

## **INTEGRIERTE MODELLIERUNG VON PRODUKTEN UND DIENSTLEISTUNGEN – DIE KONZEPTPHASE IM ENTWICKLUNGSPROZESS HYBRIDER LEISTUNGSBÜNDEL**

*Tim Sadek, Patrick Müller, Ewald Georg Welp, Lucienne Blessing*

### **Zusammenfassung**

Dieser Beitrag basiert auf Forschungsergebnissen, die innerhalb des von der DFG geförderten Transregio 29 „Engineering hybrider Leistungsbündel“ (siehe [www.tr29.de](http://www.tr29.de)) erarbeitet wurden. Es werden die Forschungsschwerpunkte der Teilprojekte zu den Themen „Entwicklungsprozesse hybrider Leistungsbündel“ und „Wissensbasierte HLB-Konzeptmodellierung“ vorgestellt, die Verknüpfungen beider Teilprojekte angesprochen und erste Lösungsansätze diskutiert.

Nach der Charakterisierung hybrider Leistungsbündel werden Besonderheiten von HLB-Entwicklungsprozessen vorgestellt und anschließend ein Ansatz zur Integration der HLB-Konzeptmodellierung in diese HLB-Entwicklungsprozesse diskutiert. Hierbei wird auf den wissensbasierten Modellierungsansatz für hybride Leistungsbündel eingegangen, der Elemente und Beziehungen von bzw. zwischen Sach- und Dienstleistungsanteilen semantisch abbildet. Im Mittelpunkt steht dabei die hybrid heterogene Modellierung, die Modellelemente unterschiedlicher Abstraktionsstufen miteinander verknüpft und besonders die Kopplung von Sach- und Dienstleistungsanteilen unterstützt.

*Keywords: Hybride Leistungsbündel, HLB-Entwicklungsprozesse, hybrid-heterogenes Konzeptmodell, wissensbasierte HLB-Konzeptmodellierung*

### **1 Einleitung**

In verschiedenen Branchen und Märkten, speziell auch im produktionstechnischen Sektor, ist zu beobachten, dass kombinierte Produkte, bestehend aus Sach- und Dienstleistungsanteilen, als Bündel angeboten werden, um ungenutzte Produktpotentiale offenzulegen, den Kundennutzen zu erhöhen [1] oder Innovationen zu erzeugen [2]. Im Kontext des SFB/TR29 werden integriert geplante, entwickelte und erbrachte Sachleistungs-Dienstleistungs-Kombinationen als *hybride Leistungsbündel (HLB)* bezeichnet [1]. In der angelsächsischen Literatur haben sich diese Kombinationen in der Konsumgüterindustrie und in der Forschung unter dem Begriff *Product-Service Systems (PSS)* seit längerem etabliert [3] [4].

Grundlage der eigenen Forschung ist die Annahme, dass die Potentiale hybrider Leistungsbündel nur dann voll ausgeschöpft werden können, wenn die Prozesse und die darin eingebundenen Methoden zur Entwicklung der Sach- und Dienstleistungsanteile aufeinander abgestimmt werden. Grundsätzlich ist die integrierte Betrachtung von Sach- und Dienstleistungsanteilen bereits in der Produktplanung unerlässlich und konsequent im gesamten Entwicklungsprozess weiterzuverfolgen. Es sollen Prozesse, Methoden und Werkzeuge der beteiligten Disziplinen gesammelt analysiert und anschließend neue Integrations- und Abstimmungsansätze konzipiert werden. Das Ziel ist die Einbettung von angepassten, weiter- oder neuentwickelten Prozess- und Methodenbestandteilen in eine neue, generische Entwicklungsmethodik für hybride Leistungsbündel [5].

## 1.1 Hybride Leistungsbündel in Theorie und Praxis

Definitionsgemäß ist ein hybrides Leistungsbündel, kurz HLB, durch eine integrierte und sich gegenseitig determinierende Planung, Entwicklung, Erbringung und Nutzung von Sach- und Dienstleistungsanteilen einschließlich ihrer immanenten Softwarekomponenten gekennzeichnet (vgl. [1]). Sowohl die angestrebte Austauschbarkeit von Sach- durch Dienstleistungsanteile und umgekehrt als auch die Anpassungs- bzw. Wandlungsfähigkeit hybrider Leistungsbündel speziell in der Erbringungs-/Nutzungsphase des HLB-Lifecycles stellen dabei besondere Anforderungen an die Modellierung von HLB-Konzepten und damit auch an einen methodisch integrierten Entwicklungsprozess für Sach- und Dienstleistungen dar.

In der Praxis können bereits heute Produktbeispiele identifiziert werden, die als hybride Leistungsbündel angesehen werden können, auch wenn sie nicht notwendiger Weise explizit als solche geplant und entwickelt wurden. Global tätige Unternehmen wie beispielweise Hewlett-Packard, Apple oder IBM nutzen moderne Informationstechnologien für z.B. web-basierte Client-Server-Architekturen um Dienstleistungen an Ihre Primärprodukte (Soft- und Hardware) zu koppeln. Dienstleistungen können z.B. technischer Support wie die Bereitstellung von Updates oder ebenfalls ausgelagerte Datenhaltungsaufgaben sein. Die Anbieter dieser produkt-gebundenen Dienstleistungen (Server-Bereitstellung, Datenhaltung und -sicherung) bieten neben den reinen Sachleistungen damit vor allem auch Know-how an. Generell können so neue Formen von Angebot, Nutzung, und Unternehmensvernetzung entstehen. Zudem ist ein Trend hin zur „Servicification“ [6] zu erkennen, da speziell Dienstleistungen im Produkt-Lebenszyklus als Ertragsquelle wirksam und somit für die Anbieter wichtig werden. Triebwerkshersteller wie Pratt & Whitney [7] oder Rolls-Royce [8] machen Dienstleistungen zu einem immanenten Bestandteil ihrer Angebote. Konzepte wie „Fleet Maintenance Programme (FMP)“ [7] oder „Power-by-the-hour“ [8] verpflichten die Triebwerkshersteller vertraglich zur Wartung und Instandhaltung. Verfügbarkeit, Risiko und Ausfallstrategien sollten hier im Rahmen der Vernetzung von Triebwerkanbieter und Flugzeugbetreiber bereits durch eine integrierte Sach- und Dienstleistungsentwicklung entsprechend berücksichtigt werden. In vielen Fällen ist eine solche Integration jedoch nicht ausreichend und die Ausnutzung der Abhängigkeiten unzulänglich. Wesentliche Wechselwirkungen zwischen Sach- und Dienstleistungsanteilen, die bereits in frühen Entwicklungsphasen festgelegt werden, bleiben teilweise unberücksichtigt.

## 1.2 Potentiale hybrider Leistungsbündel

Aufgrund des hohen Komplexitätsgrads moderner (Produktions-)Systeme, der breiten Varianz und starken Dynamik von Kundenanforderungen und der stetigen Verkürzung von Produktlebenszyklen, werden zur nachhaltigen Sicherung der Ertragskraft innovative Produktkonzepte benötigt. Hybride Leistungsbündel werden als vielversprechender Ansatz angesehen, diesen Ansprüchen gerecht zu werden. Hierbei liegt die Innovation nicht nur in der Fokussierung auf neue Technologien. Vielmehr tritt der Integrationsumfang der Produktkonzepte selbst in den Vordergrund. Dieser umfasst nicht ausschließlich „klassische Integrationsansätze“, wie die Zusammenführung der technisch geprägten Disziplinen Mechanik, Elektronik und Informationstechnik in der Mechatronik, sondern auch die Integration flexibler Dienstleistungsentwicklung und -erbringung in das Gesamtsystem, wie in Abschnitt 1.1 beispielhaft angedeutet wurde.

Moderne, hoch komplexe Maschinen und Anlagen bieten zunehmend einen Funktionsumfang, der vom Bediener oder Betreiber oft nicht voll ausgeschöpft werden kann. Um den Nutzen der Kunden und Anbieter zu maximieren sowie die Einhaltung geforderter Qualitätsansprüche an den Betrieb und dessen Erzeugnisse zu gewährleisten, sind integrierte Dienstleistungen notwendig [1]. Damit die Erbringung dieser Dienstleistungen ebenfalls effizient und effektiv abgewickelt werden kann, muss in der HLB-Entwicklung eine anforderungsgerechte Abstimmung zwischen Sach- und Dienstleistungsanteilen modelliert werden.

Neben geeigneten HLB-Konzepten, Hilfsmitteln für die Dienstleistungen, Maschinenschnittstellen und Kapazitäten rückt besonders auch die Qualifikation und Verfügbarkeit der Dienstleister in den Vordergrund. Eine Umfrage des Bundesverbandes WindEnergie (BWE) bei Betreibern von Windkraftanlagen hat gezeigt, dass ein Teil der zuvor genannten Eigenschaften in den Dienstleistungen der Anlagenanbieter unzureichend war. Als Folge denken einige Betreiber über einen Anbieterwechsel und die Beauftragung von Drittunternehmen für die Erbringung qualifizierter Dienstleistungen nach [9]. Solch ein ungewünschter Zustand könnte mit ausgereiften HLB-Konzepten vermieden werden.

**Kundenintegration:** Die bewusste Kundenintegration soll im HLB-Kontext intensiviert sowie strategisch zur Aufnahme von Kundenwissen, Verbesserungsvorschlägen, zur kundenindividuellen HLB-Anpassung und zur Kollektion von Lifecycle-Informationen der integrierten Sach- und Dienstleistungen ausgenutzt werden. Der Kunde kann als „kostenloser Unternehmensberater“ (vgl. [10]) betrachtet werden.

## 2 Entwicklungsprozesse hybrider Leistungsbündel

### 2.1 Motivation zur Integration der wissensbasierten HLB-Konzeptmodellierung in den HLB-Entwicklungsprozess

Die Entwicklungsprozesse der Sach- und Dienstleistungen verlaufen derzeit oft separat und parallel, da bislang keine geeigneten Integrationsansätze existieren [11] (s. auch [12]). Mutmaßliche Wechselwirkungen und suboptimale Folgen können durch die in Bild 1 vernetzten Elemente beschrieben werden:

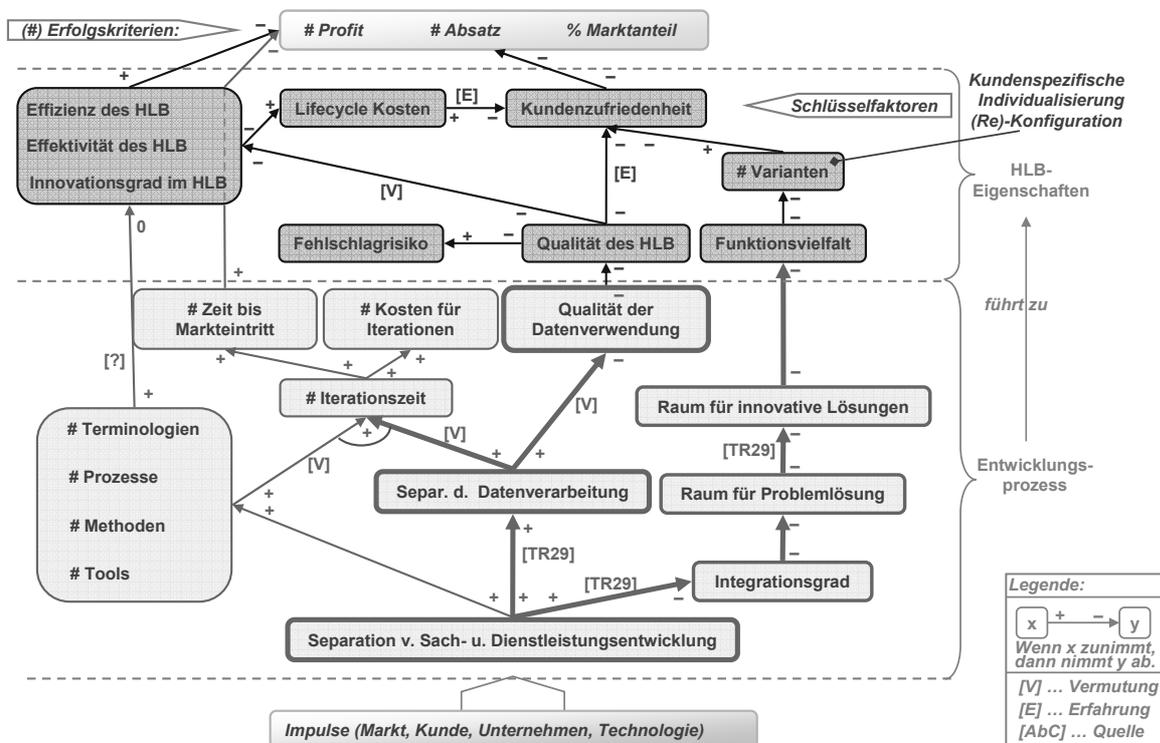


Bild 1: Netzwerk von Einflussfaktoren im Entwicklungsprozess

Zu befürchten sind eine unnötig große Anzahl unterschiedlich eingesetzten Terminologien, Methoden und Tools (Bild 1, links unten) und Qualitätseinbußen bei der Nutzung der „Produktdaten“ (mittig unten). Die mögliche, ungewollte Einschränkung des Lösungsraums (rechts unten) kann zu einer geringeren Effektivität, Effizienz und Innovation im HLB führen

(oben) und die Erfüllung der Erfolgskriterien gefährden (vgl. Abschnitt 1.2). Die fehlenden Verbindungen zwischen den Datenmodellen der Sach- und Dienstleistungsanteile (separate Verarbeitung der Daten, mittig unten) lässt auf eine ineffiziente Informationsverwendung in der Entwicklung und längere sowie kostenintensivere Entwicklungsprozesse schließen. Beispielsweise kann die Änderung einer Bauteilverbindung zu Problemen bei einer Instandhaltungsdienstleistung führen, wenn die Stücklisten für die Instandhaltungsarbeiten nicht direkt mit dieser Änderung abgeglichen werden.

Zur Zusammenführung der Sach- und Dienstleistungsentwicklung in einer geschlossenen HLB-Entwicklungsmethodik [5], [13] bedarf es eines weiterführenden Modellierungskonzeptes, mittels dessen Sachleistungs- und Dienstleistungsanteile in unterschiedlichen Entwicklungs- und somit Abstraktionsstufen integriert beschrieben werden können. HLB-geeignete Beschreibungssprachen und adaptive Modellierungsmethoden, die diesen Abbildungsanspruch gänzlich erfüllen, bestehen bisher jedoch nicht.

Aus den geschilderten Potentialen hybrider Leistungsbündel und den derzeitigen Defiziten der Entwicklungsprozesse lässt sich nachfolgende Hypothese ableiten: *„Hybride Leistungsbündel und ihre Entwicklung werden effektiver und effizienter, wenn die Entwicklungsprozesse der Sach- und der Dienstleistungsanteile integriert werden.“*

Die integrierende HLB-Entwicklungsmethodik umfasst eine vereinheitlichte Terminologie, ein generisches Entwicklungsprozessmodell als Basis für die Entwicklungstätigkeiten unterschiedlicher Disziplinen sowie eine konkrete Einbindung von Methoden für unterschiedliche Entwicklungsaufgaben und -phasen. Das Zusammenspiel dieser Elemente ist in Bild 2 dargestellt.

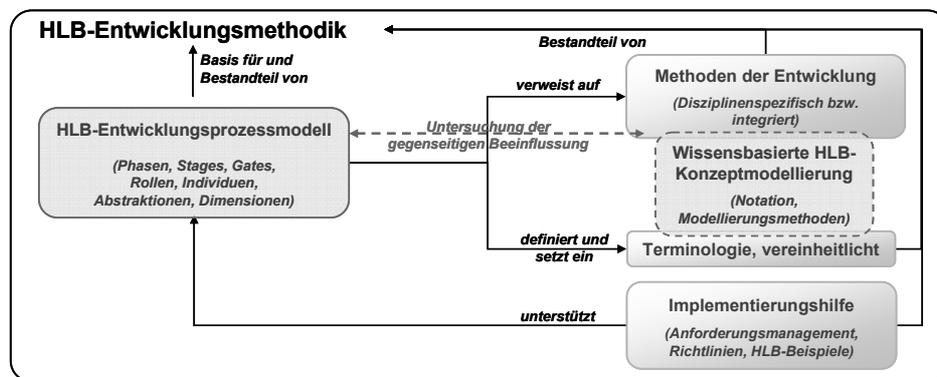


Bild 2: Ansatz zum Aufbau der HLB-Entwicklungsmethodik

Die Entwicklung hybrider Leistungsbündel bindet, wie vergleichsweise auch die Mechatronik, verschiedene Disziplinen bzw. Domänen ein, die unterschiedliche Methodiken, Methoden und Werkzeuge einsetzen [14]. Neben den Modellen zur Abbildung technischer Komponenten und Systeme kommen nun noch die zur Modellierung von Dienstleistungen hinzu. Die Entwickler müssen in diesem Kontext ein weiteres Spektrum an Dimensionen und Einflussfaktoren bedenken [13]. Daraus ergeben sich neue Chancen aber auch Risiken bei der Lösungssuche zur Befriedigung der Kundenwünsche durch ein HLB. Besonders herausfordernd sind Bewertung und Vergleich von HLB-Konzepten, die unterschiedliche Gewichtungen an Sach- bzw. Dienstleistungsanteilen aufweisen. Noch schwieriger wird diese Aufgabe, wenn in HLB-Konzepten zeitvariante Verteilungen der Sach- und Dienstleistungsanteile in der Erbringungs-/Nutzungsphase vorliegen. Der Austausch von Anbieterpersonal durch Kundenpersonal kann z.B. die Substitution einer Überwachungsdienstleistung durch Überwachungshardware (Sensorik und Software) nach sich ziehen. Ohne rechtzeitige Berücksichtigung von Substituierbarkeitsoptionen entfallen Wertschöpfungspotentiale.

## 2.2 Anforderungen zur Integration der wissensbasierten HLB-Konzeptmodellierung

Aus der vorangegangenen Charakterisierung hybrider Leistungsbündel werden zwecks Erschließung der enthaltenen Potentiale die nachfolgenden Anforderungen an die Modellierung von HLB-Konzepten in frühen Entwicklungsphasen gestellt:

1. Hybrid: Um das Zusammenwirken von Sach- und Dienstleistungsanteilen im gesamten Lebenszyklus eines hybriden Leistungsbündels erfassen zu können, ist es notwendig, bereits in der Konzeptphase Interdependenzen zwischen den Modellen der sach- und der dienstleistungsentwickelnden Disziplinen *hybrid* zu modellieren.
2. Heterogen: Entgegen der klassischen, strikten Trennung der drei Abstraktionsebenen Funktions-, Wirk- und Bauzusammenhang [15] wird eine *heterogene* Modellierung favorisiert, damit zeitlich, örtlich und disziplinar verteilte Entwickler im Entwicklungsprozess Prozess flexibel zusammenarbeiten können. Konkret ausgestaltete Sachleistungen können so z.B. mit rudimentär definierten Dienstleistungsprozessen in einem heterogenen Modell verarbeitet werden.
3. Wissensbasiert: Aufgrund der neuen komplexen Aufgabe, die Wechselwirkungen zwischen Sach- und Dienstleistungen zu modellieren, soll den Entwicklern eine Hilfestellung mit in *Wissensbasen* hinterlegten Informationen bereitgestellt werden. Bei der Zuordnung von Funktionen zu Sach- bzw. Dienstleistungskomponenten soll der Entwickler unterstützt werden.

Die Erfüllung dieser Anforderungen ist grundlegend für die Integration der HLB-Konzeptmodellierung in den generischen HLB-Entwicklungsprozess und für eine Kompensation der erläuterten Schwachstellen in Bild 1 (s. Pfad mit dicken Linien).

## 3 Wissensbasierte HLB-Konzeptmodellierung

Abgeleitet aus den formulierten Anforderungen greift das wissensbasierte Modellierungskonzept die Schwierigkeiten der Zusammenführung von physikalisch beschreibbaren Attributen der Sachleistungsanteile mit den wert- bzw. ablauforientierten Eigenschaften der Dienstleistungsanteile in einem kombinierten Modell auf. Die methodische Modellierung erfolgt durch die Kombination des objektorientierten Paradigmas (eine Menge von Modellierungstheorien, -standards und -methoden) mit semantisch annotierten Modellelementen [16]. Als Erweiterung der heterogenen Modellierung mechatronischer Systeme (Fokus auf Sachleistungen) [17] bietet die „hybrid-heterogene HLB-Konzeptmodellierung“ die Integration von Dienstleistungsanteilen. Sie dient somit als Beschreibungsgrundlage für einen flexiblen HLB-Entwicklungsprozess, in dem die Grenzen zwischen Funktions-, Wirk- und Baustruktur durch eine integrierte Modellierung aufgelöst werden können. Als Teil der wissensbasierten HLB-Konzeptmodellierung werden ebenfalls Ansätze für eine HLB-Notation und HLB-Modellierungsmethoden vorgestellt.

### 3.1 Ziele und Eigenschaften des hybrid-heterogenes HLB-Konzeptmodells

Einerseits folgt das hybrid-heterogene HLB-Konzeptmodell, welches aus Systemelementen und -relationen zusammengesetzt ist, dem systemtechnischen Grundsatz [18] und dient der quantitativen und/oder qualitativen Abbildung des Systemverhaltens eines HLB. Um bereits in den frühen Phasen der HLB-Entwicklung dessen Eigenschaften und Verhalten zu untersuchen, soll die Simulation bereits in der Konzeptphase erfolgen (vgl. [15]). Andererseits sollen mit der Bündelung des Entwicklungswissens aus vorgelagerten Entwicklungsstufen, wie der Anforderungserfassung, -strukturierung und -definition, im hybrid-heterogenen HLB-

Konzeptmodell produkt- und prozessorientierte Sichten abgeleitet werden. Diese Sichten adressieren die Phasen im Produktlebenszyklus (Entstehung, Erbringung und Nutzung).

Neben den übergeordneten Zielen enthält das hybrid-heterogene HLB-Konzeptmodell im Wesentlichen folgende Eigenschaften: Die formale und informationstechnische Modellierung des hybrid-heterogenen HLB-Konzeptmodells basiert auf dem erweiterten objektorientierten Ansatz, indem Systemelemente und Systemrelationen in adaptiven und erweiterbaren Klassenstrukturen attribuiert und semantisch annotiert werden. Weiterhin sind die erzeugten HLB-Konzeptmodelle als „dynamisch anpassbar“ zu verstehen. Es können z.B. Feed-Back-Informationen aus späteren Entwicklungsschritten wie dem partiellen Sach- oder Dienstleistungsentwurf in das HLB-Konzeptmodell integriert und die Attributierungen des Konzeptmodells erweitert werden.

Die Heterogenität des Konzeptmodells zeichnet sich durch den Integrationsansatz der drei Modellierungsdimensionen Detaillierung, Konkretisierung und Formalisierung (s. Abschnitt 3.2) in einem Modell aus. Die Hybridität des HLB-Konzeptmodells hingegen wird durch die Anbindung der prozessorientierten Erbringungs- und Nutzungssicht an die Konzeptphase erzeugt. Dabei kann das hybrid-heterogene HLB-Konzeptmodell zwar die Möglichkeit umfassen, einzelne „extrem ausgeprägte“ Systemelemente, d.h. konkret ausgestaltete Maschinenkomponenten (*SL-orientiert* = Kupplung #4711) oder Prozessabläufe (*DL-orientiert* = Wartungsprozess #0815 an Kupplung #4711) im Sinne der Objektorientierung mit Instanzen abzubilden, es ist explizit hervorzuheben, dass das Konzeptmodell jedoch nicht durch eine sukzessive Anreicherung mit Informationen der konkreten HLB-Ausgestaltung in ein integrales Produktmodell überführt werden soll.

### 3.2 Hybrid Heterogene Modellierung in formalisierten Modellierungsräumen

Der methodische Ansatz der „heterogenen Modellierung“ wird erstmals von JANSEN im Kontext der räumlichen und funktionalen Partitionierung mechatronischer Produkte konkretisiert [17]. Bild 3 zeigt beispielhaft die Integration von Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten durch Relationen in dem heterogenen Konzeptmodell eines mechatronischen Bewegungssystems.

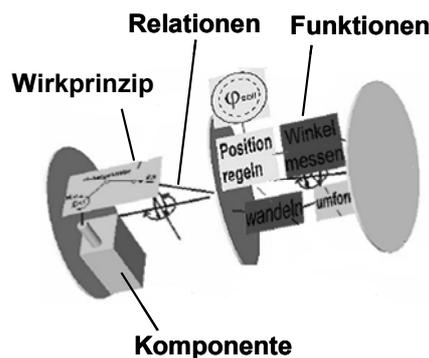


Bild 3: Heterogenes Konzeptmodell (vgl. [17])

Das Potenzial der Kopplung von Systemelementen beliebiger Abstraktions- und Formalisierungsgrade über gerichtete und ungerichtete Relationen zu Abstraktionsgrad unabhängigen Modellen wird nun in der HLB-Konzeptmodellierung adaptiert und um die zusätzliche Integration von Dienstleistungen erweitert. Um nunmehr Modelle einer spezifischen Abbildungsebene zu beschreiben und zu transformieren, d.h. auf eine andere Abbildungsebene zu überführen, ist die Definition von formalisierten Modellierungsräumen notwendig. Bild 4 stellt die sach- und dienstleistungsspezifischen Modellierungsräume sowie den integrierenden HLB-Modellierungsraum dar.

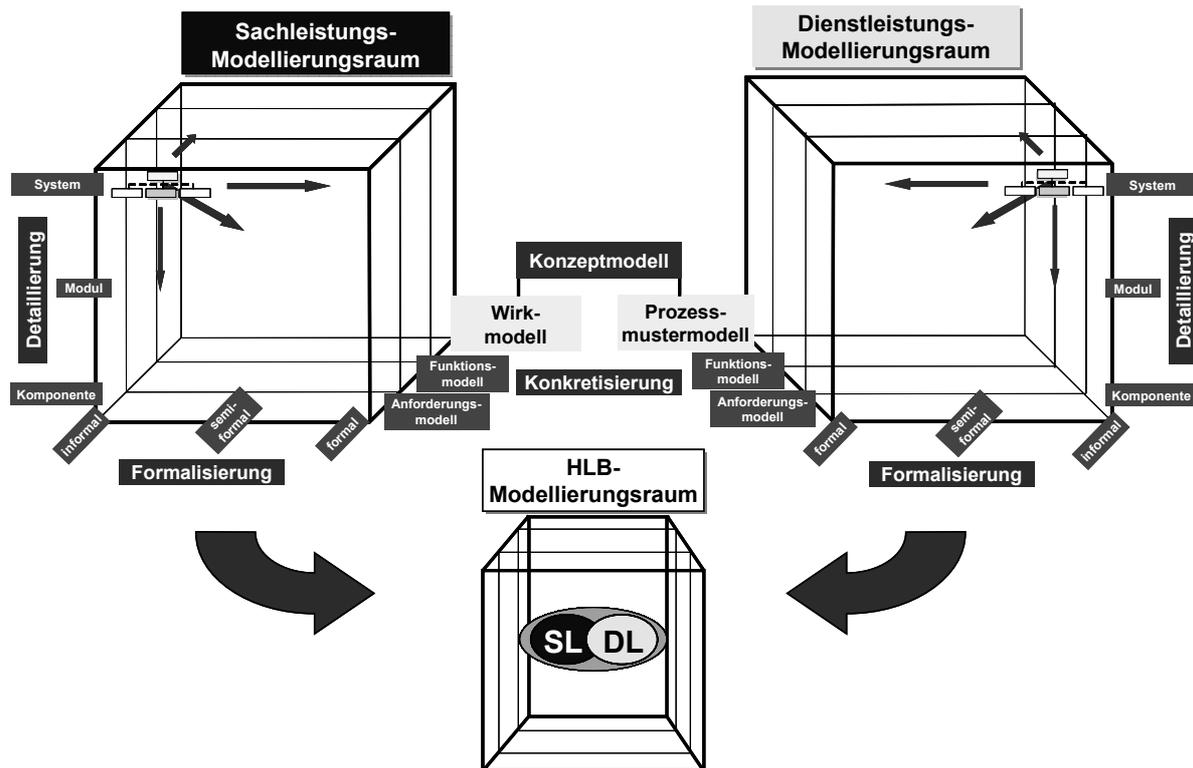


Bild 4: Formalisierte Modellierungsräume

Die Transformation von Modellen in formalisierten Modellierungsräumen bietet entgegen klassischen, stufenweisen Konzeptmodelle den Vorteil, Partialmodelle an beliebigen Punkten der Modellierungsräume konsistent zu beschreiben, ineinander zu überführen sowie miteinander zu kombinieren. Zur Integration der partialen Sach- und Dienstleistungsmodelle bedarf es der Konstruktion des HLB-Modellierungsraums. Dabei besteht die Herausforderung im Kontext der sach- und dienstleistungsintegrierten Konzeptmodellierung in der Kopplung von Wirk- und Prozessmustermodellen in diesem HLB-Modellierungsraum.

### 3.3 Beispiel zur Sach- und Dienstleistungsinteraktion in der HLB-Entwicklung

Wie bereits in Abschnitt 2.1 erläutert wurde, stehen in der HLB-Entwicklung nicht nur neue Technologien im Vordergrund, sondern gleichermaßen auch der Integrationsumfang des Produktkonzepts selbst. Der wesentliche Unterschied zu den bestehenden Produkt-Service-Konzepten zeigt sich dabei aus Entwicklersicht bereits in der Erfassung der Kundenanforderungen. Anstelle des klassischen Aufstellens von Anforderungslisten beschreibt der Kunde losgelöst seine Problemstellung in einem natürlich-sprachlichen Dokument, z. B. in einer e-Mail. Ein Beispiel einer natürlich-sprachlichen Problembeschreibung des Kunden kann lauten, „die temporäre Verfügbarkeit einer Rotationsspindel [zu] gewährleisten“.

Dem HLB-Grundgedanken folgend, beinhaltet der Aspekt der „Verfügbarkeit“ nicht nur die zuverlässige Bereitstellung der technischen Funktionalität durch eine Sachleistung, sondern auch die Sicherstellung der lokalen und zeitlichen Nutzbarkeit der Rotationsspindel durch entsprechende Dienstleistungsprozesse. Der Anteil der Sachleistung könnte sich dabei aus Einspannung, Bewegungssystem, Programmierereinheit und weiteren Elementen zusammensetzen, die entsprechend dem Geschäftsmodell beispielsweise modular- oder montagegerecht gestaltet sind. Der Anbieter übernimmt zusätzlich zur terminierten Anlieferung der Sachleistung die Inbetriebnahme, einschließlich der Programmierung und Kalibrierung, sowie die Überwachung während des Einsatzes, um bei Störungen rechtzeitig mit einem Wartungsvorgang eingreifen zu können. In Kombination mit weiteren Dienstleistungsanteilen, wie

der Qualifikation der Service-Mitarbeiter, einer mögliche Außerbetriebnahme und dem Abtransport ergibt sich somit ein hochkomplexes Sachleistungs-Dienstleistungs-System (definiert durch das HLB-Konzept), dessen vielfältige Wechselwirkungen zwischen Sach- und Dienstleistung bereits in den frühen Entwicklungsphasen impliziert und festgelegt werden. Bild 5 stellt beispielhaft den Zusammenhang zwischen Sach- und Dienstleistung und der integrierten Modellierung dar.

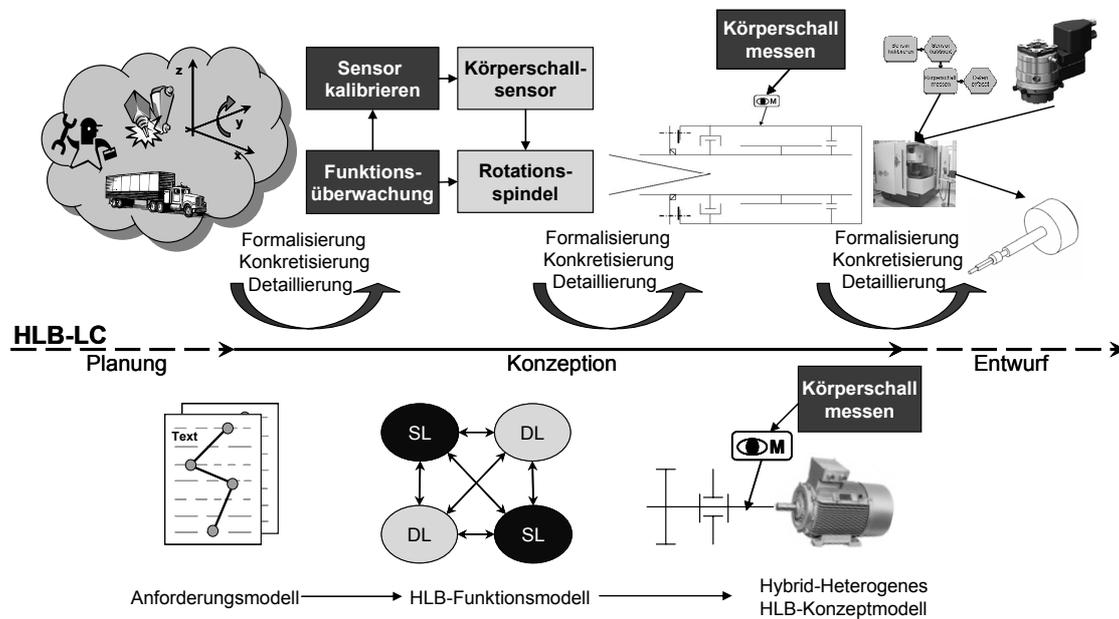


Bild 5: Beispiel der hybrid-heterogenen HLB-Konzeptmodellierung

Ausgehend vom dargestellten Beispiel lässt sich der Komplexitätsgrad der Gesamtentwicklung eines HLBs erahnen. Zusammen mit den Anforderungen aus Abschnitt 2.2 ergibt sich der Bedarf nach methodisch effizienten Vorgehensweisen und rechnerbasierten Werkzeugen zur Beherrschung der entwicklungs-technischen Gesamtaufgabe.

### 3.4 Anforderungen an die wissensbasierte HLB-Konzeptmodellierung

Die HLB-Konzeptmodellierung beinhaltet eine neu zu entwickelnde sach- und dienstleistungskonsistente Beschreibungssprache sowie die Konzeption semantischer HLB-Modellierungsmethoden, um die ungewollte Statik und Entkopplung bisheriger Ansätze zu überwinden. Aus den HLB-Eigenschaften und den Besonderheiten des zugehörigen HLB-Entwicklungsprozesses, wie beispielsweise die flexible Anpassung auf dynamische Kundenanforderungen, ergeben sich Anforderungen, die im Ansatz der wissensbasierten Konzeptmodellierung zu berücksichtigen sind.

Neben den übergeordneten Anforderungen können sowohl modellierungs- als auch methodenorientierte Anforderungen identifiziert werden. Zur Abbildung eines hybriden Leistungsbündels in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses sind einerseits Modellelemente zur systemorientierten Abbildung, andererseits geeignete Darstellungs- und Beschreibungsformen notwendig. Die Konzeption der angegebenen Elemente erfolgt dabei stets orientiert am Integrationsvorhaben von Sach- und Dienstleistungen, d.h. an der Zusammenführung der Abstraktionsebenen. Um die HLB-Konzeptmodellierung effizient zu gestalten, sind geeignete methodische Bausteine bereitzustellen. Neben dem Vorgehensmodell sind speziell die zu implementierenden Methodenbausteine zu spezifizieren.

### 3.5 Gesamtkonzept der wissensbasierten HLB-Konzeptmodellierung

Die Modellierung eines hybriden Leistungsbündels in den frühen Phasen der Entwicklung beginnt, wie bereits gezeigt, bei der Formalisierung und maschinenlesbaren Editierung von textuell beschriebenen Kundenanforderungen. Den Grundmethodiken der Sachleistungsentwicklung folgend, werden die formalisierten Kundenanforderungen anschließend in einem mehrstufigen iterativen HLB-Entwicklungsprozess methodisch zu hybrid-heterogenen HLB-Konzeptmodellen entwickelt. In dem vorliegenden Ansatz erfolgt die Modellierung mit Hilfe von Elementen und Relationen, die in Abhängigkeit vom Konkretisierungsgrad die Form von als Funktionen, Wirkprinzipien bzw. Prozessmuster oder konkreten Komponenten und Prozessen annehmen. Um eine flexible, systemorientierte Modellierung auf den unterschiedlichen Abstraktionsebenen zu ermöglichen, werden formale (z.B. „ $P = M \cdot \omega$ “) und semi-formale (z.B. „Energie wandeln“) Beschreibungselemente in frühen Phasen der sach- und dienstleistungsintegrierten HLB-Entwicklung kombiniert.

Der stark progressive Anstieg der Daten-, Informations- und Wissensumfänge in den frühen Entwicklungsphasen, der sich bereits bei reiner Sachleistungsentwicklung zeigt, wird durch die HLB-charakteristischen dynamischen Wechselwirkungen zwischen Sach- und Dienstleistungsanteilen noch verstärkt und erfordert den Einsatz des wissensbasierten Modellierungskonzepts. Hier wird das Entwicklungswissen aufbauend auf dem objektorientierten Paradigma mit Hilfe der semantischen Modellbildung gebündelt, aufbereitet und den Entwicklungsschnittstellen bereitgestellt. Der Aspekt der Semantik spiegelt sich dabei einerseits in der methodischen Kopplung der Modellebenen und andererseits in der logischen Verknüpfung der Modelle selbst zwischen den unterschiedlich abstrakten Beschreibungsebenen wider.

Bild 6 verdeutlicht das Gesamtkonzept der wissensbasierten HLB-Konzeptmodellierung. Dieses sieht zur methodischen Transformation von Modellen zwischen der Anforderungs-, Funktions- und Konzeptebene den Einsatz von Ontologien zur semantischen Wissensrepräsentation und die Einbindung von intelligenten Such- und Interpretationsalgorithmen in einem Softwareagenten zur Implementierung der Methodenbausteine vor.

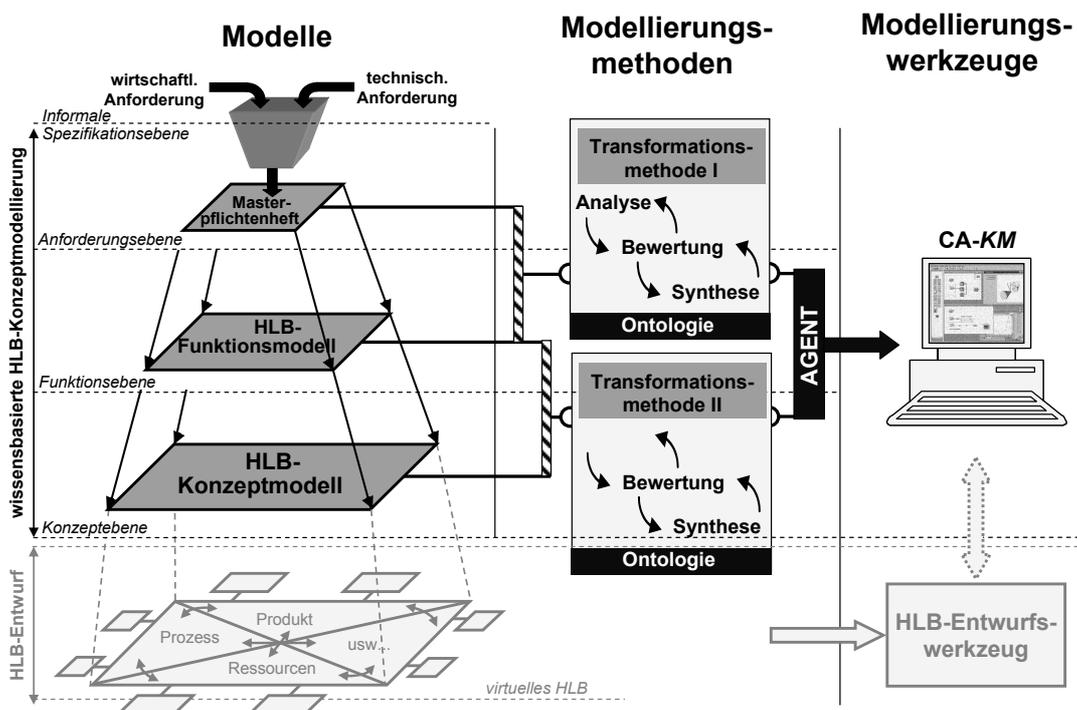


Bild 6: Gesamtkonzept der wissensbasierten HLB-Konzeptmodellierung

### 3.6 Konzept der HLB-Notation

Zur kombinierten Beschreibung von Elementen, zur frühzeitigen Berücksichtigung von intern und externen HLB-Einflussgrößen und zur Abbildung funktionaler und semantischer Relationen ist ein generisches Beschreibungssprachengerüst, die HLB-Notation, für die frühen HLB-Entwicklungsphasen notwendig. Die HLB-Notation stellt eine Abstraktionsgrad-unabhängige „Metasprache“ zur logisch konsistenten Beschreibung und durchgängigen Transformation von Anforderungs-, Funktions- und Konzeptmodellen dar. In ihr sind sowohl die Struktur des Modellierungswortschatzes als auch die prinzipielle Element-Relation-Syntax hinterlegt. Die operative sach- und dienstleistungsintegrierte Modellbildung muss jedoch von handhabbaren und konkret spezifizierten Beschreibungssprachen unterstützt werden. Die Kundenanforderungen werden in einer textuellen Beschreibungssprache linguistisch modelliert und semantisch annotiert, d.h. mit Metadaten angereichert.

Ein Anforderungsfragment wie die „temporäre Verfügbarkeit eines Handhabungssystems“, wird als Text vom Entwickler in das Pflichtenheft übertragen. Zur Interpretation natürlicher Sprache werden Elemente wie „temporär“ und „Verfügbarkeit“ mittels RDFS-Standard [19], [20] maschinenlesbar codiert.

Weiterhin wird der aus der Systemtechnik bekannte Beschreibungssprachenansatz der Blockdiagramme zur Anwender-gebundenen Beschreibung von HLB-Funktionsmodellen adaptiert und um Elemente zur sach- und dienstleistungsintegrierten Objekt- und Relationsbeschreibung ergänzt. Die Visualisierung von hybrid-heterogenen HLB-Konzepten greift auf eine Erweiterung der graphischen Modellierung physikalischer Wirkprinzipien zurück. Um diese für die Modellierung der Dienstleistungsanteile nutzbar zu machen, wird sowohl der Wortschatz um symbolhafte Beschreibungselemente als auch die Syntax um leistungsspezifische Konventionen zur Modellbildung erweitert.

Hinsichtlich der informationstechnischen Umsetzung und Implementierung der HLB-Notation in ein rechnerbasiertes Modellierungswerkzeug wird die Erweiterung des UML-Ansatzes, die Systembeschreibungssprache SysML (vgl. [21]), als Basis der Abstraktionsgrad neutralen Kopplung von Anforderungs- und Konzeptmodellierung auf Verwendbarkeit geprüft. Dabei ermöglicht der im Systems Engineering entstandene Modellierungsansatz weiterhin die Integration von operativen Entwicklungsmodellen und organisationsorientierten Metamodellen des Lifecycle Managements.

### 3.7 Konzept der HLB-Modellierungsmethoden

Wie den oben gestellten Anforderungen an die HL-Konzeptmodellierung zu entnehmen ist, sind Integrationsregeln, Handlungshilfen und Bewertungsstrategien notwendig. Zur Gewährleistung der Abbildungskonsistenz in den Modellschnittstellen (Anforderungsmodell ↔ Funktionsmodell ↔ Konzeptmodell) sowie zur Realisierung des semantischen Modellierungsansatzes werden sogenannte Transformationsmethoden benötigt (vgl. Bild 6). Dies wird durch den vorgesehenen modularen Aufbau des Methodenkonzepts erzielt. Dieser enthält semantische Wissensspeicher (Ontologien), in denen die Wortschätze verschiedener, konkret ausgestalteter Beschreibungssprachen abgelegt sind, die generische HLB-Notation sowie das notwendige HLB-Basiswissen. Die modulare Architektur des Such- und Interpretationssystems (kurz Agentensystems), in dem die Modellierungs- und Transformationsregeln sowie weitere Logikkomponenten eingebunden sind, ermöglicht es analysierende, bewertende und synthetisierende Modellierungsarbeitsschritte zu kombinieren.

## 4 Zusammenfassung

Einleitend wurden hybride Leistungsbündel definiert und praxisnahe Beispiele dieser vorgestellt. Es standen speziell die Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit sowie der Entwicklungsprozess hybrider Leistungsbündel im Vordergrund. Darauf aufbauend wurden die Potentiale von HLBs in Anbetracht zunehmender Funktionsumfänge und Qualitätsansprüche offengelegt. Zur Motivation der Integration der wissensbasierten HLB-Konzeptmodellierung in den HLB-Entwicklungsprozess wurde ein Netzwerk aus Einflussfaktoren präsentiert und die Integrationsanforderungen abgeleitet. Die im Mittelpunkt der HLB-Konzeptmodellierung stehenden Ziele und Eigenschaften des hybrid-heterogenen HLB-Konzeptmodells wurden im Zusammenhang mit formalisierten Modellierungsräumen diskutiert. Mit der Vorstellung eines HLB-Konzeptbeispiels konnten der hohe Komplexitätsgrad der HLB-Entwicklung beschrieben und anschließend Anforderungen an die wissensbasierte HLB-Konzeptmodellierung abgeleitet werden. Ausgehend von der Präsentation des Gesamtkonzepts wurden die Eigenschaften der HLB-Notation und der HLB-Modellierungsmethoden umrissen.

Im Rahmen der weiterführenden Forschung im Transregio 29 werden die vorgestellten, vielversprechenden Integrationsansätze weiter detailliert, um die HLB-Konzeptmodellierung noch stärker mit dem HLB-Entwicklungsprozess zu verweben.

## Dank

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, [www.dfg.de](http://www.dfg.de)) für die Förderung der Forschung im Rahmen des Transregio 29 „Engineering hybrider Leistungsbündel“ ([www.tr29.de](http://www.tr29.de)). Ohne diese Förderung wären diese Erkenntnisse und Forschungsergebnisse nicht möglich.

## Literatur

- [1] Meier H., Uhlmann E., Kortmann D.: Hybride Leistungsbündel, Nutzenorientiertes Produktverständnis durch interferierende Sach- und Dienstleistungen. wt Werkstattstechnik online Jahrgang 95, H. 7/8, Springer VDI Verlag 2005
- [2] Doblin Inc.: Ten Types of Innovation. <http://www.doblin.com/>, Juni 2007
- [3] Matzen D., Tan A. R., Andreasen M. M.: Product/service-systems: Proposal for models and terminology. Design for X, Beiträge zum 16. Symposium. Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Technische Universität Erlangen, 2005, pp. 27-38.
- [4] McAloone T. C., Andreasen M. M.: Design for Utility, sustainability and societal virtues: Developing Product Service Systems. Proceedings of the International Design Conference – Design 2004, Dubrovnik, D. Marjanovic (ed), Zagreb, 2004.
- [5] TR29: Engineering hybrider Leistungsbündel – Dynamische Wechselwirkungen von Sach- und Dienstleistungen in der Produktion. <http://www.tr29.de>, Juni 2007.
- [6] Tomiyama T.: Service Engineering to Intensify Service Contents in Product Life Cycles. Research in Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo, 2001.
- [7] Pratt & Whitney: Pratt and Whitney Canada's PW600 turbofan series: Opening new horizons in jet travel. Engine Yearbook 2007, <http://www.aviationindustrygroup.com/index.cfm?format=1475>, September 2007.
- [8] Ong M., Ren X., Allan G., Thompson HA, Fleming PJ: Future Trends in Aircraft Engine Monitoring. Rolls-Royce Supported University Technology Centre in Control and

- Systems Engineering, Department of Automatic Control and Systems Engineering, University of Sheffield, United Kingdom.
- [9] Lönker O.: Umsätze top, Service Flop. Erneuerbare Energien / Wind, Neue Energie 03/2007.
- [10] Lönker O.: Von Licht und Schatten. Erneuerbare Energien / Wind, Neue Energie 02/2005.
- [11] SFB/Transregio 29: Engineering Hybrider Leistungsbündel – Dynamische Wechselwirkungen von Sach- und Dienstleistungen in der Produktion. Internet: [www.tr29.de](http://www.tr29.de). Stand: September 2007.
- [12] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Arbeitsgestaltung und Dienstleistungen, Verfahren zur Gestaltung von Dienstleistungsgeschäftsprozessen – Service Engineering. [http://pt-ad.pt-dlr.de/441\\_497\\_DEU\\_Live.htm](http://pt-ad.pt-dlr.de/441_497_DEU_Live.htm), Stand: September 2007.
- [13] Müller P., Blessing L.: Development of Product-Service-Systems – Comparison of Product and Service Process Models. Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED), Paris/France, August 2007.
- [14] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2206 – Design methodology for mechatronic systems. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2004.
- [15] Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K. H.: Engineering Design, A Systematic Approach. Third Edition, Springer-Verlag London, 2007, ISBN 978-1-84628-318-5.
- [16] Bludau C., Welp E.G: Semantic Web Services for the Knowledge-Based Design of Mechatronic Systems. Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design (ICED); Globally Effective Engineering Design; Melbourne/Australia; 2005
- [17] Jansen S., Welp E.G.: Modellbasierte Partitionierung mechatronischer Systeme am Beispiel eines multifunktionalen Bewegungssystems. Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe Rechnerintegrierte Produktion Band 189, S. 397-411. Paderborn 2006
- [18] Willke H.: Systemtheorie 1. Grundlagen. 7. Auflage, UTB, Stuttgart, 2006.
- [19] Pellegrini T., Blumauer A.: Semantic Web. Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft. Springer Verlag, Berlin, 2006.
- [20] World Wide Web Consortium: <http://www.w3.org/>, Stand: September 2007.
- [21] Weilkiens T.: Systems Engineering mit SysML/UML. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2006

Dipl.-Ing. Tim Sadek  
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre (LMK)  
Ruhr Universität Bochum  
Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum  
Tel. +49 (0)234 / 32-22636 oder -22477  
Fax +49 (0)234 / 32-14159  
E-Mail: [sadek@lmk.rub.de](mailto:sadek@lmk.rub.de)  
URL: [www.lmk.rub.de](http://www.lmk.rub.de)

Dipl.-Ing. Patrick Müller  
Fachgebiet für Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik  
Technische Universität Berlin  
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin  
Tel. +49 (0)30 / 314-28993  
Fax +49 (0)30 / 314-26481  
E-Mail: [patrick.mueller@fgktem.tu-berlin.de](mailto:patrick.mueller@fgktem.tu-berlin.de)  
URL: [www.ktem.tu-berlin.de](http://www.ktem.tu-berlin.de)