen ermöglicht. Die Unterstützung der Teams in der evolutionären und iterativen Produktentwicklung lässt sich nur mit einer effektiven Unterstützung der Teammitglieder erreichen. Diese setzt sich aus den Bereichen des Informationszugangs, der Planung zur Nutzung freier Ressourcen und der Kommunikation untereinander zusammen.

### ***Die ASN-Technologie***

Ziel der Entwicklung des Aktiven Semantischen Netzes (ASN) ist die adäquate Speicherung und Wiederverwendung aller Informationen, die beim gesamten Produktentwicklungsprozess anfallen. Solch ein System muss neben statischen Produkt-, Technologie- und Projektdaten vor allem dynamisches Wissen in Form von z.B. Ursache-Wirkungsketten repräsentieren. Produktentwicklung ist ein iterativer Prozess, der durch die Entstehung und Verarbeitung von Produktdaten charakterisiert ist. Durch den intelligenten Einsatz von Regelmechanismen des ASN können diese inkonsistenten Produktdatenänderungen vermieden werden und die Prozesssteuerung aktiv im Sinne der Termintreue, Qualitätssteigerung und Kostenkontrolle unterstützt werden.

Schwerpunkte der Arbeit waren die Formulierung eines Metamodells und die Implementierung auf ein objektorientiertes Datenbanksystem, die Erfassung der Semantik im ASN durch die Konzepte Objektart, Beziehungsart, Merkmalart und Objektänderungsart.

Es werden nicht nur einfache Beziehungen zwischen diesen Objekten, sondern auch die Beziehungen zwischen deren Teilen in Betracht gezogen. Die ASN-„Intelligenz“, die nicht als Daten und ECA-Regeln erfasst werden kann, wurde mittels Agenten-Software realisiert. Agenten können mit Hilfe der JAVA-Beans basierten Schnittstelle Objekte instanzieren, die der spezifischen Sichtweise des Benutzers entsprechen.

Zusammenfassend erlaubt das ASN eine konkrete Wissensrepräsentation im Rapid-Prototyping. Durch den reversiblen Charakter des ASN ist ein kontinuierlicher Aufbau einer dezentralen Wissensbasis erstmals möglich.

## 1.1.5 Sfb 374 - Aufbau und Wissenswertes

### ***Praxisbezug und Dissemination***

Die Weiterentwicklung der erforschten Methoden und Modelle wurde am Beispiel des Fahrzeuginnenraums in Zusammenarbeit mit dem Partner DaimlerChrysler AG durchgeführt. Dabei wurden z.B. gestalterische, ergonomische, funktionelle und klimatechnische Aspekte behandelt und die effiziente Erstellung hybrider Prototypen untersucht. Abhängig vom Forschungsschwerpunkt der Teilprojekte wird lediglich auf einzelne Komponenten oder auf den gesamten Fahrzeuginnenraum zugegriffen.

Am Beispiel des Fahrzeuginnenraums wurden exemplarisch die im Sonderforschungsbereich gewonnen Erkenntnisse über neue Kooperationsstrukturen, die Integration von Wissen über Konstruktion, Kosten, Zeit und Qualität sowie die Erstellung von Prototypen zusammengeführt.

Mit den aus dem Sonderforschungsbereich hervorgegangenen fünf Transferprojekten wurden durch eine enge Kooperation wichtige Erkenntnisse zur Anwendung der Forschungsergebnisse im industriellen Umfeld gewonnen.

### ***RPD Toolbox***

Die Weitergabe und Diffusion der Forschungsergebnisse an eine breite, interessierte Öffentlichkeit war speziell in der vierten Förderperiode ein weiteres wichtiges Ziel des Sfb. Dazu wurde eine „RPD-Toolbox“ entwickelt, die laufend durch Veröffentlichungen über den aktuellen Stand der Forschung unterrichtet.

In der „RPD-Toolbox“ (Abb. 1.3.) werden die entwickelten Methoden unter einer benutzerfreundlichen Oberfläche aufbereitet. Die Ergebnisse werden der Öffentlichkeit durch ein Web-Interface zugänglich gemacht. Ergänzend zu dem Buch sind in der Toolbox auch technische Informationen, Demoversionen und Multimediainhalte verfügbar.

Die RPD Toolbox ist erreichbar unter:

<http://www.rpdtoolbox.sfb374.uni-stuttgart.de>.

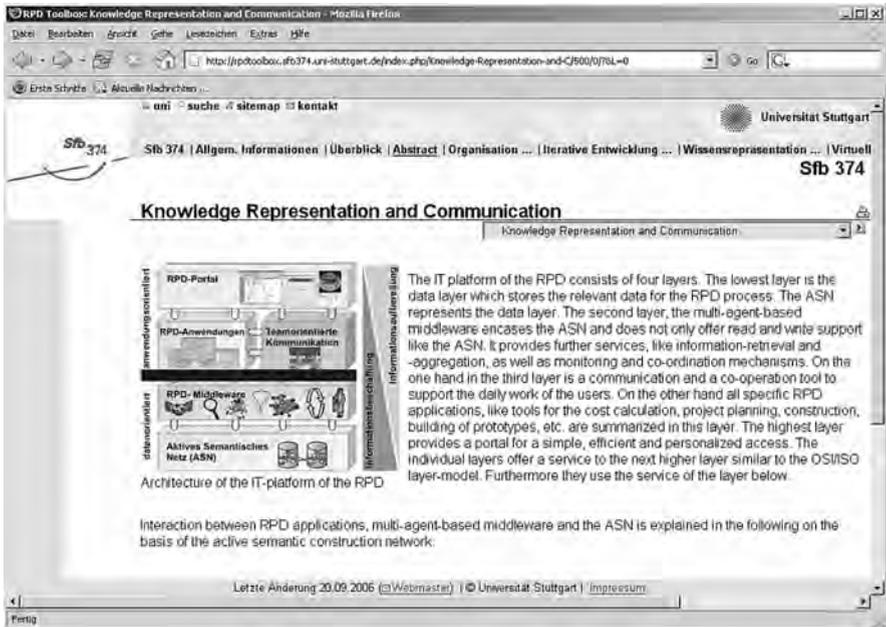


Abb. 1.3. RPD-Toolbox

### Organisation des Sonderforschungsbereichs 374

Der Sfb 374 wurde in die nachfolgenden fünf Projektbereiche gegliedert, in denen die Teilprojekte erfolgreich gemeinsam an einem Forschungsschwerpunkt arbeiteten (s. Abb. 1.4., Stand 2006).

Im Rahmen der Arbeiten des Projektbereiches A, „Grundlagen der Organisation und Planung“ wurden die personellen, organisatorischen und planerischen Aspekte des Rapid Product Development erforscht. Mit Hilfe eines arbeitssystemübergreifenden Ansatzes wurden multiteamorientierte Konzepte und Methoden erarbeitet. Es wurden Instrumente zur Modellierung von Prozessen und Rollen des RPD sowie Konzepte für ihre Wiederverwendbarkeit bei der Planung zukünftiger Projekte entwickelt.

Im Projektbereich B, „Vernetztes Wissen für die iterative Entwicklung von Prototypen“ wurden Methoden zur Integration von Konstruktions-, Qualitäts- und Kostenwissen entwickelt.

Der Projektbereich C, „Wissensrepräsentation und Kommunikation“ fasste die informations- und kommunikationstechnischen Forschungsarbeiten zusammen.

Im Rahmen des Projektbereiches D, „Erstellung virtueller und physischer Prototypen“ erfolgt die Entwicklung von Methoden zur Erzeugung von virtuellen Prototypen, insbesondere für die Gestaltung der virtuellen

Realität (VR) und zur Simulation und Visualisierung physikalisch-technischer Prozesse.

A Grundlagen der Organisation und Planung	B Vernetztes Wissen für die iterative Entwicklung von Proto- typen	C Wissens- repräsentation und Kommunikation	D Erstellung vir- tueller und physischer Prototypen	E Rechner- unterstützte Fahr- zeugkonzeption
	B1 Modellieren des vernetz- ten Denkens und Handelns in der Kon- struktion (Bertsche)	C1 Ganzheitliche Mo- delle zur Repräsen- tation aktiven Wissens (Roller)	D1 Virtuelle Reali- tät als Gestal- tungs-, Evalu- ierungs- und Kooperations- werkzeug (Westkämper / Kern)	E1 Rechnerunterstützte Fahrzeugkonzeption am Beispiel Fahr- zeuginnenraum (DC AG)
A2 Planungsmethoden für dezentrale Entwicklungs- teams (Spath)	B2 Qualitäts- management im Rapid Prototyping (Westkäm- per)	C2 Adaptive Benut- zungsoberflächen (Weisbecker)	D2 Visualisierung und Simulation physikalisch- technischer Vorgänge (Lang / Resch)	
A3 Arbeitswissen- schaftliche Kon- zeptionierung ko- operativer Arbeitsformen für die Entwicklung innovativer Produkte (Spath)		C3 Teamorientiertes Kommunikations- system für vernetztes Arbeiten (Warschat)	D3 Aufbau und Betrieb von Rapid Prototy- ping- Prozessketten (Westkämper)	
		C4 Integrationsplattform für aktive Wissens- kommunikation (Roller / Warschat)	D4 Rapid Prototy- ping Labor zur Herstellung funktionaler und techni- scher Prototy- pen mittels La- sertechniken (Dausinger / Eyerer)	
			D5 Entwicklung von Werkzeug- en für Proto- typenteile (Wagner)	

Abb. 1.4. Gliederung in Projektbereiche und Teilprojekte

Dieses Basiswissen über die verschiedenen Technologien wie VR, Rapid Prototyping, Rapid Tooling wird entsprechend aufbereitet und allen im Sonderforschungsbereich Beteiligten über das Aktive Semantische Netz (ASN) zur Verfügung gestellt. Der Einsatz von Höchstleistungsrechnern unterstützt dabei eine anschauliche Visualisierung einzelner Entwicklungsschritte und macht die Kopplung virtueller und physischer Prototypen möglich. Die Erforschung dieser hybriden Prototypen ist ein teilprojektübergreifendes Aufgabengebiet des Projektbereiches D.

In dem Projektbereich E, „Rechnerunterstützte Fahrzeugkonzeption am Beispiel Fahrzeuginnenraum“, wurde umfassendes Wissen aus dem Bereich der Fahrzeugentwicklung bereitgestellt. Zusammen mit Ergebnissen der Forschungsarbeiten in den Projektbereichen A – D konnten Daten im Hinblick auf eine rechnergestützte Fahrzeugkonzeption, insbesondere zur Funktions- und Geometrieauslegung, ganzheitlich betrachtet werden.

### **Zeitleiste**

- 1995 Gründung des Sfb 374 „Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte – Rapid Prototyping“
- 1998 Beginn der zweiten Förderperiode
- 2001 Beginn der dritten Förderperiode
- 2003 Gründung des Transferbereichs 41 „Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte“ (bis 2005). Folgende Teilprojekte wurden bearbeitet:
  - Kostenmanagement von Produkten und Dienstleistungen in Entwicklungsnetzwerken, Prof. Horváth
  - Feature-Erkennung und Segmentierung in Punktwolken mit Multisensorik, Prof. Westkämper
  - Lasersintern von Polymeren mittels Nd:YAG-Laser, Prof. Eyerer
- 2004 Beginn der vierten Förderperiode
- 2006 Start des Transferbereichs 65 (bis 2008) mit folgenden Teilprojekten:
  - Aktives semantisches Konstruktions- und Zuverlässigkeitsnetz, Prof. Bertsche
  - Arbeitswissenschaftliche Gestaltung wissensintensiver Kooperationsprozesse für die Entwicklung innovativer Produkte, Prof. Spath
- 2006 Abschluss der Forschungsarbeiten des Sfb 374

## 1.2 Integrationsszenario

Den Begriff der Produktentwicklung assoziiert man meist mit dem traditionellen Vorgehen der Entwicklung von Produkten. Demnach gliedert sich die Entwicklung grob in die fünf Abschnitte:

- Planen
- Konzipieren
- Konstruieren
- Ausarbeiten
- Herstellen

Am Ende jeder dieser Phasen steht ein Bewertungs- und Auswahlprozess, mit dessen Hilfe die optimale Variante erkoren und weiter verfolgt wird.

Nachteilig wirkt sich diese Vorgehensweise aber dann aus, wenn in den Auswahl- und Bewertungsprozessen Fehler geschehen und Funktions- oder Qualitätsmerkmale unberücksichtigt bleiben. Je später der Fehler dann gefunden wird, desto zeit- und kostenaufwändiger sind die dann anfallenden Korrekturmaßnahmen. Innerhalb der bereits durchlaufenen Arbeitsschritte muss zum richtigen Entwicklungspunkt zurückgesprungen werden und die nachfolgenden Schritte incl. Überprüfungen, etc. abermals abgearbeitet werden. Eine optimale und gleichzeitig aber auch schnelle und kostengünstige Produktentwicklung ist nur schwer durchführbar.

Schaut man sich die Rahmenbedingungen für die Produktentwicklung näher an, so finden sich schnell weitere Aspekte, die gerade die frühen Phasen der Produktentwicklung maßgeblich beeinflussen.

Es reicht schon lange nicht mehr, ein gutes Produkt im stillen Kämmerlein über einen langen Zeitraum hinweg zu entwickeln und mit einem hohen Reifegrad auf den Markt zu bringen. Die Geschwindigkeit, in denen heutzutage neue oder überarbeitete Produkte vom Markt erwartet werden, verringert naturgemäß die Zeit, die für die Entwicklung zu Verfügung steht. Mittelständische Unternehmen können dieses Zeitfenster zumindest geringfügig erhöhen, wenn mehrere Entwicklerteams überlappend an unterschiedlichen Produkten arbeiten oder wenn neuartige Organisationsformen für das Entwicklungspersonal wie Poolbildung o.ä. Einzug halten.

In vielen Bereichen des Maschinenbaus, der Luft- und Raumfahrt und der Automobilindustrie ist daher eine beschleunigte Produktentwicklung gefragt, um sich am Markt behaupten oder gar halten zu können.

Beschleunigte Produktentwicklung ist nicht gleichzusetzen mit Rapid Prototyping

Im gleichen Atemzug mit beschleunigter Produktentwicklung wird häufig das Schlagwort Rapid Prototyping verwendet. Dies ist jedoch nur bedingt korrekt, denn eine Beschleunigung des Entwicklungsprozesses ist vor allem verknüpft mit einem Umdenken bzgl. der Organisation, der Vorgehensweise und Methoden. Beschleunigte Produktentwicklung bedingt nicht zwangsläufig den Einsatz des Rapid Prototyping als Prozess, obwohl sich dieser Gedanke zugegebenermaßen geradezu aufdrängt.

Rapid Product Development muss also im Unternehmen verinnerlicht und gelebt werden und das bedingt, dass sich alle Geschäftsprozesse auf eine veränderte Arbeitsweise einstellen – nicht nur Forschung und Entwicklung.

Wie wird aber nun Rapid Prototyping in der beschleunigten Produktentwicklung eingesetzt?

Die Technologien, die unter dem Begriff „Rapid Prototyping“ zusammengefasst werden, haben ein gemeinsames Ziel, das sie auf unterschiedlichsten Arten zu erreichen versuchen. Lapidar ausgedrückt, sollen sie es ermöglichen, dass die Entwickler zu einem möglichst frühen Zeitpunkt den aktuellen Entwicklungsstand in die Hand nehmen können. Sie versuchen ein möglichst realitätsnahes Abbild des Produktes zu erstellen, das nicht nur am Bildschirm betrachtet, sondern auch gefühlt, gedreht und im wahren Sinne des Wortes „erprobt“ werden kann. Je exakter das RP-Verfahren dabei das später zu fertigende Produkt in seinen Eigenschaften nachbildet, desto besser.

Unterschieden werden muss aber auch nach dem Zweck der Modellerstellung.

- Konzeptmodell
- Geometriemodell
- Funktionsmodell

Ein *Konzeptmodell* benötigt keinerlei mechanische Eigenschaften des Endproduktes, wohl aber Oberflächen, die in Form und Beschaffenheit dem Endprodukt nahe stehen. Diese werden erstellt, um die Formgebung des Produktes voranzutreiben und dienen als Anschauungsmodelle – meist in verkleinertem Maßstab – der Beurteilung und Bewertung von Design-Varianten. Auch hier können verschiedene Studien zum Design, als Prototyp vorliegend, wertvollere Dienste bieten, als eine Computersimulation

dies vermitteln kann. Einzige Alternative hierzu stellt hier die virtuelle Realität (VR) dar, die die fehlende räumliche Tiefe zu kompensieren vermag und gleichzeitig die Vorzüge der Arbeit mit Computersystemen kombinieren kann.

Das *Geometriemodell* dient der Überprüfung der Maßhaltigkeit und Toleranzen. Das Material ist nicht zwangsläufig mit dem angestrebten Fertigungsmaterial identisch und auch Oberfläche, Farbe und mechanische Eigenschaften müssen dem Endprodukt nicht entsprechen.

Ein *Funktionsmodell* dagegen muss zumindest kurzzeitig ähnlichen Belastungen widerstehen wie das spätere Produkt, damit seine Funktion anhand des Prototypen auch verifiziert werden kann. Auch wenn viele Fragestellungen bereits am Rechner simuliert werden können, stecken einige Simulationswerkzeuge noch in den Kinderschuhen. So bedarf z.B. die Untersuchung des akustischen Verhaltens im Fahrzeuginnenraum nach wie vor einen Modellaufbau.

Gerade bei solchen Beispielen ist es von unschätzbarem Wert, wenn die Modellaufbauten dem aktuellen Stand der Entwicklung entsprechen und man sozusagen „auf Knopfdruck“ ein neues Modell generieren kann. Nur so können Entwicklungen auch entsprechend schnell verifiziert werden.

Derzeit werden solche Modellaufbauten nur bei größeren Meilensteinen der Entwicklung hergestellt, da ein anderes Vorgehen zu teuer wäre. Mit Fortschritten in der Technik der RP-Verfahren könnte sich dies jedoch bald ändern.

Neben dieser Unterscheidung wird als Unterscheidungskriterium auch häufig herangezogen, für welche Phasen des Entwicklungsprozesses, bzw. für welchen Fertigungsschritt der Prototyp erstellt wird:

- Als „*Concept Modelling*“ bezeichnet man i.d.R. Funktions-Prototypen, die als physikalisches Modell des Produktes alle oder einzelne Funktionen nachbilden.
- „*Rapid Tooling*“ bezeichnet RP-Verfahren, die ein Werkzeug herstellen, welches wiederum zur Fertigung von Serien eingesetzt werden kann.
- „*Rapid Manufacturing*“ bezeichnet die Verfahren, die Fertigteile erzeugen, welche direkt am Produkt eingesetzt werden können.

Wie bereits eingangs erwähnt, ist die Fertigungstechnologie an sich nicht das alleinig entscheidende Kriterium für die beschleunigte Produktentwicklung. Gewaltiges Optimierungspotential bieten auch die Schnittstellen der an der Produktentwicklung beteiligten Bereiche und auch das unternehmerische Gesamtkonzept von der Auftragserteilung bis hin zur

Auslieferung. Aus diesem Grund beschäftigte sich der Sonderforschungsbereich (Sfb) 374 mit dieser großen Bandbreite an Themen rund um Methoden und Verfahren zur beschleunigten Produktentwicklung.

### **1.2.1 Grundlegende Verbesserungen**

Während die Produktentwicklung und die Beteiligung der unterschiedlichen Entwicklungsabteilungen auch im Bereich des Rapid Prototyping im Großen und Ganzen eher linear aufgebaut ist, versucht der Sfb 374 diese etablierten Strukturen aufzubrechen und zu einem iterativen, zyklischen Ablauf hin zu entwickeln, bei dem große und kleine Iterationsschleifen permanent immer wieder durchlaufen werden, um schlussendlich zu einem optimalen und gleichzeitig kostengünstigen Produkt in kürzerer Zeit zu gelangen.

Besondere Beachtung fanden hierbei die Schnittstellen zwischen den Bereichen, da hier erhebliche Informationsverluste auftreten, die z.T. zeitaufwändige und fehlerträchtige Nacharbeiten und entsprechenden Koordinationsaufwand erfordern.

In Abb. 1.4 sind die Verbindungen zwischen den einzelnen beteiligten Projekten dargestellt. Hierbei handelt sich sowohl um Daten- als auch um Informationsaustausch zwischen den Teilprojekten. Die nicht umrandeten Teilprojekte treten hierbei als Informations- und Datenplattform für alle anderen Teilprojekte auf.

Die Definition und Verifizierung von bestimmten Meilensteinen der Produktentwicklung lässt sich durch kurze und schnell aufeinander folgende Iterationszyklen und verbesserte Kommunikations- und Koordinationsformen zwar mindern, aber nicht vollständig unterbinden.

Durch die entwickelten Methoden unterstützt der Sfb 374 aber den deutlichen Trend zu mehr Virtualisierung in der Produktentwicklung.

Waren zuvor viele Meilensteine nur durch die Herstellung realer Prototypen erreichbar, können diese nun vermehrt mittels Digital Mock-ups (DMUs) getestet, betrachtet und verifiziert werden. Auch hier liefert der Sfb 374 seinen Beitrag.

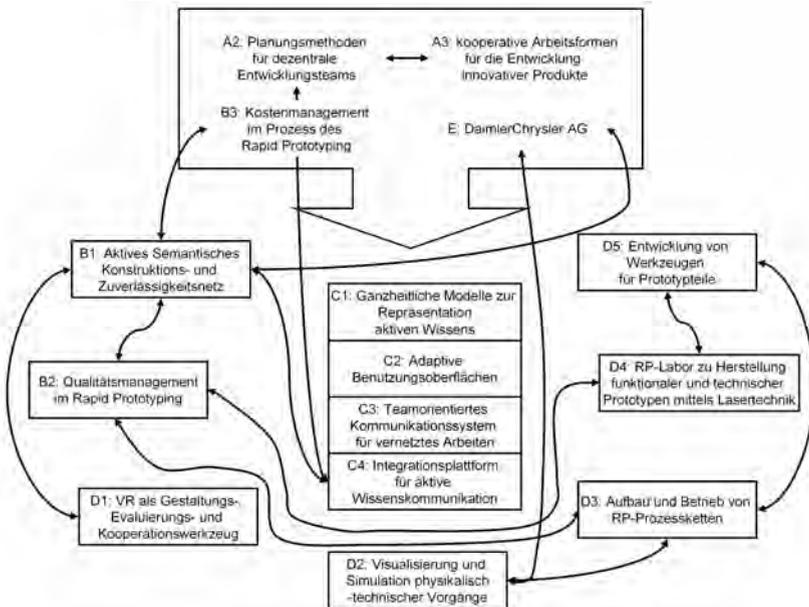
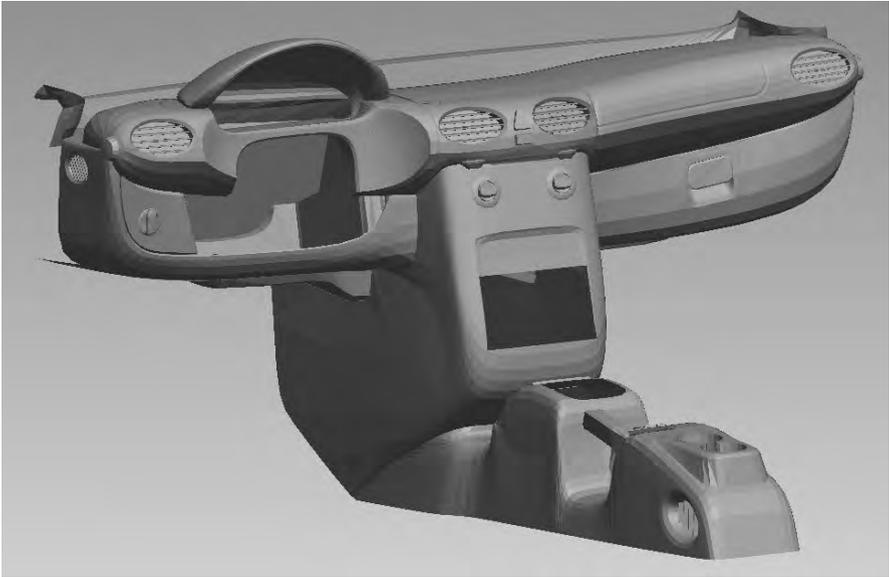


Abb. 1.5. Kooperationsbeispiel der Teilprojekte des Sfb 374 untereinander

### 1.2.2 Integration der Teilprojekte am Beispiel eines Pkw-Cockpits

Um die Beiträge aller Teilprojekte am Sonderforschungsbereich eingehend zu beschreiben, wurde in den entsprechenden Arbeitskreisen die Entwicklung eines Pkw-Cockpits der MB A-Klasse (Typ W168) nachgebildet. An diesem Beispiel ließen sich in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner, der DaimlerChrysler AG, die Forschungsergebnisse weitestgehend demonstrieren.

Um die Demonstration der Forschungsergebnisse möglichst einfach und anschaulich zu halten, beschränken sich die folgenden Erläuterungen auf Entwicklungsausschnitte der Bereiche der Luftdüsen, der Bedienelemente im Mittelteil und der äußeren Schaltung. Aufgrund der Vielfalt und Komplexität der Themenfelder können an dieser Stelle die durchgeführten Forschungsarbeiten und erzielten Ergebnisse nur angedeutet werden. Details sind in den folgenden Kapiteln zu finden, auf die hier im Folgenden immer wieder verwiesen wird. Die jeweiligen Forschungsergebnisse werden dort dann u.a. an weiteren Beispielen erläutert, die die Forschungsarbeiten ggf. umfassender veranschaulichen.



**Abb. 1.6.** Cockpit der MB A-Klasse (W168) in einem frühen Entwicklungsstadium (Quelle: DaimlerChrysler AG)

### ***Organisation und Planung***

Die Entwicklung eines Pkw-Cockpits erfordert die Integration verschiedener Teams, die unterschiedliche Entwicklungsaufgaben bewältigen müssen. In einem Team, das sich zum Beispiel auf die Konzeption und Entwicklung der Bedienelemente und der äußeren Schaltung konzentriert, haben Experten, die sich auf die Anwendungsergonomie der Bedienelemente konzentrieren eine herausgehobene Stellung. Demgegenüber haben in einem Team, das sich für die Entwicklung der Luftdüsen verantwortlich zeichnet, Experten, die Strömungssimulationen vornehmen können eine exponierte Stellung.

Alle Experten verfolgen mit ihrer unterschiedlichen Expertise ein gemeinsames Ziel: die Entwicklung eines bedienfreundlichen, ergonomischen, zeitgemäß designten Pkw-Cockpits. Insbesondere aufgrund der für das RPD signifikanten iterativ evolutionären Vorgehensweise, die sich in einer hohen Dynamik und Komplexität bei möglichen alternativen Entwicklungsverläufen äußert, steht der Projektleiter, vor der Herausforderung, unterschiedliche Expertisen und Perspektiven der jeweiligen Experten auf ein Ziel, die Entwicklung des Pkw-Cockpits zu integrieren. Dazu kann er sich der in Kapitel 2.4 beschriebenen und auf Basis empirischer Studien entwickelten Unterstützungsinstrumente zur Wissensintegration

bedienen. Auf Basis typischer Barrieren der Kooperation und Wissensintegration in interdisziplinären Teams können Trainingskonzepte bei der Entwicklung des Pkw-Cockpits eingesetzt werden, mit denen zum einen die Entwicklung einer gemeinsamen Wissens- und Erfahrungsbasis vorangetrieben und zum anderen die Steuerung der Wissensintegration vermittelt werden kann. Ein früher und das Projekt stetig begleitender Einsatz dieser Instrumente kann die Effizienz und Effektivität der Kooperation von Experten in interdisziplinären Teams verbessern.

Signifikant für die intensive Kooperation von Experten bei der Entwicklung alternativer Konzepte für das Pkw-Cockpit ist darüber hinaus eine große Vielfalt voneinander abhängiger Prozesse und Aktivitäten. Nach Maßgabe des RPD-Konzepts ist hier eine schnelle Anpassung der Prozesse und Aktivitäten an die jeweiligen spezifischen Situationen bei der Entwicklung des Pkw-Cockpits gewollt. Mit dem in Kapitel 2.3 beschriebenen »entwicklungsfähigen Projektplanungssystem« wird ein Unterstützungsinstrument vorgestellt, in dem auf Basis generischer Prozessmodule, die über Parameter miteinander verbunden sind, die vielfältigen von unterschiedlichen, interdisziplinären Teams durchzuführenden Aktivitäten koordiniert werden können. Mit dem »entwicklungsfähigen Projektplanungssystem« können ad-hoc auftauchende Probleme bis zu einem, in einem Iterationszyklus vermuteten, Verursacher propagiert werden und durch den Einsatz eines problemlösungsorientierten Kompetenzmanagements schneller abgestimmt werden.

### ***Schaffung einer RPD-IT-Infrastruktur***

Für die Arbeit von dezentral organisierten Entwicklerteams ist ein enormer Koordinations- und Kommunikationsaufwand zu betreiben. Um diesen nach Möglichkeit zu minimieren und zu optimieren, wurde eine RPD-IT-Infrastruktur geschaffen. Diese beinhaltet eine flexible Datenhaltung in Form eines semantischen Netzes, einer agentenbasierten Middleware, einer Kommunikationsumgebung und einer einheitlichen Benutzungsoberfläche. Sie ist in Schichten angeordnet (Kap. 4).

Für das Entwicklungsbeispiel des Pkw-Cockpits wurden neben geometrischen und beschreibenden Prototypdaten auch organisatorische Daten wie z.B. zu den beteiligten Personen und deren Zuständigkeiten hinterlegt. Diese Daten werden in dem in Kapitel 4.1 vorgestellten Aktiven Semantischen Netz (ASN) gespeichert. Der Vorteil des ASN gegenüber klassischen Datenbanken besteht darin, dass es möglich ist zur Laufzeit Datenobjekte um weitere Bestandteile zu erweitern. So ist es durch den Einsatz des ASN möglich, während der Entwicklung des Pkw-Cockpits neu auftre-

tende Eigenschaften, wie z.B. die Helligkeit eines neu entwickelten Bedienelements, durch direkte Anpassung des Datenmodells zu berücksichtigen.

Darüberhinaus bildet die in Kapitel 4.2 beschriebene agentenbasierte RPD-Middleware die Schnittstelle zum ASN. Sie bietet den Experten zusätzliche Funktionalität an, die diese im Rahmen ihrer interdisziplinären Zusammenarbeit unterstützen. So ist es, um ein Beispiel zu nennen, möglich, Überwachungspunkte als Trigger im ASN zu setzen, um über Veränderungen, die durch einen anderen Experten ausgelöst wurden, informiert zu werden. Ändert sich die Form eines Bedienelements und hat der Konstrukteur des Pkw-Cockpits einen Überwachungspunkt auf die Form des Bedienelements gesetzt, so wird er automatisch von der RPD-Middleware informiert und kann diese Veränderung im Design des Pkw-Cockpits zeitnah ohne direkte Rückkopplung mit dem Konstrukteur des Bedienelements in seine Überlegungen einbeziehen.

Auf diesen beiden datenorientierten Schichten bauen die spezialisierten RPD-Anwendungen, wie das ASK, etc. ebenso auf, wie das Teamorientierte Kommunikationssystem (Kap. 4.3). Dieses unterstützt die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Experten durch den Bereitstellung eines oder mehrerer virtueller Kommunikationsräumen. Wird bspw. durch die Veränderung eines Bedienelements und die damit verbundene Benachrichtigung des Cockpit-Konstrukteurs ein Fertigungskonflikt aufgedeckt, so können sich beide Konstrukteure im teamorientierten Kommunikationsraum treffen und unter Einsatz verschiedener Kommunikationsmittel, wie z.B. einem virtuellen Flipchart, das Problem diskutieren und lösen. Dabei können Informationen aus dem ASN direkt in den Kommunikationsraum eingebracht werden.

Als oberste Schicht wird in Kapitel 4.4. die adaptive Benutzungsoberfläche beschrieben. Diese vereinheitlicht zum einen den Zugang zu den RPD-Anwendungen und ermöglicht zum anderen eine konfigurierbare Nutzungsschnittstelle, die speziell auf die Bedürfnisse der Experten zugeschnitten werden kann. So erhält ein Konstrukteur die Konstruktionsdaten des Pkw-Cockpits dargestellt, während adaptive Benutzungsoberfläche die Kosten der einzelnen Komponenten des Cockpits für den Kostenrechner aufbereitet.

Durch den Einsatz der RPD-IT-Infrastruktur werden die Experten der interdisziplinär agierenden Teams, in ihrer Arbeit visuell, interaktiv und kommunikativ unterstützt.

## ***Kosten, Qualität und Zeit***

In Kapitel 3 finden sich Methoden, Ansätze und Werkzeuge, um die beschleunigte Produktentwicklung hinsichtlich der Aspekte Qualität, Entwicklungskosten und -zeit zu optimieren.

Vorgestellt wird u.a. der Softwareprototyp eines Konstruktionssystems, dem Aktiven Semantischen Konstruktions- und Zuverlässigkeitsnetz (ASK/ASZ), das phasenübergreifend die Produktentwicklung bereits ab den frühesten Entwicklungsphasen unterstützt und hierbei von Beginn an Systemzuverlässigkeit und Herstellkosten besonders berücksichtigt. Nach der Vorstellung der Fähigkeiten werden in Kap. 3.2 beispielhaft Arbeiten mit und am Pkw-Cockpit, speziell der Schaltung erläutert. So wurde die Entwicklung des Pkw-Cockpits von der Erstellung einer Anforderungsliste, über verschiedene Entwicklungsstufen, bis hin zur Erstellung eines ersten Prototypen modelliert. Ein besonderer Schwerpunkt lag hierbei auf der Einbeziehung von Zuverlässigkeitsanalysen, sowohl qualitativer, als auch quantitativer Art und auch auf dem modularen Aufbau durch die Entwicklung eines Baukastensystems.

Bei der Entwicklung mit Hilfe des ASK/ASZ wurden zu verschiedenen Zeitpunkten spezielle Expertensysteme zu Rate gezogen, die vor allem letzten Endes Entwicklungszeit einsparen und die Produktqualität verbessern helfen sollten. In Kap. 3.3 werden Methoden und Tools zum Komplexitätsmanagements und der Qualitätssicherung gegeben. Hierbei werden z.B. Merkmale des Produktes extrahiert und daraus die relevanten Qualitätsmerkmale abgegrenzt. Ebenso wurde ein Referenzmodell zum umfassenden Qualitätsmanagement in dynamischen Strukturen erarbeitet. Es dient unter anderem als Wissensbasis für das ASK/ASZ und erhält seinerseits Informationen aus den Rapid Prototyping Verfahren, die in Kap. 5 vorgestellt werden.

Neben der Berücksichtigung von Herstellkosten im ASK/ASZ, müssen zur Kostensenkung auch die Prozesskosten herangezogen und optimiert werden. Dies ist u.a. deshalb notwendig, weil die Betrachtung der Herstellkosten im Sinne des Target Costings nicht alle anfallenden Kosten erfassen kann.

In Kap. 3.4 wurde untersucht, wie im Rapid Product Development die Entwicklung hinsichtlich der Prozesskosten kontrolliert und gesteuert werden kann. So wurden Leistungsbündel erfasst und bewertet und schlussendlich Werkzeuge entwickelt, die einen Prozess an sich transparent und beherrschbar machen.

## ***Erstellung virtueller und physischer Prototypen***

Auch am Beispiel des Pkw-Cockpits wurden bestimmte Bereiche der Mittelkonsole und des Armaturenrägers in Simulationen und der virtuellen Realität (VR) analysiert. Auf diese Weise konnte z.B. ohne teure Strömungsversuche das Strömungsverhalten der Luftdüsen in der virtuellen Realität dem physischen Modell durch Techniken der Augmented Reality (AR) mittels einer 3D-Shutter Brille überlagert und so effektiver visualisiert werden (Kap. 5.5).

Eine neu entwickelte Software ermöglichte die direkte Kopplung eines CAD-Systems mit einer so genannten Cave, die das intuitive Arbeiten mit dem CAD-System in der virtuellen Realität ermöglicht und mittel ausgeklügelter Datenrückkopplung auf einfache Art und Weise Bewegungs- und Montageanalysen zulässt (Kap. 5.2, 5.3, 5.5). So wurden am Beispiel des Pkw-Cockpits Montierbarkeitsuntersuchungen und Ergonomiestudien durchgeführt.

Nach der Entwicklung des Cockpits auf theoretischer und virtueller Basis und den beschriebenen Untersuchungen wurden auch Teile des Cockpits mittels Rapid Prototyping Verfahren gefertigt. Dabei kamen neu entwickelte RP-Verfahren, wie das „Multi Material Modelling“ (MMM) (Kap. 5.7) zum Einsatz, wie auch das „Selektive Lasersintern“ an Hochtemperaturkunststoffen (Kap. 5.10) oder das Lasergenerieren im modularen System (Kap. 5.9). Neue Beschichtungstechnologien ermöglichen das Aufbringen von Funktionsbeschichtungen (Kap. 5.8) und ermöglichen so die Erweiterung des Einsatzfeldes herkömmlicher Prototypen. So wurden die herkömmlichen Bedienelemente durch ein Multifunktionsdisplay mit entsprechender Buttonleisten ersetzt.

Die Entwicklung in der Blechumformung ermöglichten die rein virtuelle Konstruktion und Evaluation von Blechträgern im Bereich des Cockpits und die Simulation des Umformvorgangs. Auf diese Weise wurde mit dem entwickelten Rapid Prototyping Labor auf modernste Weise ein Kunststoffwerkzeug für die Umformpresse erzeugt, was im Vergleich zu herkömmlichen Werkzeugen einen enormen Kosten- und Zeitvorteil darstellt (Kap. 5.11).

Designstudien sollen ohne zeitraubende Umwege möglichst schnell als Designmodell gefertigt werden. Hierzu unabdingbar ist die daten- und informationstechnische Integration des Entwurfsprozesses in die RPD-Prozesskette. Forschungsergebnisse aus diesem Bereich werden in Kap. 5.6 vorgestellt.

Die Details zu den verwendeten Technologien, Methoden und Simulations- und Visualisierungswerkzeugen finden sich im Kapitel 5.