

Generische kognitive Unterstützung des Entwickelns technischer Produkte

Gibt es einen Zusatznutzen beim Bewerten und Auswählen von Lösungskonzepten?¹

Winfried Hacker*, Constance Winkelmann*, Wolfgang Steger** & Ralph Stelzer**

* TU Dresden, Institut für Psychologie I

** Professur für Konstruktionstechnik/CAD

ZUSAMMENFASSUNG

Untersucht wird, wie das Entwurfsproblemlösen in den leistungsbestimmenden frühen Phasen des Entwickelns technischer Produkte mit fachübergreifenden (generischen) kognitiven Hilfen unterstützt werden kann. Das wird geprüft für die wenig untersuchten Arbeitsschritte der Anforderungsermittlung, des Bewertens und des Auswählens von Lösungskonzepten sowie das Gesamtverfahren. Wir nutzen einen quasiexperimentellen Plan mit zwei Versuchs- und einer Kontrollgruppe aus Studierenden der Ingenieurwissenschaften. Für eine zu entwerfende Vorrichtung war zunächst eine Anforderungsliste zu erstellen. Sodann war aus drei vorgegebenen Lösungen die zu geeignetste mit der Angabe von Gründen auszuwählen. Dazu wurden den Mitgliedern der Versuchsgruppen zusätzlich zu fachspezifischen Hilfsmitteln kurze schriftliche Darstellungen fachübergreifender kognitiver Vorgehensweisen angeboten. Ihre Nutzung war freigestellt. Die Kontrollgruppe erhielt dieses Angebot nicht.

Die Mitglieder der Versuchsgruppen nutzten ihre Anforderungslisten bei der Auswahl systematischer, prüften häufiger alle Anforderungen für jede Lösungsvariante, unterschieden zwischen unerlässlichen Forderungen und Wünschen, berücksichtigten deren unterschiedliche Bedeutung und erwogen weitere Verbesserungen der gewählten Lösung.

Das Integrieren fachübergreifender kognitiver Vorgehensweisen in die konstruktionsmethodische Ausbildung ist auch für die rational-systematischen Arbeitsschritte zu empfehlen.

Schlüsselwörter

Konstruktives Entwickeln technischer Produkte – Entwurfsproblemlösen – fachübergreifende generische kognitive Unterstützung

ABSTRACT

We are interested in how generic cognitive procedures may assist the decisive early phases of engineering design problem solving. In detail we analyzed procedures aiming at the scarcely considered phases „identification of requirements“, „assessment of conceptual solutions“ and „selection of a solution“. A quasi-experimental design with two experimental groups and a control group was applied. The experimental groups got short assisting texts on generic cognitive procedures in addition to specific technical tools. The control group worked without these texts.

First, the engineering students had to develop a complete list of the requirements of the device to be designed. Next, they had to select and justify the most suitable one of three presented solutions.

The experimental groups applied their lists of requirements more systematically on the selection of a solution, tested each requirement for each of the solutions, distinguished more often between indispensable versus only desirable requirements and considered more often further improvements of the favoured solution – compared with the control group. The integration of generic cognitive procedures into engineering design education is recommended.

Keywords

Engineering design – design problem solving – generic cognitive procedures in design thinking

¹ Die Studie war Bestandteil des Forschungsprojekts „Innovation of the innovation process“ gefördert durch die VolkswagenStiftung (II/82-497).

1 Einordnung

Für die rohstoffarmen Wirtschaftsstandorte ist das Entwickeln leistungsfähiger technischer Produkte der ausschlaggebende Wettbewerbsfaktor. Das Entwickeln technischer Produkte ist eine Arbeitstätigkeit mit anspruchsvollen kognitiven Anforderungen, die als Anforderungen des *design thinking* bzw. *design problem solving* untersucht werden (Caroll, Miller, Thomas & Friedman, 1980; Guindon, 1990 a, b). Design problem solving ist ein Gegenstand der vernachlässigten Forschung zur Makrokognition bzw. Alltagskognition (naturalistic cognition; Schraagen, Militello, Ormerod & Lipshitz, 2008).

Im Entwicklungsprozess technischer Produkte (zur konstruktionswissenschaftlichen Definition vgl. Ehrlenspiel, 2009) werden Phasen unterschieden (vgl. VDI 2221, 1993 bzw. das Münchner Vorgehensmodell, Lindemann, 2009). Die ausschlaggebende Rolle haben dabei die sog. frühen Phasen, weil in ihnen die Gestaltungsmöglichkeiten umfassender und die Kosten von Veränderungen von Entwürfen geringer sind als später beim Ausarbeiten des gewählten Lösungsprinzips (Ehrlenspiel, 2009). Diese ausschlaggebenden frühen Phasen des Entwickelns sind die Aufgabenklärung und Anforderungsermittlung, das Konzipieren prinzipieller Lösungsvarianten sowie das Bewerten dieser Varianten und Auswählen der auszuarbeitenden Variante.

In anderen Aufgabenfeldern, beispielsweise bei Piloten oder Anästhesisten, bewähren sich beim Entwickeln von Problemlösungen fachgebietsübergreifende, generische kognitive Unterstützungsangebote für Individuen und für Teams, die gemeinsam mit dem fachspezifischem Vorgehen gelehrt werden (Fletcher, Flin, McGeorge, Glavin, Maram & Patey, 2004; Wiener, Kanki & Helmreich, 1993). Das legt nahe zu untersuchen, ob nicht-technische, generische kognitive Unterstützungsangebote auch beim Entwickeln technischer Produkte nützlich sein und in der konstruktionswissenschaftlichen Ausbildung berücksichtigt werden könnten (Ehrlenspiel, 2009; Hacker, Winkelmann & Stelzer, 2009; Lindemann, 2009). Aus konstruktionswissenschaftlicher Perspektive wurde dieses Anliegen unterstrichen: „Menschliche Einflussfaktoren in der Produktentwicklung besser berücksichtigen – für eine nachhaltigere Konstruktionsmethodik“ (Hinsch, Heller & Feldhusen, 2012, S. 611).

Die bisher hierzu vorliegenden labor- und feldexperimentellen Studien untersuchten generische kognitive Unterstützungsmöglichkeiten von frühen Phasen des Entwickelns bei Architekten sowie bei Ingenieuren. Die meisten Studien untersuchten das Unterstützen des *Konzipierens prinzipieller Lösungsvarianten* („*ideation*“). Als nützlich erwiesen sich dabei sowohl teambezogene Hilfen, insbesondere Brainstorming und Brainwriting sowie Kreativitätstechniken

(zusammenfassend dazu Lindemann, 2009), als auch individuell nutzbare Hilfen. Zu den nützlichen individuell einsetzbaren Hilfen für das Konzipieren gehören insbesondere

- kognitive Entwicklungsheuristiken, die das Navigieren in und das Explorieren von Problemräumen beim Entwickeln unterstützen sollen (Yilmaz, Daly, Seifert & Gonzalez, 2011; Yilmaz, Seifert & Gonzalez, 2011),
- Externalisierungen von Denkvorgängen und Denkergebnissen (Bilda & Gero, 2005; Radcliffe, 1998; Sachse, 2002; Sachse, Hacker & Leinert, 2004; Sachse & Hacker, 2011),
- sowie generische Systeme von Fragewort-Fragen, die auf Antworten unter Nutzung des Systems der semantischen Relationen (u. a. Kausal-, Konditional-, Final-, Konsekutiv-Relationen, Fillmore, 1968) zielen (Krause, 2000; Reimann & Dörner, 2004; Winkelmann, 2005; Winkelmann & Hacker, 2006).

Eine kleinere Anzahl von Studien untersuchte das Unterstützen der *Aufgabenklärung und Anforderungsermittlung* und zwar gleichfalls mit Hilfe von Systemen generischer Fragewort-Fragen (Wetzstein & Hacker, 2004; Winkelmann & Hacker, 2011). Dabei wurde gezeigt, dass nicht-technische generische Fragesysteme auch dann einen weiteren Informationsgewinn für das Entwickeln erbringen, wenn sie zusätzlich zu spezifischen konstruktionsmethodischen Checklisten eingesetzt werden.

Neben den Untersuchungen zu phasenbezogenen generischen Unterstützungsmöglichkeiten gibt es einige Untersuchungen zu generischen Unterstützungsmöglichkeiten der Organisation des *gesamten* technischen Entwicklungsprozesses. Sie betreffen die Abfolgeorganisation (Jahn, 2002), sowie die Organisation von Teamarbeit beim Entwickeln technischer Produkte (Badke-Schaub, Neumann, Lauche & Mohamed, 2007).

In bisherigen Untersuchungen wurden die kognitiven Hilfen jeweils für eine Phase einzeln untersucht, wobei die Hilfennutzung obligatorisch war. Offen blieb dabei die realitätsnähere Frage, ob (a) bei einem kombinierten und dadurch umfangreicheren Angebot mehrerer fachübergreifender Vorgehenshilfen für mehrere zusammenhängende Phasen gleichfalls ein Gewinn entsteht, auch wenn (b) das Anwenden dieses Angebots freigestellt bleibt und dadurch (c) die Möglichkeit, allein anhand der erlernten technischen Vorgehensweisen vorzugehen, eingeräumt ist.

Da die Unterstützungsmöglichkeiten des Konzipierens von Prinziplösungen umfangreich untersucht und auch eingeführt sind, soll beim Klären der offenen Fragen dieser Schritt ausgelassen werden. Das ist möglich, wenn Prinziplösungen vorgegeben werden

und das entspricht auch einem Aufgabentyp in der Praxis. Weniger untersucht sind dagegen generische Unterstützungsmöglichkeiten bei der Anforderungsermittlung, beim Bewerten verschiedener Prinziplösungen sowie beim Auswählen des auszuarbeitenden Lösungsprinzips (Sachse, 1995; Weißhahn & Rönsch, 2002).

Die zentrale Frage dieser Untersuchung ist, ob das Angebot generischer (problemunspezifischer) kognitiver Unterstützungen für Phasen des technischen Entwickelns auch ohne Zwang zu ihrer Anwendung und nach einer abgeschlossenen konstruktionsmethodischen Ausbildung von den Untersuchungsteilnehmer/Innen als eine Unterstützung wahrgenommen wird und zu einem vollständigeren Realisieren der erforderlichen Bearbeitungsschritte führt als bei vergleichbar Ausgebildeten ohne dieses Unterstützungsangebot. Wir untersuchen diese Frage für das Ableiten der Anforderungen, die das Produkt erfüllen soll, für das Bewerten möglicher Lösungen, das Entscheiden für eine der Lösungen sowie für die realisierte Abfolge der Vorgehensschritte insgesamt.

Die in Voruntersuchungen entwickelten Unterstützungsangebote (Module; zusammenfassend Hacker, 2010) beruhen auf Befunden aus der einschlägigen Forschung:

Den unterstützenden Vorgehenshinweisen beim *Ableiten der Anforderungen sowie beim Bewerten* der Prinziplösungen liegen die Ergebnisse von Untersuchungen zur denkanregenden Wirkung von Fragewortsystemen zugrunde, die auf das System der semantischen Relationen zielen (Krause, 2000; Reimann & Dörner, 2004; Winkelmann, 2005; Winkelmann & Hacker, 2006).

Die Hinweise zum *Auswählen* fußen auf den Befunden zur Übertragbarkeit von Aspekten der psychologischen Entscheidungsforschung – insbesondere der multiattributiven Nutzentheorie – auf das Entwickeln technischer Gebilde sowie zum Nutzen der Dekomposition des Vorgehens in unerlässliche Arbeitsschritte. Die Schritte beinhalten das Beachten *sämtlicher* identifizierter Anforderungsmerkmale als Auswahlkriterien (Attribute), den Vergleich *jeder* Lösungsalternative nach *sämtlichen* Attributen, das Gewichten der Attribute nach ihrer Bedeutung, sowie das Beachten von *Ausschlusskriterien* (Sachse, 1995; Weißhahn & Rönsch, 2002).

Die Hinweise zum *gesamten Vorgehen* ordnen die Arbeitsschritte in eine sachlogische Abfolge (Bender, 2004; Jahn, 2002). Ihnen liegen die erwähnten Ergebnisse zur hilfreichen Wirkung eines Vorgehensleitfadens zugrunde (Jahn, 2002), der seinerseits empirische Befunde zur Vorgehensplanung nutzt (Hacker & Loebmann, 1991; Pascha, Schöppe & Hacker, 2001).

Vorab ist zu prüfen, ob die Versuchsgruppen-Teilnehmer/Innen mit dem Angebot von Unterstützun-

gen die zu bearbeitende Entwurfsaufgabe als ebenso schwierig bewerten wie die Kontrollgruppen-Teilnehmer/Innen ohne dieses Angebot. Wir erwarten, dass dies zutrifft (H 1).

Sodann ist zu sichern, dass die beabsichtigte Unterstützung von den Versuchsgruppen-Teilnehmern als wirksam wahrgenommen wird. Wir erwarten als die am häufigsten wahrgenommenen Stärken dieser Angebote

- beim Modul *Gesamtvorgehen* die Strukturierung des erforderlichen Vorgehens wie durch einen Leitfadens (H 2.1),
- beim Modul *Anforderungsklärung* Hilfen beim Sichern der Vollständigkeit der zu erarbeitenden Anforderungsliste (H 2.2),
- beim Modul *Auswahlentscheidung* das Beachten aller Aspekte des Auswählens [d. h. *Ausmaß* der Erfüllung von Forderungen; unterschiedliche Bedeutung verschiedener Forderungen (*Gewicht*); Vorliegen von Ausschlusskriterien] (H 2.3).

Ferner wird sich die Bearbeitungszeit zwischen den Versuchsgruppen und der Kontrollgruppe unterscheiden, weil die Unterstützungsmodule nicht nur anfänglich zunächst gelesen, sondern beim Bearbeiten wiederholt konsultiert werden müssen. Längeres Bearbeiten insgesamt könnte zu einem differenzierteren Vorgehen führen – auch ohne dass dabei Unterstützungsangebote gelesen werden. Demnach muss geprüft werden, ob bereits eine längere Bearbeitungszeit allein, ohne die Befassung mit den Modulen, einhergehen könnte mit einem differenzierten Vorgehen. Wir prüfen das bei der Kontrollgruppe ohne Module sowie bei den Versuchsgruppen und erwarten keine signifikanten Korrelationen zwischen der Zeit, die Teilnehmer für die Aufgabenbearbeitung einsetzen und einem Gesamtpunktwert für die Vollständigkeit ihres Vorgehens (H 3). (Die Vollständigkeit des Vorgehens ist definiert im Sinne des Vorliegens der in den Hypothesen 5.1 - 5.7 benannten Sachverhalte).

Zwischen den Untersuchungsgruppen mit Hilfen und der Kontrollgruppe ohne diese wird ein signifikanter Unterschied in der Anzahl und der Art der identifizierten Anforderungen erwartet (H 4). Diese Annahme folgt früheren Befunden (Winkelmann & Hacker, 2010, 2011).

Ausgehend von der Annahme und ersten Bestätigungen bei Sachse (1995) sowie Weißhahn und Rönsch (2002), dass die angebotenen Hilfen das Auslassen erforderlicher Arbeitsschritte verhüten können, erwarten wir für das Bewerten und Lösen und das Entscheiden zwischen ihnen Folgendes:

In den beiden Versuchsgruppen mit erstmaliger (VG 1) und mit wiederholter Verfügbarkeit (VG 2) der Hilfen

sind jeweils die Mittelwerte für das Vorliegen folgender Vorgehensmerkmale signifikant größer als bei der Kontrollgruppe (KG) ohne das Hilfenangebot, und zwar für

- das erschöpfende Anwenden der eigenen Anforderungsliste beim Bewerten und Entscheiden (H 5.1),
- das Bewerten jeder Lösungsvariante anhand jeder Anforderung (H 5.2),
- das Unterscheiden zwischen unerlässlichen Forderungen und nur erwünschten Anforderungen (H 5.3), sowie
- das Unterscheiden der erwünschten Anforderungen nach ihrer Bedeutung (ihrem Gewicht) (H 5.4),
- das differenzierte, nicht nur alternative Beurteilen der Erfüllungsgrade der erwünschten Anforderungen bei jeder Lösungsvariante (H 5.5),
- das Verknüpfen der Bedeutung (des Gewichts) und des Erfüllungsgrads (H 5.6), sowie
- das abschließende Erwägen von weiteren Optimierungserfordernissen der gewählten Lösungsvariante (H 5.7).

Bei Studierenden, denen die unterstützenden Module bereits bei einer früheren Aufgabe in der Ausbildung angeboten worden waren (VG 2), wird kein vollständigeres Vorgehen erwartet als bei denen, die sie erstmalig angeboten erhielten (VG 1) (H 5.8). Wenn die Unterstützungsangebote ausschlaggebende Anforderungen betreffen, verständlich formuliert sind und ihr Nutzen augenfällig ist, sollten nach der erstmaligen Verwendung bei weiteren Einsätzen keine weiteren signifikanten Verbesserungen entstehen. Ihr Einsatz bedarf unter diesen Bedingungen keiner Übung.

2 Methoden

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen 48 Studierende der Technischen Universität Dresden im Alter von 21 bis 28 Jahren ($M = 23.8$ Jahre, $SD = 1.8$) teil.

Bei den 88 % männlichen und 12 % weiblichen Studierenden der Fachrichtungen Allgemeiner und Konstruktiver Maschinenbau (47 %), Kraftfahrzeug- und Schienentechnik (39 %), Mechatronik (6 %), Technisches Design (4 %) und Wirtschaftsingenieurwesen (4 %) handelte es sich um fortgeschrittene Studierende ab dem 6. Semester, wobei knapp die Hälfte der Teilnehmer (46 %) dem 8. Semester angehörten. Alle Teilnehmer hatten die konstruktionsmethodische Ausbildung abgeschlossen.

Die Teilnahme erfolgte freiwillig und wurde finanziell (mit 20 Euro) vergütet.

Die Mitglieder der Untersuchungsgruppen unterscheiden sich nicht im erfolgreichen Abschluss ihrer konstruktionsmethodischen Ausbildung nach einem identischen Ausbildungsprogramm in den Anteilen der Geschlechter [$\chi^2(2, N = 48) = 1.35; p > .05$], im Durchschnittsalter [$F(45, 2) = .75$], sowie in den handlungsbezogenen Personenmerkmalen (Heisig, 1996) Planungsneigung, Hartnäckigkeit der Zielverfolgung und Flexibilität bei der Zielanpassung [$F_p(48, 2) = 1.24; F_H(48, 2) = 0.21; F_p(48, 2) = 0.48$, jeweils $p > .05$]. Damit liegen keine verzerrenden Effekte durch diese potentiellen Kovariablen bei den Gruppenvergleichen vor.

2.2 Aufgabe und Material

Die Teilnehmer der Untersuchungsgruppen erhielten schriftlich folgendes Problem zur individuellen Bearbeitung dargeboten:

Pkw-Fahrten im Winter sind mitunter durch lokale Eisflächen, Glätte an kleinen Steigungen wie Grundstückseinfahrten oder auch ungeräumten Zufahrten und Parkplätzen so behindert, dass der Zweck der Fahrt nicht oder nur unter großem Zeitverlust erreicht werden kann. Schon mit einer kleinen Menge Streusand lassen sich die genannten kleinen Hindernisse „entschärfen“.

Die konstruktive Aufgabe besteht darin, eine Einrichtung zum Sandstreuen für Pkw's zu entwickeln, mit der das Problem gelöst werden kann.

Erstellen Sie zunächst eine Anforderungsliste!

Die Aufgabe wurde von den beteiligten Konstruktionswissenschaftlern nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt: Repräsentativität für einen praktisch häufigen Aufgabentyp; bearbeitbar in der für den Versuch verfügbaren Zeit; bearbeitbar beim erreichten Ausbildungsstand sowie Erfahrungsschatz der Studierenden. Daher handelt es sich im Unterschied zu Aufgaben, die von Teams über ein Semester (15 Wochen) bearbeitet werden, um eine als wenig komplex wahrgenommene Aufgabe.

Die Teilnehmer hatten drei Teilaufgaben zu bearbeiten. Sie hatten (1) schriftlich eine vollständige Anforderungsliste zu erstellen, (2) in Bezug auf die erstellte Anforderungsliste die beste Lösungsvariante aus den drei übergebenen auszuwählen und erforderlichenfalls zu modifizieren sowie (3) die Überlegungen darzustellen, die zur Auswahlentscheidung geführt haben.

Nach dem Erstellen der Anforderungsliste wurden den Teilnehmern drei Lösungsvorschläge zur Auswahl der optimalen Lösung vorgelegt. Im Anhang A ist eine dieser drei Varianten zur Veranschaulichung beigelegt.

Als Hilfsmittel wurden den Teilnehmern der Versuchsgruppe drei fachübergreifende Unterstützungsmodule zur Unterstützung (a) des Gesamtvorgehens, (b) der Anforderungsklärung sowie (c) der Bewertung

und Auswahlentscheidung in schriftlicher Form übergeben. Sämtliche Module sind dargestellt in Hacker (2010) sowie im Anhang B.

2.3 *Unabhängige Variable*

Die beiden Versuchsgruppen erhielten die fachübergreifenden Vorgehenshinweise (Module) zur Unterstützung des Gesamtvorgehens, der Anforderungsklärung und der Auswahlentscheidung. Die Versuchsgruppe 2 umfasste Studierende, denen im Rahmen des eingangs benannten Forschungsprogramms bereits bei einer früheren Aufgabe diese Module angeboten wurden, die Versuchsgruppe 1 dagegen Studierende ohne dieses frühere Angebot. Der Kontrollgruppe mit Teilnehmern ohne ein früheres Angebot der Unterstützungsmodule wurden diese Module wiederum nicht angeboten.

2.4 *Abhängige Variable*

Erfasst wurden außer der Art und Anzahl der identifizierten Anforderungen an das geforderte Produkt das Vorgehen der Untersuchungsteilnehmer bei der Bewertung der vorgelegten Lösungskonzepte und der Auswahlentscheidung [nach den im Abschnitt 2 (H 5.1 bis 5.7) benannten Vorgehensmerkmalen] sowie vorgeschlagene Verbesserungen der gewählten und begründeten Lösungsalternativen.

Die Erfassung erfolgte aus den von den Teilnehmern geforderten Niederschriften (einschließlich Tabellen) zu den Anforderungen des Auftrags, zum Auswählen aus den vorgelegten Varianten, den Begründungen der Auswahl und eventuellen Verbesserungsvorschlägen zum gewählten Lösungsprinzip.

Darüber hinaus wurden alle Teilnehmer in einer teilstandardisierten Nachbefragung zur Einschätzung der Schwierigkeit des Auftrags und ihrer Sicherheit bzgl. ihrer Lösungen befragt. Die Teilnehmer der Versuchsgruppen wurden des Weiteren zur Nützlichkeit der fachübergreifenden Vorgehensweisen für die Aufgabebearbeitung befragt.

2.5 *Untersuchungsdesign*

Die Untersuchung erfolgt mittels eines quasi-experimentellen Versuchs-Kontrollgruppen-Plans.

Zur Versuchsgruppe ohne früherem Angebot der Module (VG 1) gehörten 22 Studierende, zur Versuchsgruppe mit dem Zweitangebot (VG 2) 17 und zur Kontrollgruppe ohne Angebot (KG) 9 Studierende. Die Studierenden wurden diesen Gruppen zufällig zugeordnet. Mögliche Unterschiede in personellen Kovariablen wurden nachträglich geprüft. Die unterschiedlichen Gruppengrößen waren dadurch bedingt, dass bei freiwilliger Teilnahme die Studierenden aus

unterschiedlichsten Vertiefungsrichtungen mit unterschiedlichen Stundenplänen für organisatorisch vorgegebene Zeiträume gewonnen werden mussten und dass dabei zusätzlich zu beachten war, dass ein Teil von ihnen im laufenden Forschungsprogramm bereits einige Unterstützungsmodule erhalten hatte.

Die Untersuchung erfolgte mit einem quasi-experimentellen Design, weil im Studienprozess der Maschinenbaustudenten selbst keine Möglichkeit besteht, die Vorgehensschritte beim Bewerten und Entscheiden von Lösungsvarianten an identischen Aufgaben unter vergleichbaren Bedingungen zu untersuchen.

Ein denkbarer Einwand gegen die Evaluation der Wirkung von zusätzlich angebotenen kognitiven Hilfen beim Entwickeln ist: Zusätzliche Informationen über das Problemlösen führen selbstverständlich zu besserem Vorgehen. Dieser Einwand trifft nicht das hier untersuchte Problem. Alle Untersuchungsteilnehmer haben die konstruktionsmethodische Ausbildung absolviert, in der auch die Anforderungsermittlung und das Bewerten von und Entscheiden zwischen prinzipiellen Lösungsvarianten gelehrt und geprüft werden. Daher ist hier die Frage, ob ein Angebot fachübergreifender nicht-technischer Vorgehensweisen noch zusätzliche Hilfen bieten kann, die als nützlich wahrgenommen werden und das Vorgehen verbessern. Sie könnten angesichts der abgeschlossenen Ausbildung auch als überflüssig oder sogar als störend erscheinen und diese Zusatzinformation könnte ignoriert werden.

2.6 *Untersuchungsablauf*

Zunächst wurden alle Teilnehmer schriftlich zu demografischen Daten, Vorerfahrung mit fachübergreifenden Unterstützungsmöglichkeiten sowie zu den erwähnten beruflichen Handlungsstilen befragt.

Danach wurden den Teilnehmern der Versuchsgruppen die Unterstützungsmodule ausgehändigt und 15 Minuten zum Lesen eingeräumt. Erst danach wurde ihnen die Aufgabe übergeben. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe erhielten sofort die Aufgabe. Die Bearbeitungszeit der Aufgabe wurde für jeden Teilnehmer erfasst.

Nach dem Erstellen der Anforderungsliste an die zu entwerfende Vorrichtung erhielten sowohl die Teilnehmer der Versuchsgruppen als auch der Kontrollgruppe die drei Lösungsvarianten ausgehändigt, aus denen sie die geeignetste auswählen und ihre Wahl begründen sollten.

Zusätzlich durften die Teilnehmer ihre fachlichen Unterlagen, bspw. die Leitlinien mit Hauptmerkmalen zum Aufstellen einer Anforderungsliste nach Pahl, Beitz, Feldhusen und Grote (2007), als fachspezifische Hilfsmittel verwenden.

Für die Bearbeitung der Aufgaben wurde den Teilnehmern keine Zeitbegrenzung gesetzt.

Am Schluss wurden die Untersuchungsteilnehmer um die Bewertung der Schwierigkeit der Aufgabe und – bei den Versuchsgruppen – der Nützlichkeit der Module gebeten.

2.7 Datenauswertung

Die Auswertung der schriftlichen Unterlagen der Untersuchungsteilnehmer mit den identifizierten Anforderungen, dem Vorgehen der Teilnehmer bei der Bewertung und der Entscheidung für eine Lösungsvariante sowie den Aussagen zu Begründungen, Verbesserungen, der Schwierigkeit und der Unterstützung erfolgte zunächst durch Kategorienbildung. Die Häufigkeiten des Auftretens dieser Kategorien wurden ausgezählt und quantitativ weiterbearbeitet.

Bei der zu erstellenden Anforderungsliste betreffen die Auswertungskategorien die aufgelisteten Anforderungen an die Vorrichtung. Zur Erleichterung dieser Auswertung entwickelten erfahrene Konstrukteure eine Vergleichsliste.

Die Kategorien zur Vorgehensbewertung (mit Bezug auf die Hypothesen 5.1 bis 5.7) gehen auf die erwähnten Untersuchungen zu Defiziten beim Bewerten und Entscheiden beim Entwickeln von Artefakten zurück (Sachse, 1995 mit Bezug auf die multiattributive Nutzentheorie; Weißhahn & Rönsch, 2002).

Die Zuordnung zu den Kategorien nahmen zwei Urteiler unabhängig voneinander vor. Die im Anschluss berechnete Urteilerübereinstimmung ergab für die Anforderungen einen Wert von $\kappa = 0.83$ und für die Analyse des Vorgehens beim Bewerten und Entscheiden einen Wert von $\kappa = 0.72$. Damit kann von einer guten Übereinstimmung ausgegangen werden.

Jede der Ergebnisdarstellungen der Teilnehmer entnehmbare Vorgehenskategorie (vgl. Abschnitt 2, H 5.1 bis H 5.7) wurde beim Auswerten als ein Punkt gezählt. Die Punktwerte aller Kategorien wurden für jeden Teilnehmer zu einem Gesamtpunktwert addiert. Aus den individuellen Einzel- und Gesamtpunktwerten wurden Gruppenmittelwerte ermittelt. Je niedriger diese Werte, desto mehr erforderliche Vorgehenschritte fehlen.

Die Untersuchungsdaten wurden entsprechend der Fragestellung hypothesengeleitet mittels des Statistikprogramms SPSS für Windows 17.0 analysiert. In Abhängigkeit vom Datenniveau, von der Erfüllung der Auswertungsvoraussetzungen sowie der jeweiligen Fragestellung wurden der χ^2 -Test, der Kruskal-Wallis-H-Test, die einfaktorielle Varianzanalyse sowie Korrelationen berechnet. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = .05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Wahrnehmung des Auftrags sowie der Unterstützung durch die Hilfen

Zwischen den Versuchsgruppen und der Kontrollgruppe besteht kein signifikanter Unterschied in der wahrgenommenen Schwierigkeit der Aufgabenbearbeitung [$\chi^2 (2, N = 48) = 1.22, p > .05$]. Im Mittel bezeichnen etwa 60 % der Versuchsteilnehmer die Aufgabe nicht bzw. kaum als schwierig, ca. 20 % als schwierig bzw. sehr schwierig. Auch die ausgesagte Sicherheit bei der Auswahl des Lösungsprinzips unterscheidet sich zwischen den Gruppen nicht signifikant [$\chi^2 (2, N = 48) = 1.59, p > .05$]. Im Mittel sind sich ca. 75 % der Versuchsteilnehmer ihrer Auswahl sicher bzw. sehr sicher. Die Hypothese 1 trifft zu.

Von den Teilnehmern der Versuchsgruppe, denen die Hilfsmittel bereits bei einer früheren Belegbearbeitung übergeben worden waren, beurteilten ca. 75 % die Module zum Gesamtverfahren, zur Auswahlentscheidung und zur Anforderungsklärung als „eher nützlich bis sehr nützlich“. Von den Teilnehmern der Versuchsgruppe, welche über die Hilfsmittel erstmalig verfügten, beurteilten nur ca. 50 % (beim Gesamtverfahren) bis 70 % (bei der Auswahl) die Hilfsmittel als „eher nützlich bis sehr nützlich“. Die Unterschiede sind nicht signifikant beim Modul zum Gesamtverfahren ($z = -1.49, p > .05$) und beim Entscheidungsmodul ($z = -0.61, p > .05$), aber signifikant beim Modul zur Anforderungsklärung ($z = -3.25, p = .001$).

Freie Aussagen zu Stärken und Schwächen der Module liegen nicht von allen befragten Teilnehmern vor und es gibt dazu Mehrfachausagen. Daher beziehen sich die relativen Häufigkeiten in der folgenden Tabelle jeweils auf die Gesamtzahl der Aussagen (Tabelle 1).

Die Aussagen zu *Grenzen* der Unterstützung durch die Module betreffen einerseits die Darstellungsweise und andererseits den beschränkten Nutzen bei einem Auftrag mit als gering erlebter Komplexität und Schwierigkeit. Die Darstellungsweise des Moduls *Anforderungsklärung* wurde als umständlich und unkonkret bezeichnet, die des Moduls zur Auswahlentscheidung als zu komplex und mit Beispielen versehen, welche nicht die Produktentwicklung betreffen.

Die Aussagen zu den *Stärken* der Unterstützungstexte stimmen jeweils überein mit den Absichten, die mit ihnen verfolgt wurden: Das Systematisieren des Vorgehens im Sinne eines Ablaufplans beim Modul *Gesamtverfahren*, das Absichern der Vollständigkeit der Anforderungsanalyse durch Denkanstöße beim Modul *Anforderungsklärung*, sowie das Strukturieren, Dokumentieren und Objektivieren der Auswahlentscheidung bei dem diesbezüglichen Modul. Die Hypothesen 2.1 – 2.5 können bestätigt werden.

Tabelle 1: Anteile der Aussagen von Nutzern zu Stärken und Schwächen der generischen kognitiven Module bei erstmaligem und bei wiederholtem Angebot ($N = 90$ Aussagen).

Angaben zu	Angebot des Moduls		
	erstmalig	wiederholt	gesamt
Modul „Gesamtvorgehen“			
Stärken – systematisiert Vorgehen im Sinne eines Ablaufplans	64.4 %	67.0 %	66.0 %
Grenzen – keine Denkanstöße	14.5	20.0	17.0
– nützlich bei höherer Aufgabenkomplexität	21.5	15.0	17.0
Modul „Anforderungsklärung“			
Stärken – Denkanstöße zum Sichern der Vollständigkeit	56.0	79.0	57.0
Grenzen – unkonkrete, umständliche Darstellung	64.0	14.0	39.0
– bei gegebenem Auftrag nur ein Teil der Fragen relevant	0.0	7.0	4.0
Modul „Auswahlentscheidung“			
Stärken – bietet Überblick, strukturiert; entlastet Gedächtnis; – schafft Nachprüfbarkeit durch Dokumentation	44.0	10.5	24.0
– Objektivierung (vs. Bauchgefühl)	14.0	26.5	21.0
– bietet verschieden differenzierte Prozeduren	0.0	10.5	6.0
Grenzen – zu komplex; Beispiele nicht passfähig	21.0	52.5	40.0
– nützlich bei höherer Aufgabenkomplexität	21.0	0.0	9.0

3.2 Bearbeitungszeit und Vorgehen

Signifikante Unterschiede ($p < .05$) zwischen den Versuchsgruppen mit den Unterstützungsmodulen und der Kontrollgruppe ohne Vorliegen dieser Materialien bestehen in der Bearbeitungszeit der Aufgabe. Die Versuchsgruppen beanspruchen etwa doppelt so viel Bearbeitungszeit (ca. 110 Minuten) wie die Kontrollgruppe (ca. 50 Minuten).

Dabei ist zu beachten, dass in der Kontrollgruppe keine signifikante Korrelation vorliegt zwischen der Bearbeitungszeit und dem Gesamtpunktwert des Vorgehens beim Bewerten und Entscheidungen prinzipieller Lösungen ($r = 0.15$, $p > .05$). Auch in den Versuchsgruppen existiert keine signifikante derartige Korrelation ($r = 0.21$, $p > .05$). Die Bearbeitungszeit allein – ohne Vorgehenshinweise – geht also nicht einher mit einer unterschiedlichen Anzahl fehlender Überlegungen beim Bewerten und Auswählen von Lösungsvarianten. Die Hypothese 3 wird bestätigt: Ermitteltbare Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen können nicht kurzerhand erklärt werden durch Unterschiede der Bearbeitungszeiten.

3.3 Vorgehen bei der Variantenauswahl

Der Ausgangsschritt für das Bewerten von alternativen Lösungen und die Auswahl der geeignetsten ist das Identifizieren der Anforderungen an das geforderte Produkt.

3.3.1 Vom Entwerfenden formulierte Anforderungen

Die Gesamtzahl formulierter technischer Anforderungen unterscheidet sich zwischen den Angehörigen der Untersuchungsgruppen nicht signifikant [$F(2,42) = 2.30$, $p > .05$]. Auch bei detaillierten Vergleichen verschiedener Anforderungsgruppen (bspw. zum Gebrauchswert im Unterschied zur funktionellen Gestaltung) wurden keine Hinweise auf Unterschiede zwischen den Versuchs- und der Kontrollgruppe erkennbar. Hypothese 4 wird nicht bestätigt.

3.3.2 Vorgehen beim Bewerten und Auswählen

Der Gesamtpunktwert für das Vorgehen beim Bewerten und Entscheiden unterscheidet sich zwischen den drei Untersuchungsgruppen signifikant [$F(2,42) = 6.37$, $p < .01$; $\eta^2 = .23$]. Die Punktwerte der sieben einzelnen Vorgehensmerkmale unterscheiden sich zwischen den drei Untersuchungsgruppen in vier Bereichen (vgl. Tabelle 2): Signifikante Unterschiede liegen vor beim vollständigen Ausnutzen der erstellten Anforderungsliste, dem Unterscheiden der unerlässlichen Forderungen von Wunschanforderungen, dem Gewichten der Wunschanforderungen sowie bei weiteren Optimierungserwägungen zur gewählten Variante. Die Hypothesen H 5.1, 5.3, 5.4 und 5.7 sind zu bestätigen.

Tabelle 2: Punktwerte für die Vorgehensmerkmale bei der Auswahl aus vorgegebenen Lösungsvarianten für eine Vorrichtung: Signifikanz der Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen. ANOVAs ($N = 45$).

Vorgehensmerkmale	F (2,42)	Signifikanz	η^2
1. Ausnutzen der eigenen Anforderungsliste?	5.01	<.01	.19
2. Anforderungen (A) auf alle Varianten angewandt?	0.35	>.05	.02
3. A von Wünschen (W) unterschieden?	12.50	<.01	.37
4. W gewichtet?	3.41	<.05	.14
5. Erfüllung der A (wo möglich) differenziert gestuft?	0.38	>.05	.02
6. Gewicht und Erfüllungsstufung kombiniert?	2.10	>.05	.09
7. Abschließende Optimierungserwägungen zur gewählten Variante?	4.15	<.05	.16
Gesamtpunktwert	6.37	<.01	.25

Tabelle 3: Vergleich des Vorliegens der Vorgehensmerkmale zwischen der Kontrollgruppe (KG) ohne Module (und ohne Vorerfahrung mit diesen) und einer Versuchsgruppe (VG 1) mit erstmaligem Angebot der Module (Punktwerte).

Vorgehensmerkmale	VG 1 (n = 17) MW \pm SD	KG (n = 9) MW \pm SD	Signifikanz der Differenz
1. Ausnutzen der eigenen Anforderungsliste?	3.06 \pm 0.28	1.50 \pm 0.42	<.01
2. Anforderungen (A) auf alle Varianten angewandt?	2.12 \pm 0.50	1.50 \pm 0.73	>.05
3. A von Wünschen (W) unterschieden?	3.30 \pm 0.39	0.00	<.01
4. W gewichtet?	1.29 \pm 0.23	0.25 \pm 0.34	<.05
5. Erfüllung der A (wo möglich) differenziert gestuft?	1.18 \pm 0.11	1.12 \pm 0.16	>.05
6. Gewicht und Erfüllungsstufung kombiniert?	2.59 \pm 0.48	1.00 \pm 0.70	>.05
7. Abschließende Optimierungserwägungen zur gewählten Variante?	1.41 \pm 0.44	0.00	>.05
Gesamtpunktwert	14.82 \pm 1.55	5.37 \pm 2.26	<.01

Tabelle 4: Vergleich des Vorliegens der Vorgehensmerkmale zwischen der Kontrollgruppe (KG) ohne Module (und ohne Vorerfahrung mit diesen) und einer Versuchsgruppe (VG 2) mit wiederholtem Angebot der Module (Punktwerte).

Vorgehensmerkmale	VG 2 (n = 20) MW \pm SD	KG (n = 9) MW \pm SD	Signifikanz der Differenz
1. Ausnutzen der eigenen Anforderungsliste?	2.80 \pm 0.26	1.50 \pm 0.42	<.05
2. Anforderungen (A) auf alle Varianten angewandt?	2.20 \pm 0.46	1.50 \pm 0.73	>.05
3. A von Wünschen (W) unterschieden?	2.80 \pm 0.36	0.00	<.01
4. W gewichtet?	0.80 \pm 0.21	0.25 \pm 0.34	<.05
5. Erfüllung der A (wo möglich) differenziert gestuft?	1.05 \pm 0.10	1.12 \pm 0.16	>.05
6. Gewicht und Erfüllungsstufung kombiniert?	1.60 \pm 0.44	1.00 \pm 0.70	>.05
7. Abschließende Optimierungserwägungen zur gewählten Variante?	2.20 \pm 0.41	0.00	>.05
Gesamtpunktwert	13.55 \pm 1.43	5.37 \pm 2.26	<.01

Im folgenden Schritt werden die Unterschiede im Vorgehen der drei Untersuchungsgruppen im Einzelnen (Post-hoc-Tests) betrachtet. Die Tabelle 3 stellt die Untersuchungsgruppe, welcher die Module erstmalig zur Verfügung gestellt wurden, der Kontrollgruppe ohne Module gegenüber. Diese beiden Gruppen unterscheiden sich signifikant im Gesamtpunktwert ihres Vorgehens ($p < .01$).

Hinsichtlich der einzelnen Vorgehensschritte erkennt man zunächst ohne Berücksichtigung der Größe der Unterschiede der Einzelpunktwerte, dass von der Versuchsgruppe mit erstmaliger Modulnutzung die sieben Vorgehensschritte häufiger bearbeitet werden als von der Kontrollgruppe. Im Vorzeichentest (Dixon und Mood) ist dieser Unterschied signifikant ($p > .01$).

Beim Berücksichtigen der Größe der Unterschiede in den mittleren Punktwerten der Vorgehensmerkmale wird in der Versuchsgruppe mit Modulunterstützung signifikant häufiger die selbst erstellte Anforderungsliste, das sogenannte Pflichtenheft genutzt, wird zwischen unerlässlichen Forderungen und Wunschanforderungen unterschieden und wird die Bedeutung (das Gewicht) dieser Wunschanforderungen beachtet.

Ähnliche Ergebnisse liegen bei der Versuchsgruppe vor, welcher die Module bereits bei einer früheren Aufgabe angeboten wurden (Tabelle 4). Der Gesamtpunktwert für die Vorgehensschritte unterscheidet sich hier ebenfalls signifikant ($p < .01$).

Ohne Berücksichtigen der Unterschiedsgröße werden sechs der sieben Vorgehensschritte von den Angehörigen dieser Versuchsgruppe häufiger bearbeitet. Im Dixon und Mood-Vorzeichentest entspricht dem ein $p \leq .05$. Beim Berücksichtigen der Größe der Unterschiede der mittleren Punktwerte wird in dieser Versuchsgruppe signifikant häufiger ebenfalls das selbst erstellte Pflichtenheft bei der Auswahl der favorisierten Variante ausgeschöpft und zwischen unerlässlichen Forderungen und Wünschen unterschieden sowie eine abschließende Optimierung der gewählten Lösungsvariante versucht.

Zwischen erstmaligem und wiederholtem Angebot der Vorgehenshinweise besteht kein signifikanter Wirkungsunterschied. Hypothese 5.8 trifft zu.

4 Diskussion

Die Untersuchung gehört zur Forschung über makrokognitive Unterstützungsmöglichkeiten der ergebnisbestimmenden frühen Phasen der Entwicklung technischer Produkte, einem Teilgebiet der Innovationsforschung (Yilmaz, Daly et al., 2011; Yilmaz, Seifert & Gonzalez, 2011). Die Studie prüft, ob und ggf. in welcher Weise die optionale Information über fachübergreifende makrokognitive Vorgehensweisen das Vorgehen von Anfängern in ausgewählten Abschnitten des Entwurfsproblemlösens (design problem solving) verändert. Die Information wurde Studierenden technischer Fachrichtungen mit abgeschlossener konstruktionsmethodischer Ausbildung in Form knapper Instruktionstexte zur Verfügung gestellt; die Nutzung und ihre Art waren freigestellt.

Diese zu bearbeitende Aufgabe entspricht Anforderungen des Berufsalltags, weil leistungsstarke Konstrukteure bzw. Teams in der Regel mehrere Lösungskonzepte prüfen, bevor sie eines davon ausarbeiten (Ehrlenspiel, 2009). Die Untersuchung betrifft im Sinne des TEA-Modells (Ullman, Dieterich & Stauffer, 1988) die in der Forschung bisher vernachlässigten rational bewertenden Abschnitte des design problem solving. Für diese Abschnitte dürften zusätzliche rationale Unterstützungsangebote nützlicher

sein als für das teilweise intuitiv ablaufende Entwerfen von Lösungskonzepten (Hodgkinson & Sadler-Smith, 2011).

Die Teilnehmer bewerten die Unterstützungsangebote als hilfreich und begreifen deren Hauptziele. Offensichtlich wird ein weiterer Unterstützungsbedarf bezüglich der erforderlichen Problemlösungsschritte trotz verfügbarer fachspezifischer technischer Hilfen erlebt.

Das optionale stichwortartige Informieren über fachübergreifende („non-technical“) Vorgehensweisen führt bereits beim erstmaligen Angebot zu signifikanten Verbesserungen im Vorgehen: Ein größerer Anteil der Untersuchungsteilnehmer der Versuchsgruppen nutzt die eigenen Anforderungslisten beim Bewerten von und Entscheiden zwischen Lösungskonzepten vollständig aus, prüft sämtliche Anforderungen bei allen Lösungsvarianten, unterscheidet zwischen unerlässlichen und erwünschten Anforderungen, erwägt die unterschiedliche Bedeutung der Anforderungen, stuft differenziert ihre Erfüllung ein, kombiniert bei der Auswahl die Bedeutung mit dem Erfüllungsgrad der Anforderungen und erwägt weitere Verbesserungen der gewählten Variante. Das bedeutet, dass ein optionales Angebot kognitiver Hilfen das Übersehen erforderlicher Arbeitsschritte bzw. Überlegungen signifikant reduziert.

Das Nutzen der Angebote erhöht die Bearbeitungszeit wesentlich im Vergleich zur Kontrollgruppe durch das wiederholte Studieren und Bedenken der Unterstützungstexte sowie das Ausführen von Arbeitsschritten, die bei der Kontrollgruppe fehlen. Vollständigeres Vorgehen bedarf längerer Zeit. Ob die längere Bearbeitungszeit bei der Modulnutzung sich bei häufigerer Nutzung verkürzen würde, wurde noch nicht untersucht.

Im Unterschied zu Untersuchungen, bei denen *keine* Prinziplösungen vorgegeben wurden (Winkelmann & Hacker, 2010; 2011) wird hier bei deren Vorgabe von den Probanden mit Unterstützung keine signifikant größere Anzahl technischer Anforderungen ermittelt als von denen ohne Unterstützung. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass beim gleichzeitigen anschaulichen Vorliegen möglicher Lösungsvarianten durch deren Vergleich das Identifizieren relevanter expliziter und impliziter Anforderungen erheblich erleichtert wird.

Die Ergebnisse bestätigen den Nutzen fachübergreifender makrokognitiver Vorgehensweisen, die sich bisher für andere Berufe und andere Problemlöseanforderungen bewährten. Sie erweitern den Erkenntnisstand zur fachübergreifenden makrokognitiven Unterstützungsmöglichkeiten der frühen Phasen des technischen Entwurfsproblemlösens: Sie zeigen, dass das Vorgehen beim Entwickeln technischer Produkte bis in einzelne Arbeitsschritte hinein durch

zusätzliche fachübergreifende optionale Vorgehensunterstützung verbessert werden kann.

Die in dieser Studie präsentierte fachübergreifende Information stützt sich aus *theoretischer Perspektive* auf Erkenntnisse aus dem Bereich der Forschung zu generischen makrokognitiven Prozeduren (Hollnagel, 2001).

Die Unterstützung der Aufgabenanalyse und Anforderungsermittlung nutzt Fragewort-Fragen zur Denkanregung, deren Beantwortung auf das System der semantischen Relationen (u. a. Konditional-, Final-, Kausal-Relationen) zielt. Es wurde bei isolierter Untersuchung bereits gezeigt, dass mit Hilfe dieser heuristischen Frageworttechnik kognitive Leistungen signifikant verbessert werden können (Wetzstein & Hacker, 2004; Winkelmann & Hacker, 2010).

Das Bewerten und Entscheiden von Lösungskonzepten wird hauptsächlich unterstützt durch das Anregen zur Dekomposition in die erforderlichen Einzelschritte, die abgeleitet sind aus der Übertragung entscheidungstheoretischer Ergebnisse, insbesondere zur multiattributiven Nutzentheorie, auf das Entwickeln technischer Produkte (Sachse, 1995; Weißbahn & Rönsch, 2002) sowie durch das vollständigeres und systematische Abarbeiten dieser Schritte.

Praktische Implikationen betreffen die Möglichkeit, generische kognitive Hilfen in die konstruktionsmethodische Aus- und Weiterbildung zu integrieren. Anstatt der bisherigen zusätzlichen Präsentation neben dem fachspezifischen Wissen (Hacker, 2010) sollte künftig dieses fachunspezifische generische Wissen in die konstruktionsmethodische Ausbildung integriert werden. In modernen konstruktionsmethodischen Lehrbüchern wird erkennbar, dass dies ohne wesentlichen darstellungsmäßigen Mehraufwand möglich sein dürfte (bspw. Ehrlenspiel, 2009; Lindemann, 2009). Melzer und Hacker (2015) haben den Nutzen des Einbringens generischer kognitiver Hilfen in die konstruktionsmethodische Ausbildung gezeigt.

Die Untersuchung hat mehrere *Grenzen*. Im Interesse einer begrenzten Versuchsdauer war die Aufgabe einfach im Vergleich zu den in der Ausbildung üblichen komplexen Aufgaben für Teams mit einer Bearbeitungsdauer von 15 Wochen. Dadurch war die mögliche Unterstützung durch die Module begrenzt. Da dennoch ein Unterstützungswert ermittelt wurde, ist zu erwarten, dass geeignet gestaltete Hilfen für komplexe Aufträge mindestens vergleichbare Unterstützung bieten. Eine Untersuchung mit komplexeren Aufgaben bleibt erforderlich.

Die Teilnehmer erhielten die Module teils erstmalig, teils zum zweiten Mal. Sie hatten sich die Inhalte weder als Wissen bereits angeeignet, noch hatten sie die Anwendung geübt. Die Ergebnisse gelten mit diesen Einschränkungen. Auch die mögliche Verkür-

zung der Bearbeitungszeit beim Üben der Anwendung der Hilfen bleibt zu prüfen. Damit könnten erforderlichenfalls vorstellbare Bedenken ausgeräumt werden gegen das Vermitteln und Nutzen von Arbeitshilfen, die einen zusätzlichen Zeitbedarf zumindest anfänglich bedingen. Im hier beabsichtigten Falle, dem Integrieren der kognitiven Hilfen in die Aus- und Weiterbildung durch die konstruktionswissenschaftlichen Lehrkräfte selbst, liegt ein solches Bedenken nicht vor [vgl. auch Hinsch, Heller & Feldhusen, 2012, sowie die Lehrbücher bspw. von Ehrlenspiel (2009) oder Lindemann (2009)]. Der wesentliche Grund ist, dass ein zeitaufwändigeres, aber gründlicheres Vorgehen in den frühen Phasen des Entwickelns größere Zeit- und Kostenverluste beim Ausarbeiten des Entwurfs bzw. in der Fertigung erspart (Ehrlenspiel, 2009).

Die hier gezeigte Verringerung des Fehlens erforderlicher Bearbeitungsschritte durch die kognitiven Hilfen ist weiter zu verfolgen: Vollständigeres Vorgehen sollte auch zu besseren Produkten führen. Bei der gewählten Aufgabe ist es nicht möglich, die Alternative mit der unzweifelbar besten Lösungsgüte zu bestimmen. Das hat mehrere Gründe: Die vorgelegten drei Lösungsalternativen wurden so gewählt, dass keine durch augenfällige Nachteile von vornherein ausschließt. Des Weiteren entwickelten die Teilnehmer unterschiedliche Anforderungslisten, die das Favorisieren unterschiedlicher Alternativen ermöglichen. In weiterführenden Untersuchungen müsste daher zunächst eine konstruktionswissenschaftlich begründete Möglichkeit gefunden werden, ein objektives Kriterium der Entwurfsgüte zu definieren.

Literatur

- Badke-Schaub, P., Neumann, A., Lauche, K. & Mohamed, S. (2007). Mental models in design teams: A valid approach to Performance in design collaboration? *CoDesign*, 3 (1), 5-20.
- Bender, B. (2004). *Erfolgreiche individuelle Vorgehensstrategien in frühen Phasen der Produktentwicklung*. Fortschritts-Berichte 377, Reihe 1. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Bilda, Z. & Gero, J. S. (2005). Does sketching off-load visuo-spatial working memory? In J. S. Gero & N. Bonnardel (eds.), *Studying Designers'05* (pp. 145-159), Key Centre of Design Computing and Cognition. University of Sydney.
- Carroll, J. M., Miller, L. A., Thomas, J. C. & Friedman, H. P. (1980). Presentation and representation in the design problem solving. *American Journal of Psychology*, 95, 269-284.
- Ehrlenspiel, K. (2009). *Integrierte Produktentwicklung* (4. Aufl.). München, Wien; Hanser.

- Fillmore, Ch. J. (1968). The Case for Case. In E. Bach & R. T. Harms (eds.), *Universals in Linguistic Theory* (pp. 1-88). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Fletcher, G., Flin, R., McGeorge, P., Glavin, R., Maram, N. & Patey, R. (2004). Rating non-technical skills; Developing a behavioral marker system for use in anaesthesia. *Cognition, Technology and Work*, 6, 165-171.
- Guindon, R. (1990 a). Knowledge exploited by experts during Software System design. *International Journal of Man-Machine Studies*, 33, 279-304.
- Guindon, R. (1990 b). Designing the design process; Exploiting opportunistic thoughts. *Human-Computer Interaction*, 5, 305-344.
- Hacker, W. (2010). *Fachübergreifende Unterstützung des konstruktiven Entwerfens. Sitzungsberichte der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Technikwissenschaftliche Klasse*, 3 (3). Leipzig: Hirzel.
- Hacker, W. & Loebmann, P. (1991). Lohnen Hilfen für Zielsetzungs- und Zielverfolgungsvorgänge bei komplexen Aufgaben? Eine Interventionsstudie. In K. Grawe, R. Hänni, N. Semmer & F. Tschann (Hrsg.), *Über die richtige Art, Psychologie zu betreiben* (S. 299-314). Göttingen: Hogrefe.
- Hacker, W., Winkelmann, C. & Stelzer, R. (2009). Zur Ausbildung von Ingenieuren: Fachunspezifische Unterstützung des konstruktiven Entwerfens. In W. Hacker (Hrsg.), *Fortschritts-Berichte 196, Reihe 16*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Heisig, B. (1996). *Planen und Selbstregulation: Struktur und Eigenständigkeit der Konstrukte sowie individuelle Differenzen*. Frankfurt/M.: Peter Lang.
- Hinsch, M., Heller, J. E. & Feldhusen, J. (2012). Menschliche Einflussfaktoren in der Produktentwicklung besser berücksichtigen – für eine nachhaltigere Konstruktionsmethodik. In GfA, *Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme*. Bericht zum 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2012 (S. 611-614). Dortmund: GfA Press.
- Hodgkinson, G. P. & Sadler-Smith, E. (2011). Investigating intuition: beyond self-report. In M. Sinclair (ed.), *Handbook of Intuition Research* (pp. 52-66), Edward Elgar: Cheltenham.
- Hollnagel, E. (2001). Extended Cognition and the Future of Ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2 (3), 309-315.
- Jahn, F. (2002). Die Konstruktionslandkarte – Ein Hilfsmittel des Wissensmanagements für das Analysieren, Bewerten und Planen des Konstruierens. In W. Hacker (Hrsg.), *Denken in der Produktentwicklung* (S. 105-110). Zürich: Verlag der Fachvereine (vdf) und Stuttgart: Hampp-Verlag.
- Krause, W. (2000). *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Göttingen: Hogrefe.
- Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden* (3., korr. Aufl.). Berlin: Springer
- Melzer, M. & Hacker, W. (2015). How do generic cognitive strategies effect proceeding in freshmen's engineering design? Results of a pilot study in engineering design education. *Journal of Design Research*, 13 (1), 55-77.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. H. (2007). *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Berlin: Springer.
- Pascha, A., Schöppe, B. & Hacker, W. (2001). Was macht Planen kompliziert? Zum Einfluss von Aufgabenmerkmalen auf die Schwierigkeit von Abfolgeplanung. *Zeitschrift für Psychologie*, 209, 245-276.
- Radcliffe, D. F. (1998). Event scales and social dimensions in design practice. In H. Birkhofer, P. Badke-Schaub & E. Frankenberger (eds.), *Designers - the Key to Successful Product Development* (pp. 217-232). London: Springer.
- Reimann, R. & Dörner, D. (2004). Die Auswirkung von selbstadressierten Fragen auf die Entwurfsqualität beim Konstruieren: Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Psychologie*, 212 (1), 1-9.
- Sachse, P. (1995). *Entwicklung und Bewertung einer computergestützten Entscheidungshilfe*. Frankfurt: Peter Lang.
- Sachse, P. (2002). *Idea materialis: Entwurfsdenken und Darstellungshandeln. Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Skizzieren und Modellieren*. Berlin: Logos.
- Sachse, P. & Hacker, W. (2011). External Procedures in Design Problem Solving by Experienced Engineering Designers - Methods and Purposes. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1-12.
- Sachse, P., Hacker, W. & Leinert, S. (2004). External thought - Does sketching assist problem analysis? *Applied Cognitive Psychology*, 18, 415-425.
- Schraagen, J. M., Militello, L. G., Ormerod, T. & Lipshitz, R. (2008). *Naturalistic Decision Making and Macro-cognition*. Aldershot: Ashgate Publ. Ltd.
- Ullman, D. G., Dieterich, T. G. & Stauffer, L. (1988). A model of the mechanical design process based on empirical data. *Artificial Intelligence in Engineering Design and Manufacturing*, 2 (1), 33-52.
- VDI 2221 (1995). *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Weißhahn, G. & Rönsch, T. (2002). Unterstützung von Entscheidungen - computergestützte Entscheidungssysteme warum und wie? In W. Hacker (Hrsg.), *Denken in der Produktentwicklung. Psychologische Unterstützung der frühen Phasen* (S. 111-128). Zürich: vdf Hochschulverlag AG & Rainer Hampp.

- Wetzstein, A. & Hacker, W. (2004). Reflective Verbalization improves solutions: The effects of question-based reflection in design problem solving. *Applied Cognitive Psychology, 18* (2), 145-156.
- Wiener, E., Kanki, B. & Helmreich, R. (1995). *Cockpit Resource Management*. San Diego - CA: Academic Press.
- Winkelmann, C. (2005). *Die Fragetechnik für den Konstrukteur: Eine fragenbasierte Unterstützung der frühen Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses*. Regensburg: Roderer Verlag.
- Winkelmann, C. & Hacker, W. (2006). Erklärungsansätze für die Wirkung einer Frage-Antwort-Technik zur Unterstützung beim Design Problem Solving. *Zeitschrift für Psychologie, 214* (2), 75-86.
- Winkelmann, C. & Hacker, W. (2010). Question-answering-technique to support freshman and senior engineers in processes of engineering design. *International Journal of Technology and Design Education, 20*, 305-315.
- Winkelmann, C. & Hacker, W. (2011). Generic non-technical procedures in design problem solving: Is there any benefit to the clarification of task requirements? *International Journal of Technology and Design Education, 21*, 395-407.
- Yilmaz, S., Daly, S. R., Seifert, C. M. & Gonzalez, R. (2011). A Comparison of Cognitive Heuristics Use between Engineers and Industrial Designers. In J. S. Gero (ed.), *Design Computing and Cognition, 10* (pp. 3-22). Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V.
- Yilmaz, S., Seifert, C. M. & Gonzalez, R. (2011). Design Heuristics: Cognitive Strategies for Creativity in Idea Generation. In J. S. Gero (ed.), *Design Computing and Cognition, 10* (pp. 35-54). Springer Science.

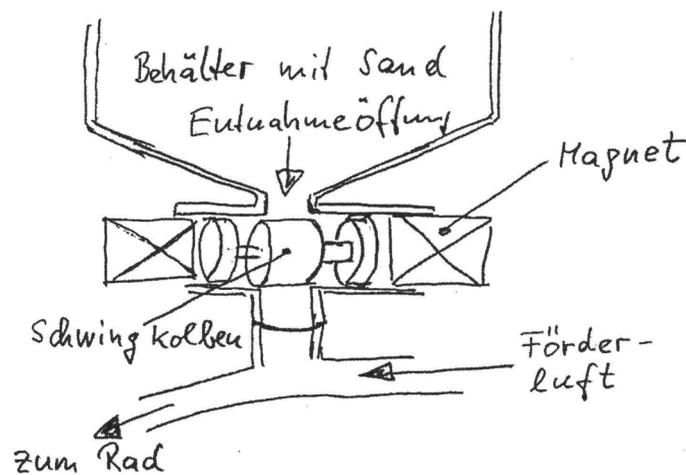
Korrespondenz-Adresse
Sen.-Prof. Dr. Dr. h.c. Winfried Hacker
TU Dresden/Psychologie
D-01062 Dresden
hacker@psychologie.tu-dresden.de

Anhang

A) Lösungsvarianten (zur Illustration nur Variante 1)

Lösungsvorschlag: Schwingkolben und Förderung im Luftstrom

- Der Sandvorrat wird im Kofferraum in einem radähnlich geformten Behälter in der Ersatzradmulde mitgeführt.
- Im Behälter rieselt der Sand zum tiefsten Punkt, wo sich die Entnahmeöffnung befindet. Das wird durch einen geneigten Boden im Behälter erreicht.
- Die Dosierung und Entnahme erfolgt durch einen Schwingkolben (s. Bild). Der Kolben ist in Achsrichtung verschiebbar in einer rohrähnlichen Führung. Der Weg des Kolbens ist durch Elektromagnete begrenzt, die das Führungsrohr an beiden Seiten verschließen.



- Das zylindrische Mittelteil des Kolbens verschließt bei Nichtbenutzung die Entnahmeöffnung des Behälters. Soll gestreut werden, bewegen die Elektromagnete den Kolben abwechselnd schlagartig an die seitlichen Begrenzungen. Dadurch wird jeweils die Entnahmeöffnung freigegeben und Sand rieselt aus dem Behälter. Gleichzeitig erfolgt durch das Auftreffen des Kolbens auf die Magnete eine leichte Erschütterung im Behälter. Damit lassen sich Verstopfungen vermeiden und das Nachrieseln wird befördert. Die Sandmenge kann durch die Zykluszeiten der Magneten gesteuert werden.
- Nach dem Durchlaufen des Dosiersystems fällt der Sand in den Luftförderstrom, der von einem Gebläse mit hohem Förderstrom erzeugt wird und den Sand durch Kunststoffrohre zu den Austrittsöffnungen im Radhaus befördert.
- Die Rohre werden mit großen Krümmungsradien im Fahrzeug geführt, die Austrittsöffnung liegt nahe der unteren Radhauskante in Fahrtrichtung vor dem Rad. Das Verschmutzen der Öffnung wird durch ein Abdeckblech verhindert. Dieses fängt den tangential vom Rad geschleuderten Schmutz und Matsch ab.

B) Unterstützungsmodule

Basis-Modul „Gesamtverfahren“

- a) *Ermitteln Sie, welche technischen Eigenschaften der Lösungsvarianten die Anforderungen des Pflichtenhefts erfüllen.*

Dazu sind neben den ausformulierten Anforderungen verdeckte Anforderungen und Anforderungen, die aus anderen folgen, zu beachten. Unerlässliche Forderungen sind von Wünschen zu unterscheiden. Aus umgangssprachlichen Anforderungen (z. B. „sparsam“) sind technische abzuleiten.

→ SIEHE DAZU Modul „Anforderungskklärung“!

b) *Begründen Sie die Vor- und Nachteile der Lösungsvarianten schriftlich (Stichworte).*

- Beginnen Sie mit den unerlässlichen Forderungen
- Setzen Sie – im Falle ihrer Erfüllung – fort mit den Wünschen (möglichst in der Reihenfolge ihrer Bedeutung).

c) *Bewerten Sie die Lösungsvarianten und wählen Sie die aus, die die Anforderungen des Auftrags am besten erfüllt.*

→ SIEHE DAZU Modul „Entscheidungsunterstützung“!

Bevor Sie abschließen:

d) *Sehen Sie Verbesserungsmöglichkeiten, die Ihre Wahl verändern könnten?*

- Was müsste an der gewählten (bzw. einer anderen) Variante noch verbessert werden, um eine „ideale“ Lösung zu erreichen?
- Ist das veränderbar?
- Wie?
- Machen Sie einen groben Vorschlag.

Modul Anforderungsklä rung

Eine unvollständige Anforderungserklärung führt zu unvollständigen Lösungen.

Dokumentieren Sie fortlaufend das Ableiten der Anforderungsliste und die Begründungen für die dabei getroffenen Entscheidungen sowie die abschließend entstandene Anforderungsliste (= Pflichtenheft).

Diese Liste wird auch benötigt für das Bewerten der verschiedenen Lösungsalternativen und die Auswahl der besten.

A. *Prüfen Sie die Vollständigkeit der Anforderungserfassung*

1. Welche Forderungen an das Produkt und seine Teilfunktionen stellt der Auftrag?
2. Welche stillschweigend vorausgesetzten Forderungen sind im Auftrag enthalten, insbes.
 - bei Bezug auf Markttrends?
 - bezüglich des Produkts und der Zukaufteile?
 - bei Bezug auf (zu ermittelnde) Nutzerinteressen?
 - bei Bezug auf Standardlösungen für Module oder Bauteile?
 - bei Bezug auf den Produktlebenszyklus (also Fertigen, Montieren, Transportieren, Warten/Instandhalten, Demontieren/Wiederverwerten)?
 - bei Bezug auf Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie andere rechtliche Forderungen und internationale bzw. nationale Standards/Normen?
3. Welche Beziehungen (Abhängigkeiten, Verknüpfungen, Widersprüche) bestehen zwischen welchen Forderungen?
4. Ergeben sich aus diesen Beziehungen Veränderungen von Forderungen oder sogar neue Forderungen?
Nutzen Sie als Hilfsmittel eine Verknüpfungsmatrix!

Kennzeichnen Sie in dieser zuerst Beziehungen zwischen den verschiedenen Forderungen! (vgl. Abb. 1) Überlegen Sie danach, ob eventuell existierende Beziehungen („1“) eine Forderung verändern oder gar eine weitere Forderung erzeugen.

Forderung	a	b	c	x	...
a		0	1	0	
b			1	0	
c				1	
x					
...					

Abbildung 1: Verknüpfungsmatrix (0 bedeutet keine Beziehung, 1 bedeutet Beziehung vorhanden).

5. Wie sind die (teilweise umgangssprachlichen) Forderungen (bspw. „billiger als Konkurrenzprodukt“, „lärmedämpft etc.“) durch technische Anforderungen an das Produkt zu erfüllen?

Erstellen Sie erforderlichenfalls eine Liste von „Übersetzungen“ der allgemein formulierten Forderungen in technische Forderungen an das Produkt! Beachten Sie dabei auch Anforderungen, die das Pflichtenheft evtl. nicht erwähnt, die aber technisch wesentlich sein können (z. B. zu erwartendes Schwingungsverhalten; wahrscheinliche Steifigkeit; vermutlicher Fertigungsaufwand usw.). (Auf Berechnungen und Versuche muss hier verzichtet werden).

6. Welche Mehrfachnennungen von technischen Forderungen gibt es?

Bereinigen Sie diese!

7. Prüfen Sie, ob die technischen Anforderungen einander beeinflussen:
Welche technischen Anforderungen/Zielmerkmale

- unterstützen einander,
- widersprechen einander,
- schließen sich völlig aus?

Stellen Sie erforderlichenfalls wieder eine Verknüpfungsmatrix auf. Im Falle widersprechender oder ausschließender Merkmale sind Lösungen zu suchen.

8. Wie können die technischen Anforderungen (Zielmerkmale) nach Funktionsbereichen (bspw. stofflich-räumlich, energetisch, informationell) gruppiert werden?

B. Klären Sie die Wichtigkeit der Anforderungen

9. Welche Anforderungen sind Forderungen, die unbedingt erfüllt sein müssen, und welche sind Wünsche?

Ist in einer Lösungsvariante eine Forderung nicht erfüllt, muss diese Variante entfallen!

10. Wie wichtig sind verschiedene Wünsche?

Gewichten Sie diese (z. B. groß, weil leistungsbestimmend in der Mehrzahl der Produktlebensphasen; gering, weil zusätzlichen Komfort betreffend oder weil nur in einer oder wenigen Lebensphasen wirksam etc.)!

Erstellen Sie eine abschließende Liste der gruppierten und gewichteten technischen Einzelforderungen!

Setzen Sie die Arbeit im Basismodul fort!

Modul Entscheidungsunterstützung

Entscheiden benötigt ein Hilfsmittel, weil man nicht „im Kopf“ mehrere Lösungsalternativen vergleichen kann, die sich in einigen Merkmalen unterscheiden.

Ein bekanntes Hilfsmittel ist eine Entscheidungsmatrix, die den Lösungsvarianten A, B, C etc. die technischen Forderungen zuordnet und dabei deren unterschiedliche Bedeutung beachtet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Prinzipaufbau einer Entscheidungsmatrix.

Forderungen	Lösungsvarianten			
	A	B	C	...
unerlässliche Forderungen (MIT Ausschlussmerkmal)				
1	1	1	1	Ausschlussmerkmal liegt vor: 0 liegt nicht vor: 1
2	1	0	1	
Wünsche (OHNE Ausschlussmerkmal)				⇨ hier sind später die Bewertungen einzutragen (siehe Tabelle 4)
1				
2				
3				
...				
		Variante entfällt		

Ist eine unerlässliche Forderung nicht erfüllt, so ist das ein Ausschlussmerkmal und diese Variante (hier B) entfällt für die weitere Bearbeitung.

Zwischen den verbleibenden Varianten (hier A und C) muss entschieden werden unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bedeutung (Gewichtung) der Wünsche. Dazu sind drei Arbeitsschritte erforderlich:

1. Das Ermitteln der Gewichte der Wünsche (Gewichtskoeffizienten),
2. das Feststellen der Erfüllung jedes Wunsches bei den verbliebenen Varianten (Auswahlkoeffizienten) und
3. das Auswählen der geeignetsten Variante mittels Kombination der Gewichtung jedes Wunsches mit dem Ausmaß seiner Erfüllung.

1. Arbeitsschritt: „Ermitteln der Bedeutungen („Gewichtung“) der Wünsche“

Je nach der Bedeutung der Wünsche wird eine andere Lösungsvariante bevorzugt.

Am einfachsten ist die sogenannte „Binär-Bewertung“. Bei der Binärbewertung wird jeder Wunsch mit jedem anderen danach verglichen, welcher wichtiger ist. Der wichtigere wird mit 1, der unwichtigere mit 0 kodiert. Das wird tabellarisch wie folgt erfasst (in Tabelle 2 für acht Wünsche aus einem anderen Arbeitsfeld illustriert):

Tabelle 2: Binäre Bewertung der Bedeutung von Wünschen durch Paarvergleiche.

Wünsche	Einzelwahlen 12345678	Summe der "Wichtiger" - Einstufungen (d. h. "1")	Gewichtskoeffizienten (Zeilensumme dividiert durch Spaltensumme)
1. Herstellungskosten	-1111111	7	0.25
2. Freisetzung von Personal	0-111101	5	0.18
3. Umweltbelastung	00-11101	4	0.14
4. Krankenstand	000-1001	2	0.07
5. Nacharbeitskosten	0000-000	0	0.00
6. Typenflexibilität	00011-00	2	0.07
7. Möglk. zu Höherqualifizierung des Personals	011111-1	6	0.21
8. Arbeitszufriedenheit des Personals	0000110-	2	0.07
	Gesamtsumme:	28	1.00

Erläuterung:

In der Kopfzeile der zweiten Tabellenspalte sind die Wünsche aus der ersten verkürzt durch die Ziffern 1 ... 8 aufgeschrieben. Man sieht: Die Herstellungskosten (Zeile 1) wurden hier als „wichtiger“ als alle anderen sieben Wünsche beurteilt. Es gibt also sieben „wichtiger“-Einstufungen. Die Gewichtskoeffizienten entstehen bei der Division der „wichtiger“-Summe der Zeile durch die Gesamtsumme aller „wichtiger“-Einstufungen (also $7:28 = 0,25$) etc..

2. Arbeitsschritt: „Ermitteln der Erfüllung jedes Wunschs“

Bei den verbliebenen Lösungsvarianten (A und C) können die verschiedenen Merkmale (c, d, e) in unterschiedlichem Maße erfüllt sein. Das ist zu ermitteln und ergibt den sogenannten Auswahlkoeffizienten.

Die Erfüllung der Wünsche kann in qualitativen Kategorien (z. B. „gering“ versus „hoch“) und in Maßzahlen (z. B. Stückpreis 15.00 versus 20.00 EUR) ausgedrückt sein.

Unabhängig davon wird jede Lösungsvariante mit jeder anderen verglichen. Dabei erhält jede Verfahrensvariante, die hinsichtlich einer Forderung einer anderen überlegen ist, eine 1, die andere eine 0.

Wären beispielsweise drei Lösungsvarianten A, C, D verblieben, so sei hinsichtlich der Kosten C der Variante A überlegen und erhält deshalb eine 1; A ist schlechter/ungünstiger als C und erhält 0. Weiter ist C günstiger als A sowie C günstiger als D.

Wiederum wird die Summe der „Besser“-Einstufungen, (also der Ziffer 1), für jede Variante gebildet und durch die Variantenanzahl (im Beispiel also 3) geteilt. Der Auswahlkoeffizient kann im Beispiel also 0.00, 0.33 oder 0.67 betragen.

Tabelle 3: Ermittlung der Erfüllung der Wünsche (Auswahlkoeffizienten) durch binärer Bewertung.

Varianten	Weitere Forderungen	Einzelvergleiche	Zahl der Bessereinstufungen	Auswahlkoeffizient
A	Herstellungskosten	AC:0 AD:0	0	0.00
C		CA:1 CD:1	2	0.67
D		DA:1 DC:0	1	0.33
A	Freisetzung von Personal	AC:1 AD:1	2	0.67
C		CA:0 CD:1	1	0.33
D		DA:0 DC:0	0	0.00
A	Umweltbelastung	AC:0 AD:0	0	0.00
C		CA:1 CD:0	1	0.33
D		DA:1 DC:1	2	0.67
A	Krankenstand	AC:1 AD:1	2	0.67
C		CA:0 CD:0	0	0.00
D		DA:0 DC:1	1	0.33
A	Nacharbeitskosten	AC:1 AD:1	2	0.67
C		CA:0 CD:1	1	0.33
D		DA:0 DC:0	0	0.00
A	Typenflexibilität	AC:1 AD:1	2	0.67
C		CA:0 CD:0	0	0.00
D		DA:0 DC:1	1	0.33
A	Möglichkeit zu Höherqualifizierung des Personals	AC:0 AD:0	0	0.00
C		CA:1 CD:0	1	0.33
D		DA:1 DC:1	2	0.67
A	Arbeitszufriedenheit des Personals	AC:1 AD:1	2	0.67
C		CA:0 CD:0	0	0.00
D		DA:0 DC:1	1	0.33

! Anmerkung: AC:0 lies "Variante A schlechter als C"!
! CA:1 lies "Variante C besser als A"!

3. Arbeitsschritt: „Auswählen der besten Variante“

Die beste Variante ergibt sich aus der Kombination der Gewichts- mit den Auswahlkoeffizienten.

Die Auswahlkoeffizienten (A) werden mit den Gewichtskoeffizienten (G) multipliziert und diese Produkte summiert. Den Summen werden Ränge zugeordnet, der größten Summe der Rang 1.

- Durch die Rangzuordnung wird die teilweise nicht-metrische Datengrundlage mathematisch korrekt berücksichtigt.

Das Vorgehen veranschaulicht Tabelle 4:

Tabelle 4: Ermittlung der günstigsten Lösungsvariante unter Berücksichtigung der Bedeutung der Wünsche und ihrer Erfüllung.

Forderungen und Wünsche		Lösungsvarianten							
		A		B		C		D	
unerlässliche Forderungen (gegebenenfalls MIT Ausschlussmerkmal)									
a		1		1		1		1	
b		1		0		1		1	
	Gewicht (G)	Auswahlkoeffizient (A)				A		A	
			GxA			GxA		GxA	
Wünsche (OHNE Ausschlussmerkmal)				X					
1. Herstellungskosten	0.25	0.00	0.00			0.67	0.17	0.33	0.08
2. Freisetzung von Personal	0.18	0.67	0.12			0.33	0.06	0.00	0.00
3. Umweltbelastung	0.14	0.00	0.00			0.33	0.05	0.67	0.09
4. Krankenstand	0.07	0.67	0.05			0.00	0.00	0.33	0.02
5. Nacharbeitskosten	0.00	0.67	0.00			0.33	0.00	0.00	0.00
6. Typenflexibilität	0.07	0.67	0.05			0.00	0.00	0.33	0.02
7. Möglk. zu Höherqualifizierung des Personals	0.21	0.00	0.00			0.33	0.07	0.67	0.14
8. Arbeitszufriedenheit des Personals	0.07	0.67	0.05			0.00	0.00	0.33	0.02
Summen		0.27		Ausschluss		0.35		0.37	
Ränge		3		-		2		1	

Abschließende Interpretation

Die Variante mit Rang 1 muss keineswegs alle Forderungen bestmöglich erfüllen. Sie ist lediglich das „beste“ Lösungskonzept innerhalb der verglichenen Konzepte. Deshalb ist vor dem Ausarbeiten dieser Variante nach weiteren Verbesserungsmöglichkeiten zu suchen! Gehen Sie dazu zum Basismodul zurück.