

## **VORGEHENSUNTERSCHIEDE VON KONSTRUKTEUREN BEIM BERECHNEN UND GESTALTEN**

*Wolfgang Steger, Simone Riemer*

### **Kurzfassung**

Der Beitrag stellt Ergebnisse dar, die aus der Beobachtung von Maschinenbaukonstruktoren mit unterschiedlicher Berufserfahrung gewonnen wurden. Im besonderen interessiert, inwieweit sich Vorgehensweisen identifizieren lassen, die zu guten Konstruktionsergebnissen führen bzw. welche typischen Schwierigkeiten solche Ergebnisse verhindern. Für die studentische Ausbildung können aus den Untersuchungen Vorschläge abgeleitet werden, die die Förderung effektiver Konstruktionsweisen zum Ziel haben.

### **1 Untersuchung zum Berechnen und Gestalten - Einordnung und Überblick**

Als DFG-Projekt wird das Thema „Denkpsychologische Grundlagen der Wechselwirkung von Berechnen und Gestalten“ gemeinsam von Maschinenbauern und Psychologen bearbeitet. Das Vorhaben konzentriert sich auf den konstruktiven Entwurf, da gerade diese Konstruktionsphase hohe Anforderungen an den Bearbeiter stellt. Neben den häufigen Wechseln zwischen unterschiedlichen Tätigkeiten, wie zum Beispiel Berechnen und Gestalten, ist das Entwerfen auch durch zunächst nur vages, grobes und unvollständiges Wissen über die endgültige Lösung und auch den zu diesem Ziel führenden Lösungsweg gekennzeichnet. Diese Tatsache fordert vom Konstrukteur strategisch vorausschauendes Denken zum Lösungsweg wie auch die ständige kritische Bewertung des eigenen Vorgehens.

Mit der Zielstellung, Interdependenzen zwischen den Tätigkeiten Berechnen und Gestalten zu ergründen, befaßt sich das Vorhaben mit Fragen

- der Auswahl und Anwendung von Berechnungsverfahren in Verbindung mit Gestaltungsprozessen,
- der Verkettung von Berechnungsverfahren und Repräsentationsformen für Gestalt- und Berechnungsmodelle
- und der Beeinflussung von Effizienz und Lösungsgüte durch unterschiedliche Vorgehensweisen im Entwurfsprozeß,

wobei an dieser Stelle die letzte der drei Fragen im Mittelpunkt steht. Zur Beantwortung werden von Konstruktionsanfängern und erfahrenen Konstrukteuren je zwei Aufgaben bearbeitet. Diese besitzen unterschiedliche Schwierigkeit und erfordern unterschiedliche Gestaltungs- und Berechnungsanteile. Konkret sind von der Versuchspersonen eine schaltbare Lamellenkupplung (Variantenkonstruktion) und ein Greifer (Anpassungskonstruktion) anforderungsgerecht zu entwerfen. Die vorgegebenen Anforderungen stehen innerhalb jeder Aufgabe in starkem Gegensatz, so daß nur im Ausnahmefall eine Lösung

ohne Iterationsschritte gelingt. Beispielsweise muß im Fall der Kupplung ein Kompromiß zwischen geringer Erwärmung beim Schalten und geringer Abmessung gesucht werden. Die Arbeit der Versuchspersonen wird mittels Video und eines speziellen log-File-Recordings protokolliert und zusammen mit den erstellten Aufzeichnungen und Skizzen ausgewertet. Ausführlicher ist die Untersuchungsmethodik in [1] dargestellt.

## 2 Lösungsgüte der beobachteten Konstrukteure

Die bisher vorliegende Stichprobengröße (N=20) läßt noch keine statistisch gesicherten Aussagen zu. Daher sind die dargestellten ersten Ergebnisse als Einzelfallanalysen bzw. bestenfalls als Tendaussagen zu bewerten.

Die Bewertung der Lösungsgüte für beide Aufgaben erfolgt nach den Kriterien:

- Erfüllung aller in der Aufgabenstellung definierten Anforderungen,
- Vermeidung von Funktionsfehlern,
- Sparsamer Materialeinsatz, geringer Bauraum,
- Angemessenheit der Proportionen der Bauteile,
- Vollständigkeit der Lösungsdokumentation.

Aufgabenabhängig werden die Kriterien aus einer Anzahl von Einzelmerkmalen ermittelt. Weitergehende Auswertungen zur Lösungsgüte sind [2] zu entnehmen.

Es konnten im Fall der (einfacheren) Kupplungsaufgabe die erwarteten Differenzen zwischen beiden Erfahrungsgruppen bezüglich Lösungsgüte und Lösungszeit beobachtet werden (s. Bild 1).

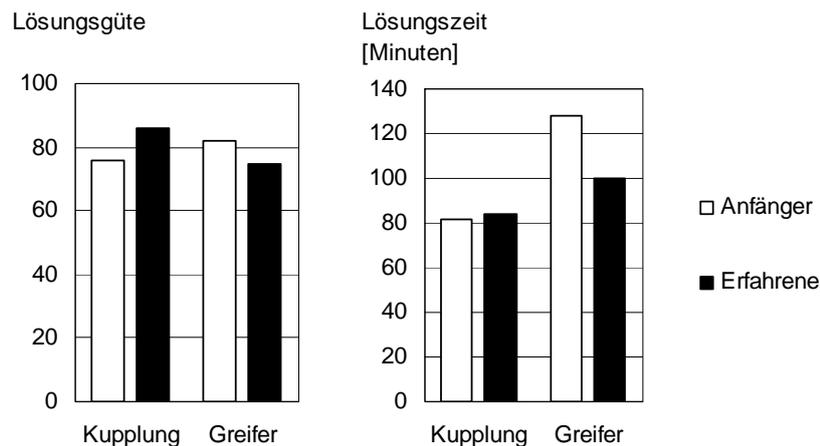


Bild 1. Mittelwerte für Lösungsgüte und Lösungszeit untersuchter Gruppen und Aufgaben

Anders im Fall der (schwierigeren) Greiferaufgabe. Hier erreichten Anfänger etwas bessere Lösungen, benötigten jedoch 30% mehr Zeit zur Aufgabebearbeitung. Es konnte beobachtet werden, daß berufserfahrene Konstrukteure offenbar nach einem Optimum

zwischen Ergebnis und Aufwand streben. Dies bestätigen auch Untersuchungen anderer Autoren ([3]).

### 3 Vorgehensunterschiede

Wie erwartet, zeichnen sich Vorgehensunterschiede der Konstrukteure in der Aufgabebearbeitung in Abhängigkeit vom Expertisegrad ab. Erfahrene Konstrukteure gehen zielstrebig bei der Aufgabebearbeitung vor. Sie verschaffen sich zunächst einen allgemeinen Überblick über den Problemraum und vergleichen verschiedene Lösungsvarianten miteinander, bevor sie eine auswählen und ausgestalten. Der Lösungsprozeß der Erfahrenen ist bei beiden Aufgaben durch weniger Iterationen gekennzeichnet.

Das Vorgehen der Anfänger kann als „spontanere“ Bearbeitung beschrieben werden. Anfänger legen die für die Berechnungen relevanten Kenngrößen fest und führen damit die notwendigen Berechnungen durch. Bei auftretenden Schwierigkeiten während der Bearbeitung von Teilproblemen unterbrechen sie ihr Vorgehen und gehen im Lösungsprozeß anschließend wieder zurück.

Es konnte beobachtet werden, daß eine typische Problemsituation für Anfänger entsteht, wenn die notwendigen Berechnungen nicht lückenlos durch gegebene oder geforderte Größen verknüpfbar sind. Mit anderen Worten, ein Einstieg in die Lösung nur durch Schätzen bzw. geschickte Annahmen möglich ist. Die Testaufgaben wurden bewußt so formuliert, um keinen bestimmten Lösungsweg vorzugeben. Anfänger „grübeln“ an dieser Stelle längere Zeit und suchen eventuelle vorherige Fehler. Wenn sie sich schließlich für die Annahme bestimmter Größen entscheiden, sind diese mitunter ungünstig gewählt. Erfahrene Konstrukteure haben mit diesem Einstieg in Iterationsprozesse weniger Probleme. Als Konsequenz sollte in der Lehre versucht werden, nicht nur geschlossen oder sequentiell lösbare Aufgaben anzubieten.

Weiterhin zeigt sich, daß Anfänger längere Zeit benötigen, um einen einmal eingeschlagenen fehlerhaften bzw. nicht zum Ziel führenden Lösungsweg als solchen zu erkennen und andere Wege zu suchen. Sie müssen in diesem Fall weiter im Lösungsprozeß zurückgehen bzw. benötigen längere Zeit.

Hinsichtlich der Verwendung von Skizzen wurde zunächst festgestellt, daß diese bei beiden Aufgaben von der Gruppe der Anfänger häufiger eingesetzt werden, offenbar um mentale Vorstellungen bei Gestaltungs- und Anordnungsproblemen zu unterstützen. Insgesamt wird bei der durch mehr Gestaltungsaufwand ausgezeichneten Aufgabe 2 (Greifer) das Hilfsmittel Skizze eher als bei Aufgabe 1 (Kupplung) eingesetzt. Im Gegensatz dazu steht die häufigere Verwendung von tabellenähnlichen, überblicksfördernden Notizen bei Aufgabe 1, die als Variantenkonstruktion eine Konfigurationsaufgabe darstellt.

Interessant ist, besonders zur Identifikation vorteilhafter Lösungswege, die Unterteilung der Versuchspersonen nach erreichter Lösungsgüte. Es wird also die ursprüngliche Einteilung Erfahrene/Anfänger nachfolgend aufgegeben, zugunsten zweier Gruppen mit hoher bzw. niedriger Lösungsgüte.

Insbesondere kann die Verwendung von Unterstützungsmitteln (Skizzen bzw. Tabellen) differenzierter gesehen werden. Bei Aufgabe 1 wurden gute Lösungen häufig durch Aufstellung und Auswertung von Tabellen erreicht. Deutlicher ist die Beobachtung bei Aufgabe 2, bei der alle Versuchspersonen der Gruppe mit höherer Lösungsgüte Skizzen zur leichteren Bearbeitung der Gestaltungsanteile verwendeten. Es konnte damit beobachtet werden, daß Versuchspersonen mit höherer Lösungsgüte sich eher für das jeweils geeignete Mittel

zur Verdeutlichung von Zusammenhängen entscheiden, als solche mit geringerer Lösungsgüte. Durch diese Tatsache kann beispielsweise die vielerorts angestrebte Vermittlung vielfältiger methodischer Hilfen in der Ausbildung untermauert werden. Die Kenntnis und Wahl des jeweils besten Hilfsmittels ist ein Merkmal vorteilhaften Vorgehens.

Differenzierungen gegenüber der oben angeführten Beobachtung, daß Anfänger mehr Teilprozesse wiederholen sind gleichfalls nötig. Die Unterteilung der Versuchspersonen in solche, die bessere bzw. schlechtere Lösungen erreichten, zeigt: Bei Aufgabe 1 ist die Anzahl der wiederholten Prozesse offenbar ein Indiz für einen ungünstigen Lösungsweg, das heißt für ergebnislos abgebrochene und später nochmals bearbeitete Arbeitsschritte. Zur Lösungsoptimierung wird offensichtlich die besser geeignete Tabelle verwendet. Anders bei Aufgabe 2, wo die Anzahl wiederholter Prozesse bei guten Lösungen etwas höher ist, als bei Lösungen geringerer Güte. Hier wird die Prozeßwiederholung offensichtlich im Sinn einer Iteration zur Lösungsverbesserung eingesetzt. Die Unterschiede resultieren offenbar aus dem verschiedenartigen Aufgabentyp.

Abschließend sei betont, daß die im vorliegende Beitrag dargestellten Ergebnisse durch ausreichende Stichprobengrößen verifiziert und ergänzt werden. Weitere Aussagen werden aus der detaillierteren Analyse der Arbeitsabläufe möglich sein.

#### 4 Literaturverzeichnis

- [1] Klose, J., Steger, W., Hacker, W. & Riemer, S. „Beziehungen zwischen Berechnen und Gestalten - Ergebnisse einer psychologischen Untersuchung“  
In Brökel, Schlottmann, Scharr (Hrsg.): 2. Workshop Konstruktionstechnik Rostock. Aachen, Shaker, 1998.
- [2] Steger, W., Riemer, S.; Klose, J., Hacker, W. „Relations between calculation and embodiment Design“  
In Lindemann, Birkhofer, Meerkamm, Vajna (eds.): Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design. München, 1999.
- [3] Günther, J. „Individual influences on the design process – time-oriented vs. quality-oriented design“  
In Lindemann, Birkhofer, Meerkamm, Vajna (eds.): Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design. München, 1999.

Dr.-Ing. Wolfgang Steger  
Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion  
Lehrstuhl Konstruktionstechnik/CAD

Dipl.-Psych. Simone Riemer  
Institut für allgemeine Psychologie und Methoden der Psychologie  
Lehrstuhl für allgemeine Psychologie

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Postfach  
Tel: 0351 463 3291  
Fax: 0351 463 7050  
Internet: [wwwkmc.mw.tu-dresden.de/forschun/psycho/main.htm](http://wwwkmc.mw.tu-dresden.de/forschun/psycho/main.htm)  
mail: [steger@mkc.mw.tu-dresden.de](mailto:steger@mkc.mw.tu-dresden.de)