

## Werkstoffgerechte Lösungsfindung durch anforderungsgetriebene Konstruktionsmethodik

Lütkepohl, Anke

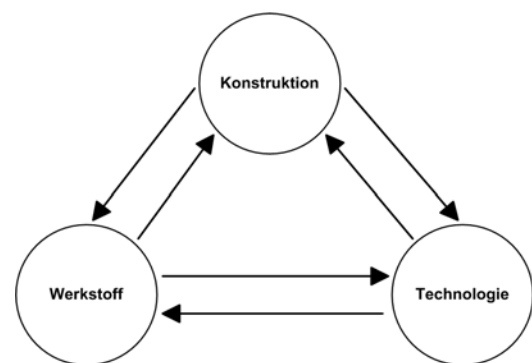
*Ziel eines vom Institut für Maschinenwesen bearbeiteten und von der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsvorhabens ist es, ausgehend von den Produkthanforderungen, durch eine interdisziplinäre Verknüpfung der Entwicklungsfelder Werkstoff, Konstruktion und Technologie Attribute zu finden und zu definieren, die bereits in der Konzeptionsphase in den Konstruktionsprozess eingebunden werden und zu innovativen Lösungsprinzipien führen*

*Detecting and defining attributes by an interdisciplinary combination of the development areas material, design and technology is goal of a research project at the Institut für Maschinenwesen (IMW), aided from "Deutsche Forschungsgemeinschaft" (DFG). This attributes being integrated in the concept phase of the construction process, shall lead to innovative solution principles.*

### 1 Einleitung

Aus Gründen der Erfüllung von zum Teil konkurrierender oder sich widersprechender Anforderungen moderner und marktgerechter Produkte stellt der zu wählende Werkstoff für den Konstrukteur häufig eine Restriktion dar. Aus diesem Grund ist es oftmals notwendig, Werkstoffe zu kombinieren und funktionsgerecht einzusetzen oder als Funktionswerkstoff in Integral- oder Verbundbauweise zu verwenden. Daraus ergibt sich zwangsläufig eine interdisziplinäre Verknüpfung der Entwicklungsfelder Werkstoff, Konstruktion (Gestaltung, Modellierung) und Technologie (**Bild 1**). In dieser Art wird der Konstruktionsprozess in den bekannten Vorgehensweisen z.B. nach VDI 2221/2222 formal nicht unterstützt. Die Werkstoffwahl und die Wahl der Herstellungstechnologien erfolgt meist in der Gestaltungsphase. Zu diesem Zeitpunkt liegt das Lösungskonzept zur Erfüllung der Hauptfunktionen bereits unveränderbar vor. Die Chance zur Beeinflussung der Produktentwicklung bereits in den frühen Phasen des Konstruktionsprozesses, die sich durch eine interdisziplinäre Optimierung von Werkstoff, Herstellungsverfahren und Gestalt ergibt, wird nicht ge-

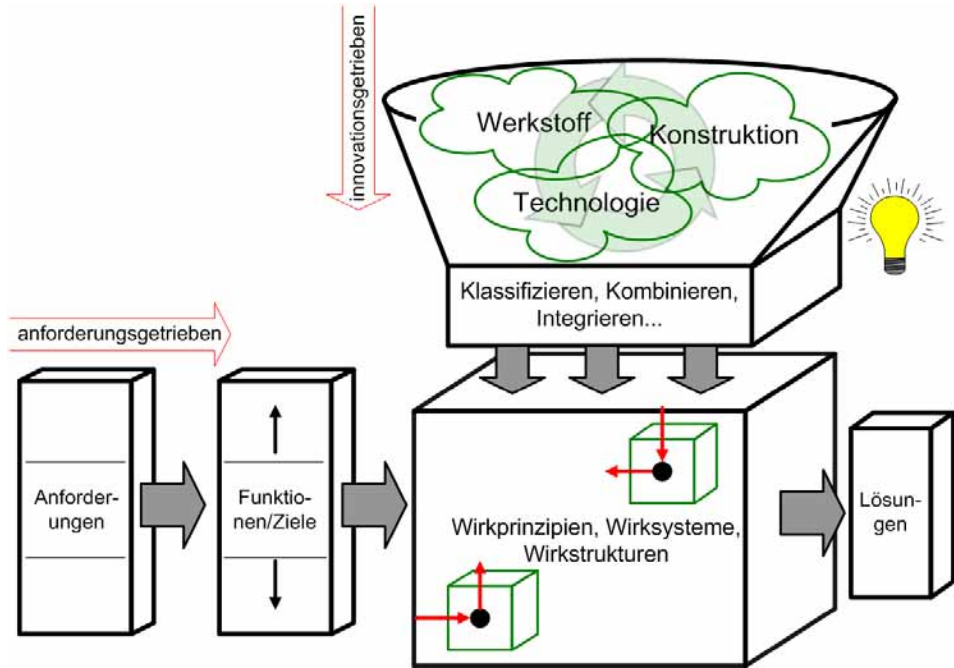
nutzt. Dies hängt mit den äußerst komplexen und in den meisten Fällen auch nicht eindeutig beschreibbaren Zusammenhängen von funktionellen Anforderungen und Werkstoffeigenschaften zusammen, zu einem Stadium der Produktentwicklung, in der der Informationsgehalt der angestrebten Lösung noch unterentwickelt ist.



**Bild 1:** Interdisziplinäres Zusammenspiel von Werkstoff, Konstruktion und Technologie

Bei der Bearbeitung des Projektes wurde von der These ausgegangen, dass die Wahl eines Werkstoffes im herkömmlichen Konstruktionsprozess immer einen Kompromiss darstellt. Spezifische Werkstoffeigenschaften begünstigen die für das Produkt geforderten Eigenschaften, andere Merkmale werden den Anforderungen nicht gerecht. Die hieraus abzuleitende These lautet, dass bei der Gestaltung eines Produktes durch die Kombination von mehreren Werkstoffen eine höhere Chance besteht die geforderten Anforderungen zu erfüllen, als durch die Verwendung eines einzigen Werkstoffs. Der wirtschaftliche Erfolg der Anwendungen zur Erzielung bestimmter Bauteileigenschaften erfordert damit zusätzlich eine funktionsgerechte Verbindung dieser Werkstoffe zu einer Bauteilstruktur. Der wesentliche Punkt dabei ist, dass der Konstrukteur die Aufgabe hat, mit Hilfe der Werkstoff- und Fertigungstechnik Eigenschaften zu konstruieren, denn die Erstellung eines Bauteils bedeutet gleichzeitig die Schaffung der Bauteileigenschaften aus den Komponenten Werkstoffeigenschaft und Herstellungstechnik.

Die Definition von Zielen und Anforderungen an Werkstoffe und die Werkstoffentwicklung erfordert vom Konstrukteur ein Höchstmaß an Kreativität. Es wird erwartet, dass mit noch nicht bekannten Werkstoffen, beziehungsweise von deren Anforderungen zunächst nur eine vage Vorstellung existiert, eine innovative Konstruktion entwickelt wird, die ohne diese Werkstoffe nicht möglich wäre. Es müssen demnach Anforderungen an (neue) Werkstoffe gestellt werden, die dazu führen, dass sich neue Wirkprinzipien erschließen, woraus wiederum neue Gestaltungsregeln resultieren. Die Konstruktion beinhaltet die Festlegung der Bauteilgeometrie und der kinematischer Beziehungen und bildet damit die physikalische Grundlage und stoffliche Umsetzung des Lösungsprinzips



**Bild 2:** Konstruktionsmethodik zur werkstoffgerechten Lösungsfindung

male und Wirkprinzipien von Informationen und Innovationen zum Auffinden geeigneter Lösungen werden dabei zur zentralen Aufgabe des Lösungsfindungsprozesses.

male und Wirkprinzipien von Informationen und Innovationen zum Auffinden geeigneter Lösungen werden dabei zur zentralen Aufgabe des Lösungsfindungsprozesses.

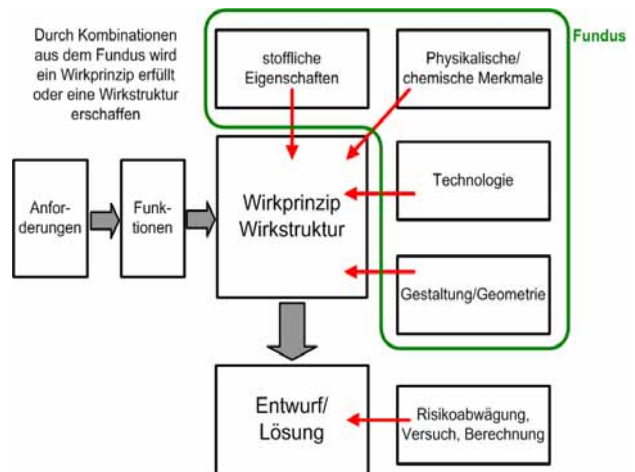
## 2 Konstruktionsmethodik zur werkstoffgerechten Lösungsfindung

Das Problem bei der Entwicklung einer anforderungsgetriebenen Konstruktionsmethodik liegt darin, dass bei der Entwicklung neuer und innovativer Produkte ein starres Vorgehen nahezu unmöglich ist. Es bestehen sehr komplexe Zusammenhänge die aufgrund der ständigen und zum Teil sehr rasant fortschreitenden Entwicklung in den Bereichen Werkstoff und Technologie eine hohe Dynamik aufweisen.

Bei der in **Bild 2** vorgestellten Methodik zur werkstoffgerechten Lösungsfindung im Konstruktionsprozess wird zum einen von den an das Produkt gestellten Anforderungen ausgegangen, zum anderen wird auch eine Suchrichtung vorgeschlagen, die von innovativen Ideen aus den Bereichen Werkstoff, Technologie und Konstruktion ausgeht. Auf diese Weise können Innovationen, d.h. sich aus der Forschung in den verschiedenen Disziplinen ergebende Möglichkeiten dazu führen, dass für bereits bekannte Funktionen neue Wirkprinzipien kreiert werden. Die Klassifizierung, die Kombination, die Integration, die Einteilung in Eigenschaften, Merk

## 3 Entwicklung einer Wirkstruktur

In **Bild 3** ist schematisch dargestellt, wie durch die Kombination von Wissen und Informationen aus unterschiedlichen Bereichen (Werkstoffe, Technologie, Konstruktion) Wirkprinzipien oder Wirkstrukturen erarbeitet werden können, um innovative Lösungen zu entwickeln. Die Entwicklung von Welle-Nabe-Verbindungen wird als Beispiel zur Verdeutlichung dieses Vorgehens soll herangezogen.



**Bild 3:** Entwicklung einer Wirkstruktur

Durch die Kombination von unterschiedlichen Informationen aus verschiedenen Bereichen wird ein neues Wirkprinzip zur Herstellung von Welle-Nabe-Verbindungen entwickelt.

- Funktion: Verbinden
- Eigenschaften von Werkstoffen: Elastizität, Plastizität
- Physikalisches Merkmal: Pressverbindung
- Technologie: Innenhochdruckumformen
- Konstruktion/Gestaltung: Verbindungspartner

Die zu erfüllende Funktion heißt „Verbinden“. Zum Verbinden von Welle und Nabe sind verschiedene physikalische Prinzipien bekannt, u. a. das Verbinden mittels Kraftschluss. Durch eine geschickte Wahl von zwei Werkstoffen und der Berücksichtigung derer stofflichen Eigenschaften, dem Elastizitäts- und Plastizitätsverhalten, in Kombination mit einem Fertigungsverfahren, das ursprünglich zum Umformen von Hohlbauteilen diente wird es möglich, Welle und Nabe kraftschlüssig miteinander zu verbinden. Besondere Berücksichtigung bei diesem Verfahren muss die Gestaltung der Bauteile finden.

Um den Verbindungsprozess erfolgreich durchführen zu können, muss der Wellenwerkstoff eine geringere Fließgrenze als der Nabenwerkstoff aufweisen, damit ein unterschiedliches Rückfederungsverhalten nach Belastungsrücknahme gewährleistet ist. Die konstruktive Gestaltung der Fügepartner muss sorgfältig erfolgen, um den Fertigungsprozess überhaupt möglich zu machen. Zum einen muss die Welle als Hohlwelle ausgeführt sein, um das Fügewerkzeug aufnehmen zu können, zum anderen muss ein Fügespalt zwischen Welle und Nabe vorhanden sein, um ein Aufweiten der Welle durch den Innendruck zu ermöglichen.

Das Beispiel kann dadurch erweitert werden, dass als Wellenwerkstoff weiterhin Stahl verwendet wird, als Nabenwerkstoff hingegen ein Faserverbundwerkstoff ausgewählt wird. Durch die Anwendung des Innenhochdruckfügens werden zwei in ihren stofflichen Eigenschaften völlig unterschiedliche Werkstoffe, die aufgrund dessen oftmals für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden und als inkompatibel bezeichnet werden können, zusammengebracht. Auch hierbei spielt die konstruktive Gestaltung eine große Rolle, da durch die Gestaltung des Faserverbundwerkstoffs (Faserlage) seine Eigenschaften eingestellt werden können. Mit dieser Bauart von Welle-Nabe-Verbindungen werden

dem Maschinenelement weitere Möglichkeiten z.B. als Anwendung im Leichtbaubereich eröffnet. Eine detaillierte Ausführung der interdisziplinären Lösungsfindung am Beispiel der Welle-Faserverbund-Nabe-Verbindung ist in /1/ zu finden.

#### **4 Informationssystem zur werkstoffgerechten Konstruktionsmethodik**

Dem Konstrukteur stehen zur Auswahl von Werkstoffeigenschaften verschiedene Informationssysteme zur Verfügung, wobei eine starke Diskrepanz zwischen den funktionsorientierten Anforderungen und den meist physikalisch/chemischen Eigenschaften der Werkstoffe besteht. Für die Erstellung innovativer Produkte durch lösungsimmanente Werkstoffe ist es demnach wichtig, Werkstoffe und ihre Eigenschaften mit Fertigungstechnologien sowie den Funktionen, die das Produkt erfüllen soll, in Zusammenhang zu bringen.

Bei der Integration und Zusammenarbeit mehrerer Fachbereiche und der damit entstehenden Fülle an Wissen, Daten und Informationen, wird der Lösungsfindungsprozess dynamisch und sehr komplex.

Um die Kombination der Informationen aus den Entwicklungsfeldern Werkstoffe, Technologie und Konstruktion für den Konstrukteur anwendbar und handhabbar zu machen, werden die Möglichkeiten eines Informationssystems benötigt, um Daten, Informationen und Fachwissen bereitzustellen und eine Verknüpfung zu bewirken.

Als sehr modern und für Informationsaufgaben wie die hier vorliegende geeignet, erweist sich die Anwendung von Informationssystemen, da sie – ähnlich wie der Konstrukteur – im Moment des Bedarfs von Information gezielt Recherchen unternehmen und dabei den aktuellen Wissensstand in der jeweiligen Produktentwicklungsphase berücksichtigen können.

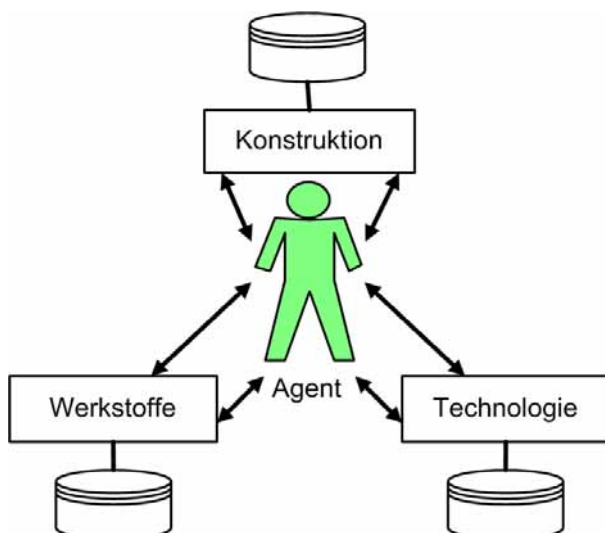
Da es gerade in der frühen Phase der Produktentstehung oftmals schwierig ist konkrete Aussagen zu definieren, erscheint es wenig Ziel führend, wenn in Informationssystemen und Datenbanken ausschließlich nach Schlagworten gesucht wird. Eine Beschaffung, Korrelation und Analyse von verschiedenen Informationen aus verschiedenen Quellen, die zu einem entsprechenden Muster passen, erscheint geeigneter, um eine innovative Produktidee entstehen zu lassen. Informationsagenten stellen Informationsbrücken zwischen Quellen und Nutzern dar. Die Filterung von Informationen erfolgt

über definierte Nutzerinteressen, mit welchen Informationsquellen auf Schlüsselworte oder Eigenschaften hin verglichen werden /2/. Der Einsatz von Informationsagenten eröffnet folgende Anwendungsmöglichkeiten /2/:

- Zugriff auf heterogene/verteilte Informationssysteme
- Auffinden und Filtern relevanter Daten
- Handhaben und Bearbeiten von Metadaten
- Zusammenführen und Darstellen von Informationen

Beim Einsatz solch künstlicher Intelligenzen muss immer beachtet werden, dass die Vielschichtigkeit der menschlichen Handlungen nur bedingt abgebildet werden können, da sie ausschließlich auf voreingestellten Informationen und Erfahrungen des Menschen aufbauen /3/.

In **Bild 4** ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachbereiche Werkstoff, Konstruktion und Technologie im Zusammenhang mit dem Einsatz von Informationsagenten dargestellt. Den einzelnen Fachbereichen stehen jeweils verschiedene Informationssysteme zur Verfügung, in denen Wissen, Daten und Informationen enthalten und gespeichert sind, z.B. Werkstoffdatenbanken. Die Zusammenarbeit der Bereiche und der Wissens- und Informationsaustausch wird durch den Einsatz von Agenten unterstützt, gesteuert und damit vereinfacht.



**Bild 4:** Agenten in der werkstoffgerechten Lösungsfindung

Beim Einsatz eines Agentensystems in der werkstofforientierten Lösungsfindung können Agenten z.B. gezielt Werkstoffdatenbanken durchsuchen, um Werkstoffe mit geforderten Eigenschaften aus-

zuwählen und gleichzeitig, aufgrund angegebener Kriterien, Informationen über geeignete Bearbeitungstechnologien zur Verfügung stellen. Ein Informationssystem zur Kopplung der Daten aus den Entwicklungsfeldern (Werkstoff, Konstruktion, Technologie) mit den Informationen aus den gestellten Anforderungen (Funktionen, Ziele) kann ebenfalls durch den Einsatz von Agenten unterstützt werden, indem Funktionen durch Suchanfragen mit Fertigungstechnologien und Werkstoffen in Zusammenhang gebracht werden. Um hierbei verwertbare Ergebnisse zu erzielen, müssen die angebotenen Informationssysteme so aufgebaut und kategorisiert sein, dass es den Agenten möglich ist Zusammenhänge zu erkennen.

## 5 Zusammenfassung

Das in diesem Projekt erzielte Ergebnis ist eine - rechnergestützte - Vorgehensweise zur Umsetzung von Anforderungen in eine Lösungskonzeption, die bereits einen Optimierungsvorgang zur Wahl der Werkstoffkomponenten und der Herstellungsvorgänge in einer hybriden Bauteilstruktur enthält. Es wird damit ein Beitrag zur Heuristik der Produktentwicklung geliefert, der in künftigen Arbeiten insbesondere in seiner rechnergestützten Vorgehensweise weiter auszuarbeiten ist. Grundsätzlich zielt das Projekt auf eine Leistungssteigerung hybrider Bauteilstrukturen ab, um damit dem Konstrukteur die Gelegenheit zu geben, bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung die Potenziale neuer Werkstoffe und Verbindungstechniken in die Konzeption der konstruktiven Lösung einzubringen.

## 6 Literatur

- /1/ Dietz, P.; Grünendick T.: Interdisziplinäre Lösungsfindung am Beispiel der Welle-Faserverbund-Nabe-Verbindung. 9. Symposium der SAMPE an der TU Clausthal, 2003
- /2/ Müller, D.: Intelligente Unterstützung für ein aufgabenorientiertes Anforderungsmanagement in der Integrierten Produktentwicklung. Dissertation, TU Clausthal, 2006
- /3/ Klusch, M.: Information Agent Technology for the Internet: A Survey, Journal Data and Knowledge Engineering, Spezialausgabe Intelligent Information Integration, Fensel (Ed.), Vol. 36(3), Elsevier Science, 2001