

Werkstoffgerechte Lösungsfindung – funktionale Werkstoffe im Konstruktionsprozess

Guthmann, A.

Immer häufiger wird es nötig, Werkstoffe zu kombinieren und funktionsgerecht einzusetzen. Abhilfe kann durch eine anforderungsgetriebene Methodik geschaffen werden, die die Eigenschaften von Werkstoffen in eine frühe Konstruktionsphase einbindet. Durch eine interdisziplinäre Verknüpfung der Komponenten Werkstoff, Konstruktion und Technologie können neue Lösungsmöglichkeiten gefunden werden.

It is often necessary to combine materials and make use of them in a functional way. Relief can be given by a methodology corresponding to the requirements, integrating the material properties into the early phase of the design process. New possibilities can be found by interconnecting the construction components material, design and technology.

1 Einleitung

Für den Konstrukteur stellt der zu wählende Werkstoff aus Gründen der Erfüllung von konkurrierender oder sich widersprechender Anforderungen moderner und marktgerechter Produkte oft eine Restriktion dar.

Durch eine interdisziplinäre Verknüpfung der Komponenten Werkstoff, Konstruktion (Gestaltung, Modellierung) und Technologie können, ausgehend von den Produkthanforderungen, neue Möglichkeiten, Eigenschaften und Prinzipien gefunden und definiert werden, die dann bereits in der Lösungsfindungsphase in den Konstruktionsprozess eingebunden werden und zu innovativen Produkten führen.

Im Rahmen des DFG-Forschungsvorhabens „Anforderungsgetriebene Konzeption (Methodik) von Baukonstruktionen aus inkompatiblen Werkstoffen“ (Di 289/31-1) wurde eine allgemeine Vorgehensweise für den Konstruktionsprozess entwickelt mit Hilfe derer es möglich ist, die Werkstoffauswahl in einer den Produkthanforderungen entsprechenden Weise in die Konzeptionsphase des Konstruktionsprozesses einzubeziehen.

Es wurden Vorgehensweisen zur Analyse und Strukturierung von Werkstoffen erarbeitet sowie ein Modell dargestellt, das anhand von Werkstoffbeispielen zeigt und dazu dienen kann, die aus der Konstruktionsmethodik bekannten Grundfunktionen (Trennen, Wandeln usw.) auf Werkstoffe abzubilden, so dass ein bestimmter Werkstoff aufgrund seiner funktionellen Eigenschaft direkt zur Erfüllung einer Funktion eingesetzt werden kann.

Bereits nach der Klärung der Aufgabenstellung und der Erarbeitung der Produkthanforderungen und Zielen sollte eine Formulierung von Funktionen unter Einbeziehung von Werkstoffen und deren Eigenschaften durchgeführt werden. Hierdurch wird aus dem Werkstoff ein lösungsimmanenter Funktionsträger, der zur Schaffung innovativer Produkte beitragen kann. Dieses Vorgehen soll auch Anforderungen an Werkstoffe definieren, die dann einen Anstoß für eine weiterführende Werkstoffentwicklung darstellen.

Mit Hilfe der Ergebnisse des Forschungsvorhabens soll ein interdisziplinäres Zusammenspiel aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Disziplinen ermöglicht werden, um damit die Entwicklung innovativer Produkte herbeizuführen.

2 Werkstoffgerechter Konstruktionsprozess

Es wurde ein Ablauf entwickelt, mit dessen Hilfe es möglich ist, Werkstoffe - in einer den Produkthanforderungen entsprechenden Weise - in eine frühe Phase des Konstruktionsprozesses einzubeziehen. Dieses weicht von der bisherigen Betrachtungsweise der Werkstoffe im Konstruktionsprozess ab, indem der Werkstoff als möglicher Funktionsträger oder als Mittel zur Erfüllung einer Produkthanforderung bzw. eines Zieles integriert wird. Hierbei werden Funktionen und Ziele des Produktes mit den Eigenschaften und Funktionen von Werkstoffen in Zusammenhang gebracht.

Abbildung 1 zeigt den Ablauf des werkstoffgerechten Konstruktionsprozesses.

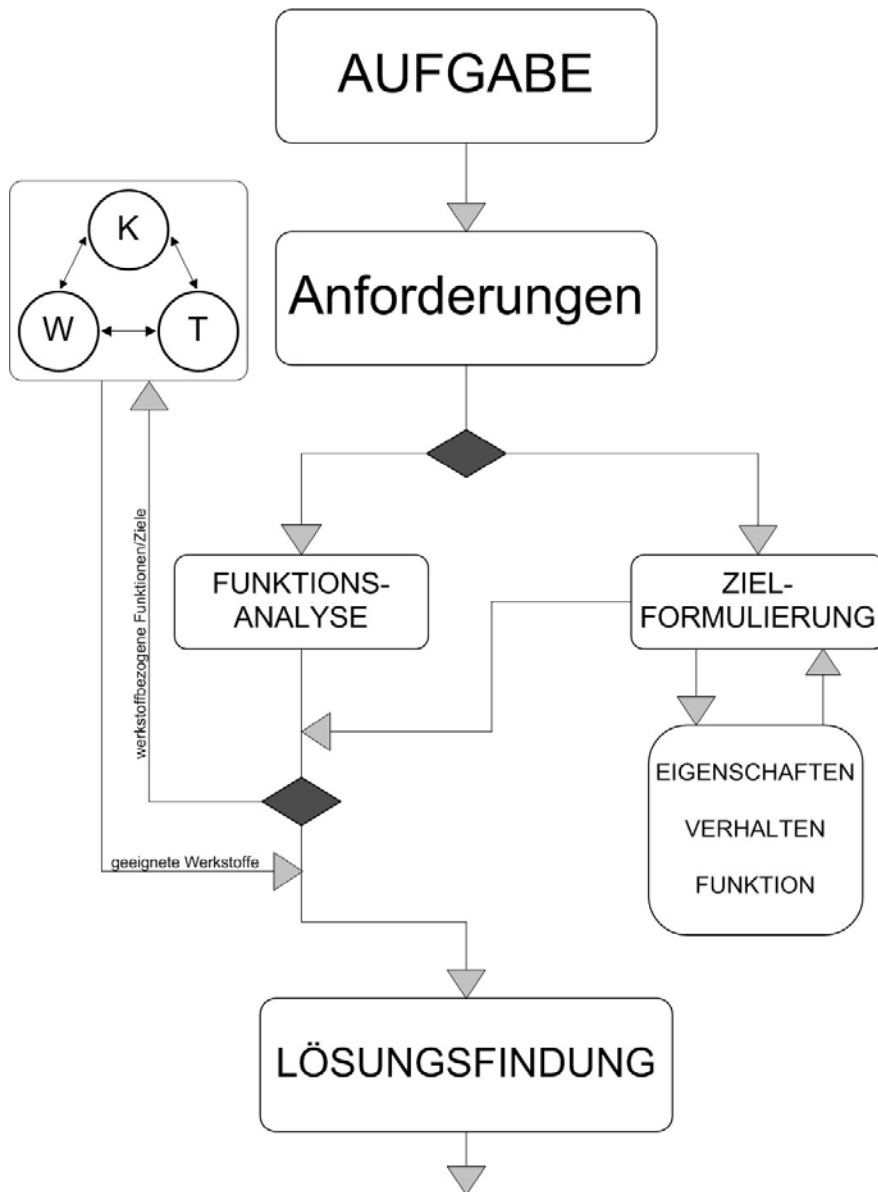


Abbildung 1: Ablauf des werkstoffgerechten Konstruktionsprozesses

Zu Beginn des Konstruktionsprozesses erfolgt zunächst eine Klärung der Aufgabenstellung. Die an ein Produkt gestellten Anforderungen müssen ermittelt, analysiert und zueinander in Beziehung gesetzt werden. Durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachbereiche Werkstoffe, Konstruktion und Technologie, die explizit gewünscht ist, wird das Spektrum der Anforderungen sehr komplex. Aus diesem Grund ist eine präzise und exakte Problem- und Aufgabenformulierung erforderlich. Die Qualität der Anforderungen ist so lange zu überprüfen, d.h. die Anforderungen sind so lange zu überarbeiten, bis alle Qualitätskriterien erfüllt sind. Als Ergebnis erhält man eine Anforderungsliste, die die Ziele und Bedingungen der gestellten Aufgabe in Form von Forderungen bzw. Wünschen darstellt. Im nächsten Schritt erfolgt eine Funktionsanalyse und die Erstellung einer Funktionsstruktur, die Ge-

samtfunktion wird in Teilfunktionen geringerer Komplexität aufgespalten. Parallel dazu kann eine Zielformulierung durchgeführt werden, um die Abstraktionsebene zu erhöhen und den Detaillierungsgrad der Anforderungen zu senken. Zielvorstellungen werden aus den an das Produkt gestellten Anforderungen definiert, die qualitativ (textuell) oder quantitativ (messbare Parameter) festgelegt sind /1/.

Eine mögliche Methode zur Formulierung von Zielen ist die Methode Progressive Abstraktion, welche zur Gruppe der systematischen Problemspezifizierung gezählt wird. Die Progressive Abstraktion verfolgt im Wesentlichen zwei Ziele:

- Herausarbeiten der Beziehungen zwischen einem gegebenen Problem und dem Zielsystem des Problemlösenden
- Aufzeigen jener Maßnahmenebene, auf der Lösungen die wirkungsvollsten Beiträge zur Zielerreichung leisten.

Vorgehensweise: In der einfachsten Form sieht die Progressive Abstraktion vor, auf ein gegebenes Problem die Fragestellung „Worauf kommt es eigentlich an?“ wiederholt anzuwenden und sich jedes Mal um Antworten grundsätzlicher Richtigkeit zu bemühen. Aus diesen Antworten wird das Problem in der jeweils nächst höheren Abstraktionsstufe formuliert. Der Prozess wird weitergeführt bis man zu Lösungsansätzen vorgedrungen ist, die den Gegebenheiten des Problems am besten entsprechen. Wird der Weg der Zielformulierung beschritten ist es denkbar, dass das zu entwickelnde Produkt, bzw. die Elemente/Komponenten aus denen ein Produkt besteht, durch seine Eigenschaften, sein Verhalten und seine Funktion beschrieben wird. Die gestellten Anforderungen können durch die Eigen-

schaften, Funktionen und das entsprechende Verhalten erfüllt werden (**Abbildung 2**).

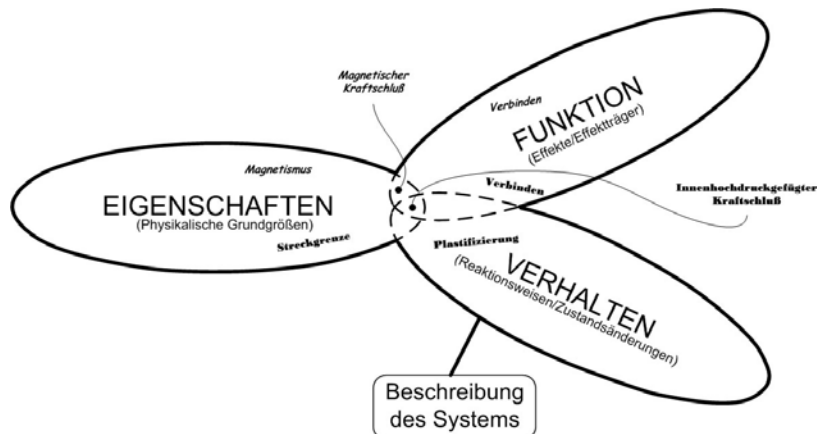


Abbildung 2: Eigenschaften, Funktion und Verhalten eines Produktes

Es ist möglich, die entwickelte Beschreibung eines Produktes auf Werkstoffe abzubilden, indem gezielt nach Eigenschaften, Funktionen und Verhaltensmerkmalen von Werkstoffen gesucht wird, die zur Erfüllung der an das System gestellten Anforderungen, entweder alleine oder in Kombination, genutzt werden können.

Der Weg der Funktionsanalyse ermöglicht ebenfalls eine Integration der Werkstoffe in dieses frühe Stadium des Konstruktionsprozesses. Ein Herunterbrechen der Gesamtfunktion des zu entwickelnden Produktes führt zu einer Anzahl von Grundfunktionen die zur Lösung der Aufgabe erfüllt werden müssen. Die Abstraktionsebene wird bei diesem Vorgehen, im Gegensatz zur Zielformulierung, wesentlich niedriger gehalten. Hierbei ist es durch ein systematisches Analysieren von Werkstoffen und ihren Eigenschaften möglich, aktive Werkstoffe zu finden, die bedingt durch ihre Eigenschaften zum Funktionsträger werden.

3 Werkstoffe

Um funktionale Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen zu erkennen und einzusetzen ist eine Werkstoff- bzw. Eigenschaftsanalyse notwendig, die den Zusammenhang zwischen den gewünschten bzw. geforderten Funktionen und den Eigenschaften bzw. Möglichkeiten der Werkstoffe verdeutlicht.

3.1 Lösungsimmanente Werkstoffe

Für eine Innovation im Konstruktionsprozess ist es von Interesse, systematisch aktive Werkstoffe im

Konstruktionsprozess zu berücksichtigen, deren Eigenschaften eine Konstruktion erst bedingen und die nicht nur wie bisher als stofflicher Träger einer konstruktiven Funktion gesehen werden.

Als lösungsimmanente (Funktions-)Werkstoffe, die durch ihre Eigenschaften eine Funktion direkt erfüllen sind beispielsweise zu nennen:

Piezowerkstoffe: Ermöglichen die Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie und umgekehrt. Sie reagieren auf das Anlegen einer Spannung mit einer Längenänderung bzw. es wird durch das Ausüben eines Druckes ein elektrisches Signal erzeugt. Anwendungsbeispiel: Akto-

ren zur Schwingungsdämpfung

Magnetostruktive Werkstoffe: Verändern unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfeldes ihre mechanischen Eigenschaften. Anwendungsbeispiel: Motoren, hydraulische Aktoren

Formgedächtnis Werkstoffe: Speichern ihre ursprüngliche Form. Verformte Teile nehmen z.B. durch Erwärmung auf eine bestimmte Temperatur wieder ihre Ursprungsform an. Anwendungsbeispiel: Gefäßprothesen in der Medizintechnik, Pumpen

Elektorrheologische Werkstoffe: Fluide, verändern beim Anlegen eines elektrischen Feldes ihre Viskosität. Anwendungsbeispiel: regulierbare Stoßdämpfer

Die Beispiele der lösungsimmanenten (Funktions-)Werkstoffe machen deutlich, in welchem Maße eine Konstruktion durch Werkstoffe beeinflusst bzw. sogar erst ermöglicht wird.

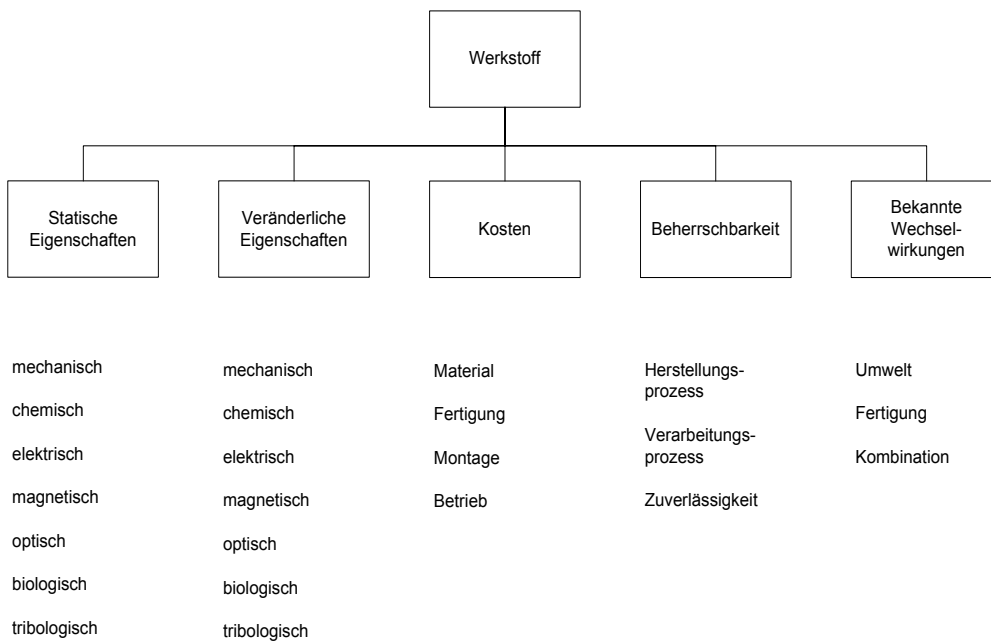
Durch die Betrachtung des Werkstoffes als aktiven Funktionsträger tritt ein hohes Innovationspotenzial zu Tage, nicht nur im Bereich der zu entwickelnden Produkte, sondern auch im Bereich Fertigungstechnologie und Werkstoffe.

3.2 Werkstoffanalyse

Die Verwendung bzw. das Erkennen von funktionalen Werkstoffen setzt zuallererst eine Analyse des Werkstoffes und seiner Eigenschaften voraus. Bisher reichten oftmals Kenntnisse über Festigkeiten, Gewicht und Kosten aus, um eine Konstruktion, ein

Produkt erstellen oder optimieren zu können. Für werkstoffgerechte Lösungen und Innovationen ist jedoch eine weitergehende Werkstoffanalyse erforderlich. Diese dient dazu, nicht nur offensichtliche Eigenschaften, die zur Erfüllung einer Funktion oder Anforderung geeignet sind, sondern auch versteckte, nicht auf den ersten Blick erkennbare, zur Funktionserfüllung geeignete Eigenschaften und Merkmale des Werkstoffs zu erkennen.

Abbildung 3 zeigt eine funktionale Klassifizierung zur Beschreibung von Werkstoffen.



teilung dieser Kategorien in die darunter aufgeführten Gesichtspunkte. Diese sind wiederum in Bereiche eingeteilt, die soweit es möglich ist, den Grundfunktionen wie Wandeln, Trennen, Übertragen usw. entsprechen. Durch eine Nutzung der Grundfunktionen kann das Suchfeld zunächst erweitert werden. In einem hohen Abstraktionsgrad liegt der Vorteil, dass man nicht an eine spezielle Funktion gebunden ist. Schließlich jedoch muss das Suchfeld wieder eingeschränkt werden, um einen anspruchsvollen Lösungsansatz für das technische Problem mit realisierbarem Aufwand zu finden.

Es entsteht ein System, welches es dem Konstrukteur ermöglicht, für die zu erfüllenden Grundfunktionen bzw. die formulierten Ziele des zu entwickelnden Systems methodisch Werkstoffe mit geeigneten Eigenschaften auszuwählen (**Abbildung 4**).

Abbildung 3: Klassifizierung der Werkstoffeigenschaften /2/

Eine Werkstoffanalyse setzt ein hohes Maß an interdisziplinärer Zusammenarbeit der Fachbereiche Konstruktion, Technologie und Werkstoffe voraus. Problematisch für den Konstrukteur ist insbesondere die Kenntnis der komplexen Werkstoffeigenschaften sowie deren Verfügbarkeit. Um dem Konstrukteur das Wissen bereitzustellen und Produktlösungen planmäßig und nicht zufällig generieren zu können, empfiehlt sich eine Konzeption von Katalogen, die die Zielbestimmung und Lösungsfindung unterstützen. In diesen Katalogen werden die Werkstoffeigenschaften beispielsweise nach Grundfunktionen geordnet. Ausgehend von einer technisch zu realisierenden Funktion beginnt die Lösungssuche bei der entsprechenden Grundfunktion und führt zur relevanten Struktur.

Dafür werden die Werkstoffe zunächst nach statischen Eigenschaften, veränderlichen Eigenschaften etc. kategorisiert. Anschließend erfolgt eine Ein-

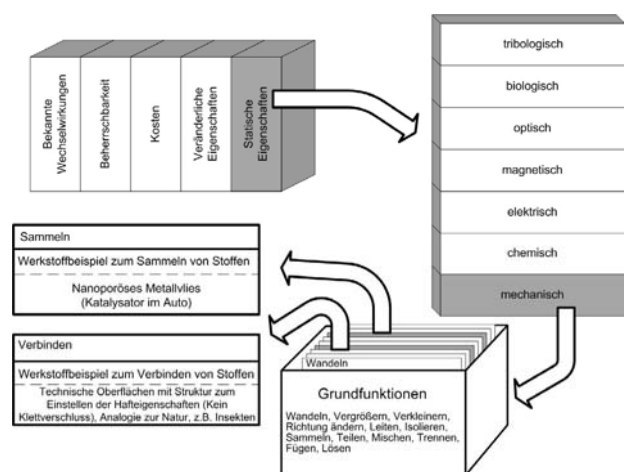


Abbildung 4: System für werkstoffbezogene Grundfunktionen

4 Prinzipverstärkende Technologie

Eine Integration der Fertigungstechnologie in den Konstruktions- bzw. Lösungsfindungsprozess ist notwendig, um die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu verstärken und auszuweiten. Diese Integration kann dazu führen, dass bestehende Prinzipien verstärkt werden. Weiterhin ist es möglich, dass durch den Einsatz einer geeigneten Technologie eine Werkstoffeigenschaft zur Funktionserfüllung erst bedingt wird.

Am Beispiel des Rapid Prototyping bzw. Rapid Tooling wird deutlich, wie die Integration der Fertigungs- und Herstellungstechnologien in den Lösungsfindungsprozess dazu beiträgt, Werkstoffe gezielt dahingehend zu verändern, dass sie als Funktionsträger verwendet werden können. Formen für die Herstellung von Faserverbund-Bauteilen die mit Hilfe des Rapid Toolings gefertigt werden weisen eine herstellungsbedingte Porosität auf (durch die Korngröße des verwendeten Pulvers). Aufgrund dieser Porosität kann die Luft beim Pressen der Bauteile durch die Formen hindurch entweichen und muss nicht abgesaugt werden.

Ein möglicher Ansatz durch die Kombination von Werkstoffen und Fertigungstechnologien einen neuen Lösungsansatz zu finden ist, die bekannten Grundfunktionen zunächst in Verfahren die zur Erfüllung der Funktion dienen zu unterteilen (z.B. Trennen von Stoffen: Filtrieren, Zentrifugieren, Sieben, Extrahieren usw.). Die Verfahren werden jeweils mit einer „Tabelle“ belegt, in welcher verschiedene Werkstoffe und Fertigungstechnologien aufgeführt sind. Durch methodisches Abarbeiten der „Tabelle“ werden Kombinationen aus Werkstoff und Fertigungsverfahren gesucht und gefunden, welche dazu beitragen die jeweiligen Verfahren zur Erfüllung der Grundfunktion zu realisieren

Beispielsweise wird es durch das Verfahren des Rapid Prototyping möglich, aus Metall- oder Kunststoffpulver Bauteile mit variabler Porosität herzustellen, welche zur Filtration verwendet werden können, ohne dass eine weitere Bearbeitung notwendig wird. Das Metallpulver allein betrachtet bringt keinen bedeutenden Fortschritt in der Lösungssuche, erst durch eine geeignete Technologie kann eine innovative Lösung entwickelt werden.

Es ist notwendig, dass den Konstrukteuren das Wissen über Werkstoffe und Fertigungstechnologien bereits in einer frühen Phase des Konstruktionsprozesses bereitgestellt wird, um es nachhaltig in die Produktentstehung einfließen lassen zu können.

Die Informationen über Werkstoffe, Technologien usw. sollten in Datenbanken hinterlegt und mit Abfrage- und Auswahlmöglichkeiten dem Konstrukteur handhabbar gemacht werden.

Weitere Beispiele, wie durch geeignete Fertigungstechnologien die Eigenschaften eines Werkstoffes verändert werden können oder ein Einsatz bedingt wird sind beispielsweise:

Kugelstrahlen: Druckeigenspannungen im Werkstück → Dauerfestigkeit wird steigern

Wärmebehandlungen: Erhöhung der Festigkeitskennwerte

Innenhochdruckumformen/-fügen: Eigenschaftsänderung durch Plastifizieren

Oberflächenbeschichtung: Eigenschaften der Oberflächen werden verbessert z.B. Verschleißschutz.

5 Lösungsintegrierende Gestaltung

Um einen ganzheitlichen Zusammenhang zu schaffen, muss auch die Gestaltung in die Lösungsfindung integriert werden, da in vielen Bereichen für die Anwendung einer Technologie eine dementsprechende Gestaltung der herzustellenden Bauteile notwendig ist.

Innovative, lösungsimmanente Werkstoffe führen auch in der Gestaltung der Produkte zu erhöhten Anforderungen, da herkömmliche Gestaltungsregeln das Potenzial der Werkstoffeigenschaften in der Regel nicht oder nur unzureichend ausnutzen. In bisherigen Konstruktionen wird der Werkstoff oft solange iterativ der Konstruktion angepasst und dimensioniert, bis die Anforderungen an das Produkt erfüllt werden. Innovative Werkstoffe stellen jedoch Anforderungen an die Gestaltung, die ihre aktive Funktion erst bedingen, so dass Werkstoffanalyse und Gestaltung in enger Wechselwirkung zueinander stehen. Der Konstrukteur muss diese teils widersprüchlichen Anforderungen erkennen und umsetzen.

Das bereits genannte Verfahren des Rapid Prototyping stellt auch zur Verdeutlichung der notwendigen Interdisziplinärität von allen drei Fachbereichen (Konstruktion, Werkstoff und Technologie) ein geeignetes Beispiel dar. Um mit Hilfe des Rapid Prototyping ein innovatives und erfolgreiches Produkt zu entwickeln, muss bereits in der Konstruktion auf eine Rapid Prototyping-gerechte Gestaltung des Produktes geachtet werden, da ansonsten Probleme bei der Herstellung entstehen können. Details

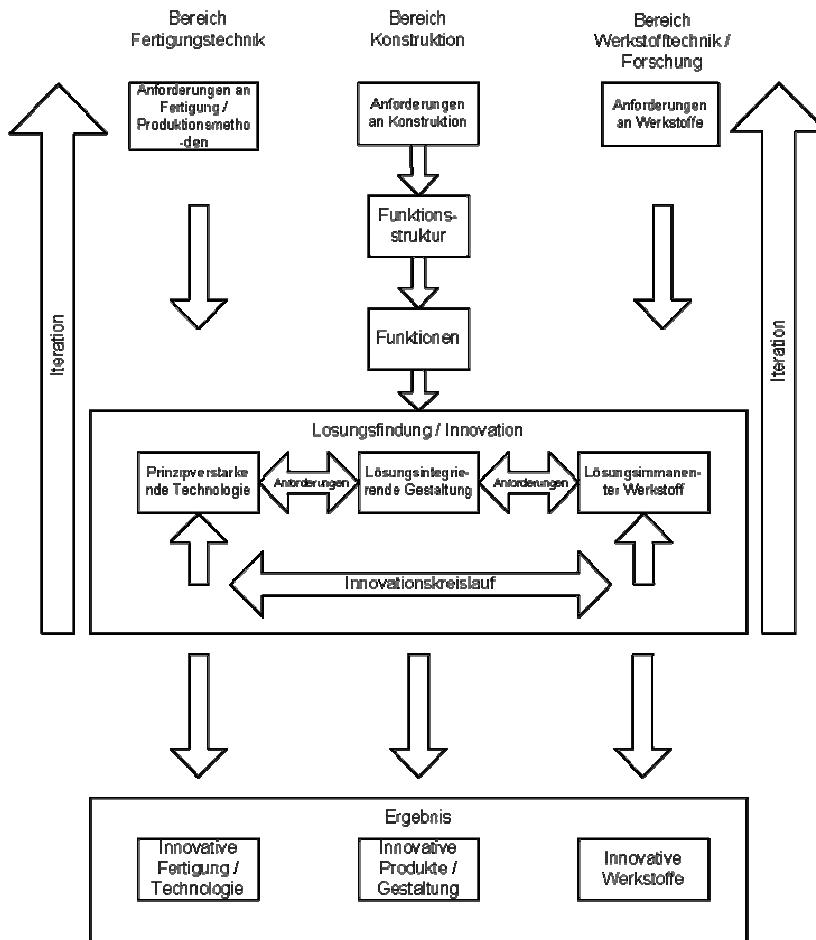


Abbildung 5: Innovationsprozess durch lösungsimmanente Werkstoffe /2/

zur Rapid Prototyping-gerechten Gestaltung eines Produktes sind u. a. /3/ zu entnehmen.

6 Innovationsprozess

Durch die Berücksichtigung aller Disziplinen und durch die Anwendung lösungsimmanenter Werkstoffe wird es möglich, einen Innovationskreislauf zu schaffen, aus dem neue, innovative und den heutigen Marktanforderungen entsprechende Produkte entstehen. Innovative Produkte entstehen nicht zwangsläufig aus neuen Technologien, Werkstoffen oder Erkenntnissen. Erst die Kombination und Integration aller beteiligten Disziplinen und ihrer Erkenntnisse führt zu verwertbaren Neuerungen. Es ist dabei nicht ausreichend, dass den jeweiligen Bereichen fachliche Informationen zur Verfügung gestellt werden. Vielmehr ist es erforderlich, dass gezielte Anforderungen ausgetauscht und gemeinsam erarbeitet und die Gestaltung, Werkstoffwissenschaften und Fertigung als Einheit, das heißt ganzheitlich betrachtet werden. Die Suche

nach lösungsimmanenten Werkstoffen führt idealer Weise zu einem sich selbst verstärkenden Kreislauf sich gegenseitig bedingender Innovationen und Inventionen (**Abbildung 5**).

7 Zusammenfassung

Es wurde eine Vorgehensweise vorgestellt, die es bereits in der Konzeptionsphase des Konstruktionsprozesses ermöglicht, den Werkstoff mit in die Lösungsfindung einzubeziehen. Vorgehensweisen zur Analyse und Strukturierung von lösungsimmanenten Werkstoffen wurden entwickelt, sowie ein Modell dargestellt, welches dazu dienen kann Grundfunktionen auf Werkstoffe abzubilden. Auch die Fachbereiche Technologie und Gestaltung wurden näher betrachtet, da die Entwicklung neuer und innovativer Produkte nicht allein durch die Untersuchung und Einbeziehung von Werkstoffen in den Konstruktionsprozess durchgeführt werden kann.

Das interdisziplinäre Zusammenspiel führt zu einer Erhöhung des Innovationspotenzials der Produkte zu einem Innovationskreislauf.

8 Literatur

- /1/ Kruse, P.: Anforderungen in der interdisziplinären Systementwicklung: Erfassung, Aufbereitung, Bereitstellung. Dissertation, TU Clausthal, 1995
- /2/ Korte, T.: Funktionale Werkstoffe im Konstruktionsprozess. Unveröffentlichte Studienarbeit, IMW, TU Clausthal, 2003
- /3/ Klemp, E.: Unterstützung des Konstrukteurs bei der Gestaltung von Spritzgussbauteilen hergestellt im Rapid Prototyping und Rapid Tooling Verfahren. Dissertation, TU Clausthal, 2002