Unterstützung der Ausbildung im Design Problem Solving[1]

Uwe Debitz, Winfried Hacker & Constance Winkelmann

Technische Universität Dresden

Zusammenfassung

Es wird untersucht, ob fachunspezifische (generische) Vorgehensweisen auch beim Erlernen der kooperativen Produktentwicklung (design problem solving) Unterstützung bieten. In einer Studie mit insgesamt 238 Maschinenbau-Studierenden im Hauptstudium wurden im Versuchs-/Kontrollgruppendesign generische Vorgehensweisen zur Unterstützung der frühen Phasen des schöpferischen Entwurfsproblemlösens beim erstmaligen Entwerfen eines technischen Produkts angeboten.

Das erläuterte Angebot von Handreichungen zu generischen Vorgehensweisen beim Bearbeiten komplexer Entwurfsprobleme ohne Anwendungszwang und -kontrolle führt – in Vergleich zu fehlendem Angebot – zu keiner signifikant höheren Güte der Entwürfe der studentischen Arbeitsgruppen, zu nur marginal umfangreicherem ausgesagtem Wissen um Vorgehensweisen, aber zu signifikant besser ausgesagtem Vorgehen in mehreren Aspekten des Entwerfens. Ein effizienteres obligatorisches Vermitteln generischer Vorgehensweisen als Bestandteil der technischen Ausbildung wird vorgeschlagen.

Schlüsselwörter

Design problem solving – Ingenieurausbildung – fachunspezifische (generische) Vorgehensweisen

Abstract

The supportive effects of generic cognitive skills respectively procedures in the acquisition of cooperative design problem solving are investigated. 238 students of engineering design who prepared a technical draft for the first time volunteered in the study with a test-/control-group design. The test group received handouts on generic procedures in design problem solving with short verbal explanations. The offer of these explained handouts did not result in a significantly better quality of the technical drafts in comparison with the control group; it produced only marginal better reported knowledge on relevant generic procedures, but significantly better reported procedures in several aspects of design problem solving. A more efficient mandatory teaching of generic procedures as a component of the technical design education is proposed.

Keywords

design problem solving – design education – generic skills

[1] gefördert von der VW-Stiftung

1 Einleitung

Nach Angaben des Verbandes Deutscher Ingenieure fehlten 2008 in Deutschland ca. 63.800 Ingenieure (Erdmann & Koppel, 2009). Das führte zu einem Wertschöpfungsverlust von ca. 6,6 Mrd. Euro. In der ein Jahr zuvor durchgeführten VDI/IW-Studie wurden die Unternehmen u. a. nach politischen Maßnahmen gegen den Ingenieurmangel befragt. Die darin geforderte Stärkung des technisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts, die fast 75 Prozent Zustimmung aus der Praxis fand, ist bislang jedoch nicht erfolgt.

Angesichts der ausschlaggebenden Rolle des Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbaus sowie der Verfahrens- und Informationstechnik für den Wirtschaftstandort Deutschland sowie angesichts des hohen Bedarfs an Produkt- und Prozessinnovationen (Frey, Brodbeck & Schultz-Hardt, 1999) ist ein Mangel an gut ausgebildeten Ingenieuren ein schwerwiegendes volkswirtschaftliches Defizit. Der Umsatzanteil von Marktneuheiten beeinflusst die Umsatzrendite von Unternehmen besonders stark (Bruhn, 2002).

Die Arbeit der Ingenieure ist typischerweise durch eine hohe Komplexität der Aufgaben (Pahl et al., 2007; Wallmeier & Birkhofer, 2000), hohe Arbeitsteilung und damit verbundenen, interdisziplinären Kommunikation und Kooperation gekennzeichnet (Badke-Schaub et al., 2007; Saifoulline et al., 2009). Fachübergreifende Unterstützungsmöglichkeiten des individuellen und kooperativen Entwurfsproblemlösens in der Aus- und Weiterbildung können Ingenieure beim Bewältigen dieser Arbeitsbedingungen unterstützen (Lindemann & Baumberger, 2004; Lovelace, Chapiro & Weingart, 2001). Die Anwendung und Umsetzung dieser Unterstützungsmöglichkeiten werden in der Praxis jedoch sehr heterogen gehandhabt (Bender, 2004). Das gilt auch unabhängig von der jeweiligen Arbeitsmarktlage. Sogar bei einem Überschuss von Ingenieuren am zyklischen Arbeitsmarkt dürfte das Beherrschen auch fachübergreifender Befähigungen besonders bedeutsam bleiben.

Mit der Studie wird das Ziel verfolgt, die entscheidenden frühen Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses mit fachunspezifischen Vorgehensweisen zu unterstützen. Für komplexe Alltagstätigkeiten mit problemlösenden Anteilen ist neben fachspezifischem auch fachunspezifisches generisches Können unerlässlich. Darauf wurde u.a. bei der Flugzeugführung (z.B. Wiener, Kanki & Helmreich, 1993), später bei Anästhesisten (z.B. Yule, Paterson-Brown & Moran, 2006) aufmerksam gemacht. Beispielsweise für Anästhesisten wurde ein System generischer Befähigungen entwickelt (Anesthesists`non technical skills, ANTS) mit den Bereichen Aufgabenmanagement, Situationsbewusstheit (situation awareness), rationales Entscheiden und effektive Teamarbeit (bspw. Fletcher, Flin, Mc George, Clavin, Maram & Patey, 2004; Yule, Paterson-Brown & Moran, 2006).

Zu diesen fachunspezifischen Befähigungen gehören sowohl Fertigkeiten als auch komplexe Vorgehensweisen (Strategien) und Fähigkeiten für individuelles und kooperatives Lösen von Problemen (Fletcher et al., 2004; Strohschneider, 2008), insbesondere

- das Erfassen, Verstehen und Verarbeiten der handlungsrelevanten Informationen (Erzeugen von situation awareness) u.a. mit dem Entlasten des Arbeitsgedächtnisses als Nadelöhr der Informationsverarbeitung (z.B. Sträter, 2009);
- Strategien des Identifizierens auch impliziter Anforderungen an das zu entwerfende Ergebnis bzw. das zu lösende Problem (z.B. Winkelmann & Hacker, 2010);
- Strategien, die das Problemlösen unterstützen u.a. im Sinne des „externen Denkens“ (externalising; Bilda, Gero & Purcell, 2006);
- Planen von Arbeitsschritten mit dem Berücksichtigen von Ausführungsbedingungen und Abfolgen (Guindon, 1990);
- Bewerten von Teilergebnissen anhand der Anforderungen an das Produkt sowie Entscheiden zwischen Lösungsalternativen mit zahlreichen und unterschiedlich wichtigen Eigenschaften (z.B. Tversky & Kahneman, 1974);
- Organisieren von Teamarbeit so, dass die Teamleistung besser als die beste Einzelleistung sein kann (z.B. Diehl & Stroebe, 1991).

Die Bedeutung fachunspezifischer Befähigungen für das Entwurfsproblemlösen beim Entwerfen technischer Gebilde ist mit Ausnahme des „externen Denkens“ wenig untersucht. Neuere Lehrbücher zum konstruktiven Entwerfen (Ehrlenspiel, 2007; Lindemann, 2009) integrieren zwar Empfehlungen zu fachunspezifischen Vorgehensweisen, jedoch fehlen unseres Wissens vergleichende Untersuchungen zum Nutzen des Vermittelns dieser Vorgehensweisen in der konstruktionsmethodischen Ausbildung von Ingenieurstudenten.
Dazu soll diese Studie beitragen.

2 Fragestellungen und Hypothesen

Folgende Fragestellungen werden untersucht:

1. Was wissen Studierende technischer Fachrichtungen einer Universität über kognitive und soziale Organisationsprinzipien effektiver kooperativer Entwurfsarbeit?
   Aus der Alltagserfahrung, der Gymnasialbildung sowie den bereits absolvierten Teilen der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung können Vor-

gehensweisen produktiver geistiger Arbeit bekannt sein, ohne jedoch bereits soweit psychisch automatisiert zu sein, dass sie implizites Wissen geworden und daher nicht mehr ohne Weiteres erfragbar sind. Wir erwarten jedoch Lücken im ausgesagten Wissen um kognitive und soziale Organisationsprinzipien kooperativer technischer Entwurfsarbeit.

2. Führt das erläuterte Übergeben von Handreichungen über fachunspezifische Vorgehensweisen (vgl. 3.3) zu zusätzlichem handlungsleitendem Wissen für die frühen Phasen des Entwurfsproblemlösens?
3. Steht ggf. dieses zusätzliche Wissen in Beziehung zu höherer Lösungsgüte der im Verlaufe des Semesters zu bearbeitenden Entwurfsaufgaben?

Von zusätzlichem handlungsleitendem Wissen wird gesprochen, weil die Übergabe der Handreichungen (Module) zusätzlich zur konstruktionsmethodischen Vorlesung und zu den Begleitseminaren sowie zu den Konsultationen erfolgt.

Die folgenden Hypothesen betreffen die Fragen (2) und (3).
Wir erwarten:
Hypothese 1: Sowohl die Interventionsgruppe (Einführung in und Übergabe der Module) als auch die Interventionsgruppe B (Module wurden nicht übergeben) verbessern sich signifikant mit geringer Effektstärke in dem Wissen um nicht-technische Vorgehensweisen, das die Unterstützungsmodule anbieten.

Bei beiden Gruppen wird ein signifikanter Wissenszuwachs bezüglich nicht-technischen Vorgehensweisen mit geringer Effektstärke erwartet. Auch die Mitglieder der Interventionsgruppe B erhalten in der für alle offenen konstruktionsmethodischen Vorlesung Informationen über die Themengebiete der Intervention und durch einige Fragen in den zur bearbeitenden Konstruktionsaufgabe geforderten Protokollen wird wie in Interventionsgruppe A eine Auseinandersetzung mit ausgewählten fachübergreifenden Vorgehensweisen angeregt. Die Mitglieder der Interventionsgruppe erhalten zusätzlich die Module. Ein inhaltlicher Austausch zwischen den Gruppen ist wahrscheinlich. Gerade das Vorenthalten von Information macht diese begehrenswert.

Des Weiteren wird in der konstruktionsmethodischen Vorlesung und in dem Begleitseminar hierzu umfangreiches Wissen vermittelt, darunter teilweise auch Wissen mit mehr oder weniger deutlicher Beziehung zu den nicht-technischen Wissensbereichen. Die übergebenen Module können damit – auch im Falle ihrer eingehenden Nutzung – nur eine weitere Verbesserung des generellen Lernprozesses bewirken.

Es wurde nicht angestrebt, das Berücksichtigen der Zusatzinformation in den Lehrveranstaltungen für die Studierenden beider Gruppen zu verhindern. Die Inhalte der Module wurden gemeinsam mit den Lehrkräften erarbeitet, die diese Lehrveranstaltungen realisieren. Untersuchungsmethodisch liegt also ein Design mit zwei Stufen einer Intervention zu identischen Inhalten vor (vgl. Methodenabschnitt).

Hypothese 2: Der Wissenszuwachs bezüglich der Inhalte der Module ist in den Teams der Interventionsgruppe nur tendenziell, aber nicht signifikant größer als in denen der Interventionsgruppe B, welcher die Module nicht übergeben wurden.

Die Begründungen für diese fehlenden signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen liegen in den schwachen Unterschieden der Interventionen sowie einem weiteren methodischen Effekt in Analogie zum Grenznutzenkonzept. Er betrifft den Sachverhalt, dass in der konstruktionsmethodischen Vorlesung und dem Begleitseminar zur Entwurfsbearbeitung auch nicht-technische Vorgehensweisen mehr oder weniger deutlich angesprochen werden und Zusatzmaßnahmen nur begrenzte Verbesserungen ermöglichen.

Vor allem kann in dieser Untersuchung im natürlichen Lern- und Arbeitsprozess der Einsatz der Module – im Unterschied zu Laborexperimenten – weder erzwungen noch exakt kontrolliert werden. Er ist freigestellt.

Hypothese 3: Die am Ende der Untersuchungsperiode ausgesagten nicht-technischen Vorgehensweisen der Studierenden der beiden Gruppen unterscheiden sich marginal zugunsten der Gruppe mit Unterstützungsmodulen. Bei beiden liegen noch Defizite in nicht-technischen Vorgehensbereichen vor.

Diese Erwartung ist wie beim Wissenszuwachs generell mit dem geringen Übungsanteil und der Unverbindlichkeit der zusätzlichen nicht-technischen Lernziele begründet.

Hypothese 4: Da keine effektstarken Unterschiede im nicht-technischen Handlungswissen sowie im Vorgehen erwartet werden, wird auch kein signifikanter Unterschied in der Ergebnisqualität (Lösungsgüte) zwischen Interventionsgruppe A mit Modulübergabe und Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe erwartet.

Frühere Felduntersuchungen (Beitz et al., 1997) ergaben analog, dass in einer besonders eingehenden konstruktionsmethodischen Ausbildung von Maschinenbaustudenten nicht nur keine bessere, sondern tendenziell eine schlechtere Lösungsgüte entsteht als ohne diese. Das wurde mit einem Zielkonflikt und der Doppelbelastung der Mentalkapazität durch das Erlernen des Lösens der Konstruktionsaufgaben und das explizite Erlernen einer differenzierten Methodik be-

gründet (Beitz et al., 1997, S. 18). Ein Gewinn wird erst langfristig erwartet.

Hypothese 5: Probandengruppen mit hoher versus niedriger Ergebnisqualität (Lösungsgüte) unterscheiden sich im ausgesagten modulbezogenen Wissen über nicht-technische Vorgehensweisen am Ende der Untersuchungsperiode zu Gunsten der Gruppen mit besserer Ergebnisqualität.

3 Methoden

3.1 Stichprobe

An dieser Untersuchung nahmen insgesamt 238 im Hauptstudium befindliche Maschinenbau-Studierende der Technischen Universität Dresden freiwillig teil. Diese Stichprobe umfasst alle Teilnehmer der konstruktionsmethodischen Vorlesung sowie des dazugehörigen Begleitseminars, die einer Interventionsgruppe A (mit Modulübergabe) und einer Interventionsgruppe B (ohne Modulübergabe) per Zufall zugeordnet wurden. Vollständige Datensätze in Bezug auf die durchgeführte Wissensbefragung, die sowohl Mitglieder der Interventionsgruppe A als auch der Interventionsgruppe B durchgeführt haben, liegen von 92 Studierenden vor. Von dieser Teilstichprobe befanden sich 74% der Studierenden im 5. Semester, 20% im 7. Semester und 6% in höheren Semestern. Das mittlere Alter lag bei 22 Jahren (SD = 1.22). Die Mehrzahl der Studierenden war männlich (86%) und konnte keine Berufsausbildung nachweisen (86%).

3.2 Aufgabenstellungen

Die Untersuchungsteilnehmer der Interventionsgruppe hatten die Aufgabe, im Rahmen des über ein Semester laufenden Begleitseminars zur konstruktionsmethodischen Vorlesung in Kleingruppen von 4-5 Personen einen Brötchenbackautomat oder eine Mülltonnenreinigungsanlage zu entwerfen. Am Ende des Semesters sollte von jeder Gruppe ein Entwurf vorgelegt, in einem Bericht beschrieben und zusätzlich im Seminar präsentiert werden. Die Verteilung der Aufgaben auf die Gruppen erfolgte nach dem Zufallsprinzip.

Aufgabe Brötchen backen:
„Backautomaten zum Brotbacken aus vorbereiteten Backmischungen und Wasser/Milch sind in diversen Ausführungen bekannt und bewährt.
Entwickeln Sie ein haushaltstaugliches Gerät, mit dem die Herstellung von Brötchen aus bereitgestellten Zutaten möglich ist."

Aufgabe Mülltonnen reinigen:
„Häufig setzen sich an und in Abfallbehältern Inhaltsreste und Schmutz aus der Umgebung ab. Diese können zu Belästigungen führen.
Es ist ein Gerät zu entwickeln, mit dem die Reinigung von Abfallbehältern durch Entsorgungsbetriebe oder Dienstleister möglich ist."

Mittels der Anforderungsstrukturanalyse von Schroda (2000) wurden beide Konstruktionsaufgaben als einfache Konstruktionsaufgaben geringerer Komplexität beschrieben (Tab. 1).

3.3 Unabhängige Variable

Die unabhängige Variable bildete das nachfolgend beschriebene Unterstützungspaket (bestehend aus 6 Modulen, vgl. Abbildung 1), das ausschließlich den Teilnehmern der Interventionsgruppe A ausgehändigt wurde sowie Protokollvorlagen, die den Teilnehmern der Interventionsgruppe A und B vorlagen. Der Einsatz des Unterstützungspaketes sollte folgende Voraussetzungen erfüllen: die Module sind aufwandsarm einzu-

Tabelle 1: Anforderungsstruktur der eingesetzten Entwurfsaufgaben (Mittelwerte, Bereich der Merkmalsausprägung: 1-gering bis 5-hoch)

Anforderungsmerkmal	Brötchenbackautomat	Mülltonnenreinigungsanlage
Widersprüchliche Ziele	2,8	2,5
Komplexität	2,7	2,7
Intransparenz	2,8	2,5
Freiheitsgrade	2,4	3,3
Dynamik	1,8	1,8
Erforderliches Wissen	2,5	2,8
Gesamtwert für die Anforderungshöhe des Konstruktionsproblems	2.50	2.60

setzen (Sachse, 2002), sollen die intuitiven Abschnitte nicht stören (Visser, 1994) und auf systematische rationale Evaluationsschritte fokussieren, d.h. eine die Kreativität begünstigende Organisation fördern (Rasmussen, 1987).

Zu den Hilfen gehören sowohl phasenübergreifende als auch phasenbezogene fachunspezifische Vorgehensbefähigungen (vgl. Abb. 1). Die in iterativen Zyklen bearbeiteten Hauptschritte des Entwerfens sind in das VDI-Modell (VDI 2221) und das Task-Episode-Accumulation-Modell (TEA-Modell, Ullman, Dietterich & Stauffer, 1988) eingeordnet. Das TEA-Modell betont hinausgehend über das VDI-Modell den Wechsel zwischen vorwiegend intuitiver Ideenfindung, gestützt auch auf implizites Fakten- und Prozedurenwissen, und der nachfolgenden systematischen rationalen Ideenbewertung.

Die aufeinander abgestimmten Unterstützungsmodule gehen auf Graduierungsarbeiten zurück, die in der Arbeitsgruppe „Wissen-Denken-Handeln“ im Fachbereich Psychologie der TU Dresden entstanden sind (vgl. zusammenfassend Hacker, 2002).

3.3.1 Modul 1: Konstruktionslandkarte

Die Konstruktionslandkarte ist ein Hilfsmittel zum aufwandsarmen Planen und Dokumentieren von Entwurfsprozessen (Jahn, 2002). Sie baut auf der Konstruktionsmethodik von Pahl et al. (2007) auf und berücksichtigt das Münchner Vorgehensmodell (Lindemann, 2009). Die Konstruktionslandkarte ermöglicht

- die einfache Darstellung der Arbeitsschritte beim Entwerfen / Konstruieren / Entwickeln,
- die Abschätzung des Zeitbedarfs und Dokumentation des tatsächlichen Zeitaufwandes,
- die Dokumentation der entwickelten Varianten, Skizzen, Modelle, Dateien etc. sowie
- die kritische Reflexion des Entwicklungsprozesses.

3.3.2 Modul 2: Teamorganisation

Dieses Modul beinhaltet Handlungsempfehlungen zur hybriden Organisation effektiver Gruppenarbeit in der Produktentwicklung. Es zeigt Strategien und Regeln zur Vermeidung von Gruppenverlusten (Stroebe et al., 1992; Stroebe & Diehl, 1994; Tschan & Semmer, 2001, Stempfle & Badke-Schaub, 2002) auf, gibt Empfehlungen zur optimalen Anwendung von Einzelarbeit, Nominal- und Realgruppenarbeit sowie Hinweise zur (gemeinsamen) Entscheidungsfindung.

3.3.3 Modul 3: Anforderungsklärung

Dieses Modul ist eine Hilfe bei der iterativen Zielklärung durch Einzelbearbeiter sowie durch Teams, das neuere Ergebnisse zum Ablauf von Entwurfsprozessen

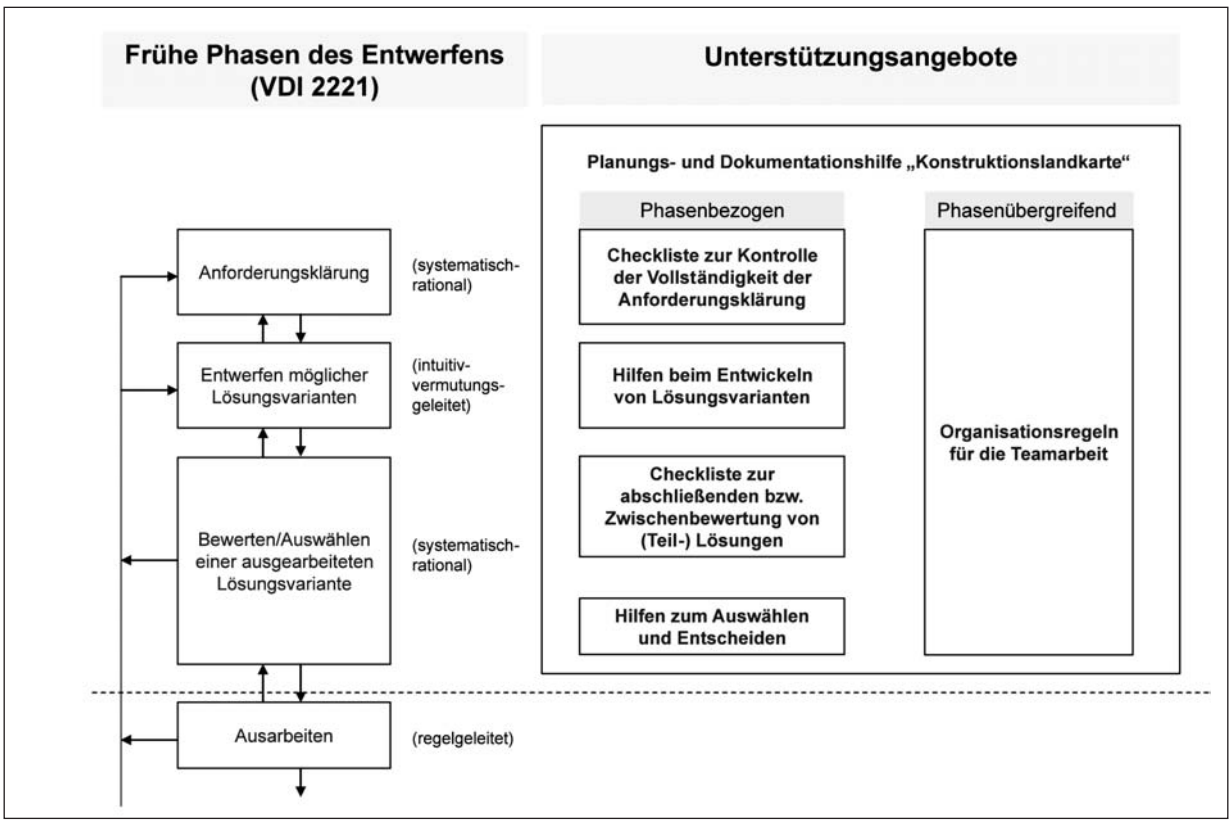

Abbildung 1: Schematische Einordnung der Unterstützungsmodule

(opportunistisches Vorgehen) aufgreift (Winkelmann & Hacker, 2009). Das Modul verwendet Fragewort-Fragen (sog. W-Fragen) mit Bezug zu semantischen Relationen. Das Modul unterstützt

- das Prüfen der Vollständigkeit der Anforderungserfassung,
- das Klären der Wichtigkeit der Anforderungen und das Ermitteln der Anforderungsschwerpunkte,
- das Erstellen einer Funktionsstruktur sowie
- die Dokumentation (Pflichtenheft).

3.3.4 Modul 4: Lösungssuche

Dieses Modul soll zur Nutzung auch des „externen Denkens" (Zusammenfassung in Sachse, 2002; Pache, 2005) bei der Suche nach prinzipiellen Lösungen motivieren (Bilda, Gero & Purcell, 2006; Ehrlenspiel, 2007). Das Modul umfasst

- die Benennung einfacher (low cost) Formen externen Denkens (insbesondere Diskutieren mit Fachkollegen bzw. Kunden / Nutzern; händisches Skizzieren; Impromptu-Modellieren mit Materialien, die zur Hand sind),
- Handlungsempfehlungen zu deren Einsatz.

3.3.5 Modul 5: Lösungsbewertung

Dieses Modul unterstützt die Lösungssuche durch explizite rationale Bewertung der Lösungsvarianten. Das Modul verwendet generische reflexionsauslösende (erinnernde und denkanregende) Fragewort bzw. W-Fragen, die das Bearbeiten der semantischen Relationen anstoßen (Winkelmann & Hacker, 2009) und gibt Handlungs- bzw. Nutzungsempfehlungen.

3.3.6 Modul 6: Entscheidungsunterstützung

Das Modul ist ein Hilfsmittel zur Entscheidungsunterstützung. Es gibt Hinweise auf regelmäßige Entscheidungsdefizite aufgrund der begrenzten Mentalkapazität und zur Motivierung für das Nutzen von Entscheidungshilfen im Bedarfsfall (Sachse, 1995; Weißhahn & Rönsch, 2002). Das Modul lehnt sich an die hierarchische Zielanalyse und die Technik der stufenweisen Bearbeitung von Entscheidungsmatrizen mittels Bewertungen und Gewichtungen von Forderungen und Wünschen an.

3.3.7 Protokolle

Sowohl die Teams der Interventionsgruppe A (mit Modulübergabe) als auch der Interventionsgruppe B (ohne Modulübergabe) wurden gebeten, ein strukturiertes Protokoll während jeder gemeinsamen Gruppensitzung auszufüllen und abzugeben. Bewertet wurde die Strukturierung des Vorgehens beim Konstruieren anhand folgender Kriterien:

- Dokumentation
- Inhaltliche und zeitliche Planung
  - kurzfristig durch das Definieren von Zielen für das nächste Treffen der Studententeams
  - mittelfristig durch Planung des nächsten Arbeitstreffens sowie der Hausaufgaben
- Reflexives Vorgehen (in Bezug auf die erzielten Ergebnisse)
- iterative Aufgabenanalyse (bei der Zwischenkontrolle vertiefend)
- Rollenverteilung in der Gruppenarbeit.

3.4 Abhängige Variable

Für die interessierenden fachunspezifischen Wissensbereiche wurde ein Fragebogen entwickelt, der den Studierenden zu Beginn und am Ende des Semesters vorgelegt wurde (Prä- / Postmessung).
Des Weiteren wurde die Güte der Belegarbeit (Lösungsgüte) einmalig nach Fertigstellung durch zwei Fach-Experten anhand eines entwickelten Bewertungsschemas erfasst.

3.5 Kontrollvariable

Als Kontrollvariablen wurden neben demografischen Angaben (Alter, Geschlecht, Berufserfahrung) Handlungsneigungen im Alltag, nämlich die Planungsneigung, die Hartnäckigkeit bei der Zielverfolgung sowie die Flexibilität der Zielanpassung mit dem Verfahren von Heisig (1996) erhoben. Diese Variablen haben sich für das Planen mittelfristiger Aufgaben als besonders wirksam erwiesen (vgl. Winkelmann, 2005).

Tabelle 2: Untersuchungsdesign

Gruppen	Prämessung	Intervention	Postmessung
Interventionsgruppe A mit Modulübergabe (n=16 Teams)	Wissensbefragung	Einführung in Module 1-6, Protokolle	Wissensbefragung, Nachbefragung, Lösungsgüte
Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe (n=31 Teams)	Wissensbefragung	Protokolle	Wissensbefragung, Lösungsgüte

3.6 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung folgt einem zweifaktoriellen Messwiederholungsplan mit gestufter Intervention und Zufallsstichproben. Die Messwiederholung betrifft die Wissensbefragung. Das genutzte Vorgehen und die Lösungsgüte der Entwürfe wurden abschließend einmalig ermittelt (Tab. 2).

3.7 Untersuchungsablauf

Im Rahmen einer konstruktionsmethodischen Vorlesung wurden alle Studierenden gebeten, ihre demografischen Daten anzugeben sowie die Wissensbefragung und den Handlungsfragebogen auszufüllen.

Die Studierenden wurden per Zufall auf die Interventionsgruppe A mit Modulübergabe bzw. die Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe verteilt. In dem vorlesungsbegleitenden Seminar wurden die beiden Gruppen räumlich voneinander getrennt. Die 16 Teams der Interventionsgruppe A wurden in drei aufeinanderfolgenden Seminareinheiten zu den Modulen und den Protokollen geschult. Es erfolgte eine ausführliche Einführung in das Anliegen und die Nutzung der Module. Fragen dazu wurden jeweils während der Einführung sowie zu allen weiteren Veranstaltungen des Begleitseminars beantwortet. Jedes Team erhielt die Unterstützungsmodule zusätzlich in schriftlicher sowie in digitaler Form. Die 31 Teams der Interventionsgruppe B wurden nur in die Nutzung der Protokolle eingewiesen.

Nach Fertigstellung des Belegs wurde erneut im Rahmen der konstruktionsmethodischen Vorlesung das fachunspezifische Wissen aller Studierenden erfragt. Darüber hinaus erfolgte in teilstandardisierten Einzelinterviews eine mündliche Nachbefragung zum Vorgehen der Teams der Interventionsgruppe A mit Modulübergabe mit einem zeitlichen Umfang von ca. 30-45 Minuten.

3.8 Datenauswertung

Die Auswertung der in der Nachbefragung erhobenen qualitativen Daten erfolgte durch Kategorienbildung. Diese erfolgte deduktiv aus Anregungen der relevanten Literatur sowie induktiv aus den empirisch gewonnenen Daten und entsprechender Kodierung. Es wurden die relativen Häufigkeiten der einzelnen Kategorien ermittelt. Die Kodierung nahmen zwei Urteiler vor; die Berechnung der Übereinstimmung mittels Cohen's Kappa ergab einen mittleren Wert von $\kappa = 0.72$, womit eine sehr gute Übereinstimmung der beiden Urteiler bestätigt wurde.

Die verwendeten Kategorien sind modulbezogen in den Tabellen 8-13 aufgeführt.

Die Fach-Experten wurden zur Anwendung des Bewertungsschemas geschult. Dies beinhaltete die kritische Reflexion aller Bewertungskriterien. Die Überprüfung der Übereinstimmung der Bewerter in ihren Urteilen (Interrater-Reliabilität) hat einen hohen Wert ergeben: $\kappa = 0.9$.

In einer Nachbefragung wurden die Studierenden der Interventionsgruppe in einem teilstandardisierten Interview zu ihrem Vorgehen befragt, um daraus die Nutzung der Module sowie weiteren Unterstützungsbedarf ableiten zu können. Für die Auswertung wurde ein Kategoriensystem erstellt, das von drei Bearbeitern kooperativ erarbeitet und der abgestimmten Auswertung zugrunde gelegt wurde.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertungsvoraussetzungen in der Studenten-Stichprobe

Bezogen auf die Gesamtstichprobe von N=238 unterscheiden sich die Teilnehmer der Interventionsgruppe A mit Modulübergabe und die Teilnehmer der Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe nicht signifikant hinsichtlich Geschlecht, Alter, bisheriger Studiendauer und früherer Berufstätigkeit ($T_{Geschlecht} = -0.11$; $T_{Alter} = 0.13$; $T_{Semester} = 0.18$; $T_{Erfahrung} = 0.64$; jeweils $p > .05$).

Des Weiteren liegen auch keine signifikanten Unterschiede bezüglich der arbeitsrelevanten Personenmerkmale Planungsneigung sowie Flexibilität der Zielanpassung vor ($T_{Planungsneigung} = -0.96$; $T_{Zielanpassung} = 1.08$; jeweils $p > .05$). Die Teilnehmer der Interventionsgruppe A sind jedoch signifikant hartnäckiger in der Zielverfolgung ($T_{Zielverfolgung} = 2.73$, $p \leq .01$) als die Teilnehmer der Interventionsgruppe B.

Damit sind die kontrollierten Merkmale bis auf die Zielverfolgung nicht als wirksame Kovariablen beim Vergleich der Interventionsgruppen zu berücksichtigen.

4.2 Nutzung der Wissensmodule 1–6 (Treatment Check)

In der Nachbefragung sowie aus den Protokollen wurde ermittelt, ob die Module von den Teams der Interventionsgruppe A mit Modulübergabe (n=16) im Bearbeitungsverlauf der Konstruktionsentwürfe nach deren Aussagen überhaupt herangezogen wurden (Tab.3).

Die Module „Konstruktionslandkarte“ (87%), „Teamorganisation“ (75%) und „Anforderungsanalyse“ (81,25%) wurden im Laufe des Semesters von der überwiegenden Anzahl der Gruppen genutzt. Die Hälfte der Gruppen berücksichtigte die Module „Lösungssuche“ und „Lösungsbewertung“ in ihrer Arbeit. Nur eine sehr geringe Beachtung fand das Modul „Entscheidungsunterstützung (18,75%). Zur Art und Häufigkeit der ausgesagten Nutzung liegen keine Aussagen vor.

Tabelle 3: Nutzung der Module (Prozent der Teams)

	Modul 1 Konstruktions-landkarte	Modul 2 Team-organisation	Modul 3 Anforderungs-analyse	Modul 4 Lösungs-suche	Modul 5 Lösungs-bewertung	Modul 6 Entschei-dungsunter-stützung
Nutzung gesamt	87,5%	75,0%	81,25%	50,0%	50,0%	18,75%

Tabelle 4: Nutzung der Module zu den Abgabeterminen (Prozent der Teams)

	Modul 1 Konstruktions-landkarte	Modul 2 Team-organisation	Modul 3 Anforderungs-analyse	Modul 4 Lösungs-suche	Modul 5 Lösungs-bewertung	Modul 6 Entschei-dungsunter-stützung
Protokoll 1	80,0%	73,3%	86,7%	0%	0%	0%
Protokoll 2	76,9%	46,2%	15,4%	15,4%	0%	0%
Protokoll 3	64,3%	42,9%	14,3%	50,0%	28,6%	7,1%
Protokoll 4	45,5%	9,1%	0%	9,1%	36,4%	18,2%

Differenziert auf vier fest vorgegebene Protokoll-Abgabetermine ergibt sich folgendes Bild (Tab. 4).

Das Modul 1 „Konstruktionslandkarte“ wurde zur Planung und Dokumentation erwartungsgemäß vor allem zu Beginn der Bearbeitung der Konstruktionsaufgabe genutzt, während das Modul am Ende des Konstruktionsprozesses nur noch von knapp der Hälfte der Teams eingesetzt wurde. Auch das Modul „Teamorganisation“ wurde wie beabsichtigt vor allem in der Phase der Gruppenkonstituierung genutzt, die Nutzung zu späteren Zeitpunkten dient mehr dem Erinnern der Modulinhalte. Die Module 3-6 kamen phasenbezogen zum Einsatz. Das Modul 3 „Anforderungsanalyse“ wurde zu Beginn des Konstruktionsprozesses von knapp 90% der Teams genutzt, während die Module 4 und 5 „Lösungssuche“ und „Lösungsbewertung“ von weniger Teams aber in den entsprechenden Phasen herangezogen wurden. Das Modul 6 wurde am wenigsten genutzt, was auf die wahrgenommene Überschneidung mit den bereits in der Vorlesung vermittelten Methoden zusammenhängen kann.

4.3 Ausgesagtes fachübergreifendes Wissen

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der von den Studenten individuell beantworteten Wissensfragen bezogen auf ihre Gruppenzugehörigkeit.

Alle dargestellten Vergleiche zeigen keine signifikanten Unterschiede im ausgesagten fachübergreifenden Wissen. Weder in der Prämessung noch in der Postmessung unterscheiden sich die Ergebnisse der Studenten der Interventionsgruppe A mit Modulübergabe und den Studenten der Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe. Des Weiteren ist weder bei den Studenten in der Interventionsgruppe A noch bei den Studenten in der Interventionsgruppe B ein Zuwachs im fachübergreifenden Wissen insgesamt in der Postmessung gegenüber der Prämessung zu verzeichnen.

Auch im Extremgruppenvergleich von Untersuchungsteilnehmern beider Interventionsgruppen mit der Ausprägung niedrige vs. hohe gruppenbezogene Lösungsgüte zeigen sich weder bei der Extremgruppe mit niedriger Lösungsgüte noch bei der Gruppe mit hoher Lösungsgüte signifikante Zuwächse im Gesamtwissen in der Postmessung gegenüber der Prämessung ($F(1,13) = .63$, $p > .05$). Es zeigen sich auch keine signifikanten Unterschiede im Wissenszuwachs zwischen den beiden Extremgruppen ($F(1,5) = .00$, $p > .05$).

Bei der Betrachtung der einzelnen Wissensbereiche wird eine größere Anzahl von Verbesserungen bei den Studenten der Interventionsgruppe A mit Modulübergabe gegenüber den Studenten der Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe festgestellt, dieser Unterschied ist aber nicht signifikant.

Bei den 10 Einzelfragen zur Wissenserfassung liegt bei den der Interventionsgruppe A zugeordneten Studenten verbessertes oder gleichbleibendes Wissen in 6 Fragen vor (mittlere Anzahl von Punkten), bei den Studenten der Interventionsgruppe B nur bei 4 Fragen;

Tabelle 5: Wissenserfassung (Mittelwert aus 10 Wissensbereichen)

	Zuordnung zu Gruppe	N Personen	Mittelwert	Standardfehler	Signifikanz
Prämessung	IG A	28	17,50	.94	n.s.
	IG B	54	16,67	.70	
Postmessung	IG A	28	18,39	.97	n.s.
	IG B	54	16,54	.74	
Vgl. Prä-Post	IG A	28	17,50	.94	n.s.
	IG A	28	18,39	.97	
Vgl. Prä-Post	IG B	54	16,67	.70	n.s.
	IG B	54	16,54	.74	

Tabelle 6: Leistungsergebnisse

Kriterium	Gruppen	n Teams	Median	Mittlerer Rang	Z	Signifikanz
Lösungsgüte gesamt	IG A	16	31	21,44	-.92	n.s.
	IG B	31	32	25,32		

hier überwiegen also Fragen mit Verschlechterungen der mittleren Antwortpunktzahl je Proband.

4.4 Leistungsergebnisse

Die Lösungsgüte der von den Teams aller Interventionsgruppen eingereichten Konstruktionslösung wurde bestimmt aus der Summe von insgesamt 10 Bewertungskriterien zur Anforderungsklärung, Lösung und Dokumentation.

Ein Vergleich der Ergebnisse der Teams in Interventionsgruppe A mit Modulübergabe und Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe mittels Mann-Whitney-U-Test zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, d.h., die kommentierte Übergabe der Unterstützungsmodule in der Interventionsgruppe A führte nicht zu einer Verbesserung der Lösungsgüte gegenüber den Teams in der Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe (Tab. 6). Auch die separate Betrachtung der Teil-Bewertungskriterien zur Anforderungsklärung, Lösung und Dokumentation zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen mit und ohne Modulübergabe.

Signifikante Effekte des intendierten Nutzens von in den Modulen vorgeschlagenen Vorgehensweisen beim Konstruieren in Bezug auf die Lösungsgüte zeigen sich in der Interventionsgruppe A nur anhand eines Kriteriums: Werden Forderungen und Wünsche an das Produkt unterschieden, liegt eine höhere Lösungsgüte vor $\tau \leq .56$ ($p \leq .05$).

4.5 Ausgesagter Nutzen fachunspezifischer Empfehlungen im Vorgehen

Die wahrgenommene Nützlichkeit des empfohlenen fachunspezifischen Vorgehens für die Bearbeitung der Konstruktionsaufgabe durch die Teams der Interventionsgruppe A wurde mittels einer fünfstufigen Ordinalskale von 0=“gar nicht hilfreich“ bis 4=sehr hilfreich“ in einer Nachbefragung zur Gruppenmeinung ermittelt (Tab. 7).

Die phasenbezogenen Module zur Lösungssuche, Lösungsbewertung und Entscheidungsunterstützung wurden als „ziemlich hilfreich“ bewertet, das phasenbezogene Modul zur Anforderungsklärung, wurde mit „mittelmäßig hilfreich“ eingeschätzt. Ebenfalls als „mittelmäßig hilfreich“ wurden die phasenübergreifenden Module Teamorganisation bzw. noch etwas besser die Konstruktionslandkarte bewertet. Die ausgesagte Nutzungshäufigkeit (Tab. 4) und der ausgesagte Nutzen im Vorgehen stehen nicht in Beziehung.

4.6 Übernehmen empfohlener Vorgehensschritte in das Vorgehen der Teams (Lernziele)

In den folgenden Tabellen 8-13 werden Aussagen zusammengefasst, die durch die Teams der Interventionsgruppe A mit Modulübergabe als jeweils teambezogen abgestimmte Gruppenmeinung sowohl in den Protokollen als auch in der Nachbefragung geäußert wurden. Aufgeführt sind neben den Lernzielen die Anzahl der Teams, die zur einzelnen Zielstellung überhaupt eine Aussage getroffen haben sowie die Aussage

Tabelle 7: Nützlichkeit der Vorgehensempfehlungen

Modul	n Teams	Median	Interquartils-abstand Q
Modul 1: Planung und Dokumentation (Konstruktionslandkarte)	16	2,5	1,25
Modul 2: Teamorganisation	16	2	2
Modul 3: Anforderungsklärung	16	2	2
Modul 4: Lösungssuche	16	3	0
Modul 5: Lösungsbewertung	16	3	1
Modul 6: Entscheidungsunterstützung	16	3	1

Legende: 0... gar nicht hilfreich 1... fast nicht hilfreich 2... mittelmäßig hilfreich
3... ziemlich hilfreich 4... sehr hilfreich

Tabelle 8: Erreichen der Lernziele zum Planen und Dokumentieren (Konstruktionslandkarte)

Lernziele	Vorgehensschritte berücksichtigt		
	keine Aussage (%)	ja (%)	nein (%)
Planen des Vorgehens	6,3	62,5	31,3
Zerlegen des Entwurfsprozesses in Einzelschritte	6,3	75,0	18,8
zeitliches Planen	62,5	37,5	0
Dokumentieren	12,5	12,5	75,0
Kontrolle und Reflexion	75,0	25,0	0

(in Prozent der Teams), ob die empfohlenen Vorgehensschritte beim Konstruieren tatsächlich berücksichtigt wurden.

Das im Modul 1 „Konstruktionslandkarte“ vorgeschlagene Vorgehen (Tab. 8) wurde von den Teams der Interventionsgruppe A mehrheitlich bei der Planung des Vorgehens sowie bei der Zerlegung des Entwurfsprozesses in Einzelschritte genutzt. Weniger Anwendung fanden die mit der Konstruktionslandkarte verbundenen Dokumentationsmöglichkeiten. Von einem kleineren Teil der Teams der Interventionsgruppe A wurden die zeitliche Planung sowie die Möglichkeit der Kontrolle und Reflexion des Konstruktionsprozesses genutzt.

Zu den Zielen des Moduls 2 „Teamorganisation“ (Tab. 9) wurden nur von wenigen Teams der Interventionsgruppe A Aussagen getroffen. Die Teamorganisation wird unterstützt durch die regelmäßige Kontrolle des Projektstandes bzw. der vereinbarten Aufgaben durch die angelegten Protokolle. In neun Teams führten die Hinweise zur effizienten Aufgabenverteilung zur Vergabe von Hausaufgaben. Die Hinweise zur optimalen Reihenfolge der Bearbeitung von Konstruktionsaufgaben im Team wurden von vier Teams beachtet. Nur ein Team stimmte jedoch der Regel zu, dass die Vorgehensweise, Ideen erst nach deren Sammlung zu bewerten, zu einer größeren Anzahl von Ideenentwicklungen führt. Dass die Anforderungsklärung vor der Zielklärung durchgeführt werden sollte, ist von keinem Team der Interventionsgruppe A berücksichtigt worden. Das kann damit zusammenhängen, dass die Konstruktionsaufgabe vor der Einweisung in die Module bereits bekannt war und in den Teams schon erste Zielklärungen kurz nach Empfang der Aufgabe stattfanden. Über den gesamten Konstruktionsprozess hinweg ist es jedoch entgegen der durch das Modul gegebenen Empfehlung in allen Teams der Interventionsgruppe A zu Mehrheits-/ Kompromissentscheidungen gekommen. Begründet wurde das mit der fehlenden Zeit, alle Differenzen auszudiskutieren bzw. neue

Tabelle 9: Erreichen der Lernziele zur Teamorganisation

Lernziele	Vorgehensschritte berücksichtigt		
	keine Aussage (%)	ja (%)	nein (%)
Kontrolle Projektstand/Aufgaben durch Protokolle	56,3	43,8	0
Vergabe von Hausaufgaben als Einzelarbeit	43,8	56,3	0
Einzelarbeit vor Gruppenarbeit	75,0	25,0	0
Anforderungsklärung vor Zielklärung	100,0	0	0
Bewertung von Ideen nach deren Sammlung	93,8	6,3	0
Mehrheits-/Kompromissentscheidungen im Team	0	75,0	25,0

Tabelle 10: Erreichen der Lernziele zur Anforderungsanalyse

Lernziele	Vorgehensschritte berücksichtigt		
	keine Aussage (%)	ja (%)	nein (%)
Erkennen von weiteren (impliziten) Anforderungen	25,0	25,0	50,0
Klären der Beziehungen zwischen Forderungen	37,5	43,8	18,8
Erkennen sich ergebender Forderungen	56,3	25,0	18,8
Erstellen von Zuordnungslisten techn. Forderungen	100,0	0	0
Klären der Wichtigkeit der Forderungen / Wünsche	87,5	12,5	0
Gruppieren nach Funktionsbereichen	100,0	0	0

Lösungsvorschläge zu suchen. Gruppenarbeit wird bei Entscheidungen entgegen der Empfehlungen als Abstimmungsprozess und Mehrheitsentscheidung realisiert. Das Lernziel ist damit nicht erreicht.
Die Ergebnisse der Befragung der Teams der Interventionsgruppe A in Bezug auf Modul 3 „Unterstützung der Anforderungsanalyse“ zeigen ein differenziertes Bild (Tab. 10). Während Modul 3 zum Klären der Beziehungen zwischen Forderungen herangezogen wurde, trifft dies nicht für das Erkennen von weiteren (impliziten) Anforderungen zu. Die Unterstützungshinweise zum Erkennen sich ergebender Forderungen wurde von 7 Teams zur Hälfte genutzt, das Klären der Wichtigkeit der Forderungen/Wünsche von 2 Teams jedoch voll. Keine Aussagen gab es zur Unterstützung beim Erstellen von Zuordnungslisten technischer Forderungen und dem Gruppieren nach Funktionsbereichen.
Zu den Zielen des Moduls 4 „Lösungssuche“ wurden nur von sehr wenigen Teams der Interventionsgruppe A Aussagen getroffen (Tab. 11). Relativ verbreitet sind die Kenntnisse über die Möglichkeiten des morphologischen Kastens und zu dessen Nutzung. Weitere im Modul aufgeführte Verfahrensweisen bei der Lösungssuche wurden nur von jeweils eins bis drei Teams genutzt, während das Ermitteln neuer Lösungen durch Gruppenprozesse kann eine Rolle gespielt haben.

Aussagen zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch Modul 5 „Lösungsbewertung“ liegen nur zu einem der insgesamt sieben intendierten Ziele vor (Tab. 12). 5 Teams der Interventionsgruppe A nutzten das Modul für die Dokumentation der Gründe für die Erfüllung/Nichterfüllung der Forderungen. Weitere Aussagen konnten weder aus den Protokollen noch aus der Nachbefragung erhoben werden.
Die Unterstützung der Entscheidungen mit Hilfe von Modul 6 „Entscheidungsunterstützung“ in Bezug auf die Auswahl von erarbeiteten Lösungsvarianten durch das Erstellen einer Entscheidungsmatrix wurde von 12 Teams der Interventionsgruppe A angegeben (Tab. 13). Jeweils 6 Teams nutzten die Hinweise im Modul 6 für das Ausführen einer Binärbewertung sowie einer Punktebewertung. Nicht erwähnt wurde, ob ein Gewichten der Forderungen und weiteren Forderungen vorgenommen wurde und wie es letztendlich zur Auswahl der besten Variante kam und ob diese Variante dann noch einmal auf Verbesserungsmöglichkeiten geprüft wurde.

Tabelle 11: Erreichen der Lernziele zur Lösungssuche

	Vorgehensschritte berücksichtigt		
Lernziele	keine Aussage (%)	ja (%)	nein (%)
Anregen der Lösungssuche	87,5	12,5	0
Ermitteln vorhandener Lösungen	68,8	31,3	0
Ermitteln neuer Lösungen durch Abstrahieren der Aufgabenstellung	87,5	12,5	0
Ermitteln neuer Lösungen durch Analogiensuche	87,5	12,5	0
Ermitteln neuer Lösungen durch Skizzieren	81,3	18,8	0
Ermitteln neuer Lösungen durch morpholog. Kasten	68,8	31,3	0
Ermitteln neuer Lösungen durch Gruppenprozesse	93,8	6,3	0

Tabelle 12: Erreichen der Lernziele zur Lösungsbewertung

	Vorgehensschritte berücksichtigt		
Lernziele	keine Aussage (%)	ja (%)	nein (%)
Dokumentation der Gründe für Erfüllung/ Nichterfüllung der Forderungen	68,8	31,3	0
Bewerten der Forderungen	100,0	0	0
Ermitteln der Erfüllung weiterer Forderungen	100,0	0	0
Bewerten weiterer Forderungen	100,0	0	0
Dokumentieren der Erfüllung jeder Lösungsvariante	100,0	0	0
Suche nach Verbesserbarkeit der Varianten	100,0	0	0
Ableiten techn. Merkmale aus allg. Zielmerkmalen	100,0	0	0

Tabelle 13: Erreichen der Lernziele zur Entscheidungsunterstützung

	Vorgehensschritte berücksichtigt		
Lernziele	keine Aussage (%)	ja (%)	nein (%)
Erstellen einer Entscheidungsmatrix	25,5	62,5	12,5
Gewichten der Forderungen	100,0	0	0
Gewichten der weiteren Forderungen	100,0	0	0
Durchführen einer Binärbewertung	62,5	37,5	0
Durchführen einer Punktbewertung	62,5	37,5	0
Auswahl der besten Variante	100,0	0	0
Prüfen der ausgewählten Variante auf Verbesserungen	100,0	0	0

4.7 Unterschiede im Vorgehen bei den Interventionsgruppen A und B

Die Auswertung der Protokolle erfolgte über die Häufigkeit der in den Tabellen 8-13 aufgeführten Aussagen zu Vorgehensweisen während des Konstruktionsprozesses in Form eines Vergleichs (Mann-Whitney-U) der Interventionsgruppe A mit Modulübergabe und der Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe. Dabei zeigten sich folgende in Tabelle 14 dargestellte signifikante Unterschiede. Der Übersichtlichkeit halber wird auf die Darstellung der nicht signifikanten Unterschiede verzichtet.

Tabelle 14 zeigt, dass die Interventionsgruppe A mit Modulübergabe gegenüber der Interventionsgruppe B ohne Modulübergabe die dargestellten Vorgehensschritte häufiger genutzt hat. Dies bezieht sich auf Vorgehensweisen zur effizienten Teamorganisation (Vorbereitung von Gruppenberatungen, p≤ .05), zur Anforderungsermittlung (Beziehungen zwischen Forderungen ermitteln, p≤ .01, Forderungen und Wünsche differenzieren, p≤ .05), zur Variantenerarbeitung (Varianten erstellen, p≤ .05) sowie zur Entscheidungsunterstützung (Entscheidungsmatrix bzw. gewichtete Punktbewertung erstellen, p≤ .01). In Bezug auf die hier aufgeführte Nutzung von Vorgehensweisen zeigen sich keine Korrelationen zur gruppenbezogen ermittelten Kontrollvariable „Hartnäckigkeit der Zielverfolgung“, bei der ein Unterschied zwischen Interventionsgruppe A und Interventionsgruppe B festgestellt wurde. Auf das Abtrennen der Wirkung als Kovariable wird daher verzichtet.

5 Diskussion und Ausblick

Die Untersuchung prüft die Wirkung des Übergebens und Erläuterns von Handreichungen zu fachunspezifischen, kognitions- und sozialpsychologisch begründeten Vorgehensweisen (non-technical skills) in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung in den sog. frühen Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses. Zu dieser Frage korrespondiert die Ankündigung der OECD über den Hochschulvergleich AHELO (Assessment of Higher Education Learning Outcomes) zum Lernzuwachs der Studenten in den Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften, der bis 2011 durchgeführt wird. Dieser Vergleich bezieht sich zum einen auf die generic skills (fachübergreifende Problemlösestrategien) und zum anderen auf die discipline-specific skills (Fachwissen).

Die erläuterte Übergabe der Handreichungen zu generischen Vorgehensweisen ohne Anwendungszwang ergibt einen klaren Lerngewinn im berichteten Vorgehen. Die Teams mit einer Einweisung und Textübergabe zu fachübergreifenden Vorgehensmerkmalen berichten signifikant häufiger, Vorgehensempfehlungen befolgt zu haben als die Vergleichsteams.

Das betrifft

- das Unterscheiden zwischen unerlässlichen Forderungen an die Eigenschaften des Produkts und nur wünschenswerten Produkteigenschaften,
- das Ermitteln der Beziehungen zwischen Forderungen an das Produkt als Quelle von (häufig zunächst impliziten) Folgeforderungen,

Tabelle 14: Signifikante Unterschiede im Vorgehen der Interventionsgruppen A und B

Kriterien	Gruppen	n Teams	Mittlerer Rang	Z	Signifikanz
Beziehungen zwischen Forderungen ermitteln (Modul 3)	IG A IG B	16 31	27,88 22,00	-2.88	p≤ .01
Forderungen und Wünsche differenzieren (Modul 3)	IG A IG B	16 31	27,38 22,26	-2.27	p≤ .05
Individuelle Arbeitsschritte zur Vorbereitung von Gruppenberatungen organisieren (im Protokoll 1) (Modul 1)	IG A IG B	15 30	29,50 19,75	-2.73	p≤ .01
Varianten erstellen (Modul 4)	IG A IG B	16 31	29,59 21,11	-2.35	p≤ .05
Individuelle Arbeitsschritte zur Vorbereitung von Gruppenberatungen organisieren im (Protokoll 3) (Modul 1)	IG A IG B	14 22	22,21 16,14	-2.34	p≤ .05
Entscheidungsmatrix bzw. gewichtete Punktbewertung erstellen (Modul 6)	IG A IG B	16 31	31,66 20,05	-3.3	p≤ .01

- das Erstellen von Lösungsalternativen vor deren Auswahl für das weitere Ausarbeiten,
- das analytische Bewerten der Lösungsvarianten in Lösungsmatrizen sowie
- das Kombinieren von Einzelarbeit im Gruppenauftrag mit Gruppenarbeit bei festgelegten arbeitsteiligen Teilaufträgen.

Diese häufig berichteten Vorgehensweisen beschreiben zentrale fachübergreifende Vorgehensmerkmale beim Bearbeiten komplexer Probleme.

Während die im Konstruktionsprozess übergreifenden bzw. zu Beginn zu nutzenden Vorgehensweisen am meisten Berücksichtigung fanden, nahm die Bereitschaft zur Nutzung der für spätere Phasen empfohlenen Vorgehensweisen im Laufe des Semesters und der Teamarbeit ab. Das kann mit teilweise nicht 100-prozentig abgestimmten Inhalten aus der Vorlesung oder dem im Laufe des Entwicklungsprozesses nachlassenden Bedarf der Unterstützung in Bezug stehen.

Diesen ausgesagten häufigen Vorzügen im Vorgehen der Teams mit den Modulen entsprechen keine signifikanten Unterschiede zu Teams ohne Übergabe der Module in der Lösungsgüte (Bewertung der Anforderungsanalysen und der Entwürfe durch die Fachlehrkräfte).

In der Güte der Entwurfslösungen sind signifikante Unterschiede aus den bereits dargestellten Gründen nicht zu erwarten. Die Verbesserung der Lösungsgüte wird in der Literatur erst bei Experten nachgewiesen (Beitz et al., 1997). Mit dem Kirkpatrick-Modell (2006) mit den Phasen „Reaktion – Lernen – Verhalten – Ergebnistransfer“ kann vermutet werden, dass erst im weiteren Verlauf der ingenieurtechnischen Ausbildung bzw. dem Praxiseinsatz mit einer qualitätsentscheidenden Verbesserung des Vorgehens und der Lösungsgüte zu rechnen ist.

Beim erfragten fachübergreifenden Wissen wurden zwar für alle Wissensbereiche gemeinsam keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Jedoch liegen bei einzelnen Wissensbereichen bei den Personen, denen Wissensmodule übergeben wurden, größere Wissensgewinne vor als bei den anderen Untersuchungsteilnehmern.

Das betrifft Wissen zu
- Planungs- und Dokumentationsschritten,
- Zwischenbewertungen,
- Organisation von Gruppenarbeit,
- sowie in geringerem Grade auch Entscheiden.

Die beiden letztgenannten Wissensteilbereiche entsprechen auch Aussagen zum realisierten Vorgehen. Statistisch signifikant ist allerdings nur der Wissensunterschied zur Gruppenarbeit.

In keinem der Wissensbereiche liegen Deckeneffekte vor; vielmehr bestehen auch bei vorliegenden Lerngewinnen noch erhebliche Defizite im ausgesagten fachunspezifischen Wissen über das Vorgehen bei der individuellen und kooperativen Problembearbeitung.

Für eine Erklärung des fehlenden eindeutigen Unterschiedes der Ergebnisse in der Wissensbefragung zwischen den beiden Interventionsgruppen sind weitere Untersuchungsschritte erforderlich. Eine mögliche Ursache kann das obligatorische Führen von Protokollen zum Vorgehen in beiden Interventionsgruppen sein: Diese Protokolle enthalten wiederholt zu beantwortende Fragen, die einige Aspekte generischer Vorgehensweisen bei beiden Gruppen gleichermaßen in Erinnerung bringen und zu deren Anwendung anregen könnten.

Erklärungsbedürftig ist des Weiteren, wieso zwar nur marginale Kenntnisunterschiede, aber mehrere signifikante Vorgehensunterschiede zugunsten der Studentengruppe mit der Übergabe der Handreichungen vorliegen. Zunächst waren die Wissensfragen allgemeiner als die Fragen der spezifizierenderen Nachbefragung und boten damit weniger Abrufreize. Des Weiteren werden Vorgehensweisen im Vorgehen, d.h. im Handeln, erworben. Das ist implizit möglich. Implizit erworbenes oder implizit gewordenes Vorgehen kann nicht notwendigerweise als bewusstes Wissen ausgesagt werden (vgl. die unbewusste Ausführungsregulation des Handelns; Dijksterhuis & Nordgren, 2006; Gigerenzer, 2007). Die angebotenen Erläuterungen und Modulinhalte könnten also früher erworbenes schweigendes generisches Vorgehen aktiviert („geprimt“) und beim Einsetzen sogar weiter gefestigt haben. In der Nachbefragung zum Vorgehen könnten somit Vorgehensweisen umfassender umschrieben worden sein.

Generell fällt ein scheinbarer Widerspruch auf: Für Vorgehensweisen, die einzeln und bei ihrer obligatorischen Nutzung in kurzen Laborexperimenten mit Einzelpersonen signifikante Verbesserungen auch in der Lösungsgüte von Entwurfsprozessen erzielen, können bei ihrem Feldeinsatz – nämlich miteinander kombiniert, bei freigestellter und nicht kontrollierbarer Nutzung durch Studententeams im mittelfristigen alltäglichen Studienprozess – nur begrenzte Verbesserungen in der ausgesagten Vorgehensweise nachgewiesen werden. Tatsächlich dürfte jedoch kein Widerspruch vorliegen, weil mit der realisierten Einsatzform im Studienprozess die motivierte Übernahme als Lernziel bestenfalls in Einzelfällen erreicht werden kann.

In einer weiterführenden Untersuchung wird daher ein anderer Weg beschritten: Geprüft wird, ob durch das Einbauen obligatorischer Arbeitsschritte in

die Entwurfsarbeit, die an generische Vorgehensweisen erinnern (bspw. das Beantworten der erörterten Protokollfragen), umfassendere Wissens- und Vorgehensverbesserungen erreicht werden können. Möglicherweise werden in diesem Falle sogar zusätzliche Handreichungen überflüssig.

Die primären Adressaten dieser Bemühungen um die Integration generischer Vorgehensweisen in die technische Ausbildung sind dabei nicht die Studierenden in zusätzlichen Lehrangeboten, sondern deren Lehrkräfte, die geeignete Integrationsformen in die herkömmliche technische Ausbildung entwickeln und nutzen. Einschlägige Inhalte moderner Lehrbücher der Produktentwicklung (z.B. Ehrlenspiel, 2007 oder Lindemann, 2009) belegen die Realisierbarkeit des Einbauens fachunspezifischer problemlösender Vorgehensweisen auch in die technische Ingenieurausbildung.

Insgesamt folgt: Das Konzept des fachübergreifenden generischen Wissens kann in die Ausbildung zur Produktentwicklung im Ingenieurstudium übertragen werden. Seine Anwendbarkeit ist dabei nicht beschränkt auf den Aspekt des „externen Denkens". Das Lehren lediglich durch das knapp erläuternde Übergeben von Handreichungen zu generischen Vorgehensweisen für das Selbststudium im Rahmen der Entwurfsübungen ohne Erhöhung der Lehrveranstaltungszeit führt zu begrenzten Verbesserungen im ausgesagten Vorgehen. Deren Stabilität wurde noch nicht untersucht. Für eine wirkungsvollere Vermittlung ist die Integration in die fachspezifische technische Ausbildung in einer solchen Weise erforderlich, dass die Aneignung der generischen kognitiven Vorgehensweisen zwar obligatorisch aber beiläufig erfolgt.

Literatur

AHELO (Assessment of Higher Education Learning Outcomes). www.oecd.org/edu/ahelo.

Badke-Schaub, P., Neumann, A., Lauche, K. & Mohammed, S. (2007). Mental models in design teams: A valid approach to performance in design collaboration? *CoDesign 3* (1), 5-20.

Beitz, W., Timpe, K.-P., Hacker, W., Rückert, C., Gaedeke, O. & Schroda, F. (1997). Konstruktionsarbeit studentische Übungsgruppen. Empfehlungen für die konstruktionsmethodische Ausbildung an Technischen Universitäten. In W. Beitz (Hrsg.), *Schriftenreihe Konstruktionstechnik*, 40. TU Berlin / Institut für Maschinenkonstruktion.

Bender, B. (2004). Erfolgreiche individuelle Vorgehensstrategien in frühen Phasen der Produktentwicklung. *Fortschritt-Berichte VDI,* Reihe 1, Nr. 377. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Bilda, Z., Gero, J. & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies,* 27, 587-613.

Bruhn, M. (2002). *Marketing: Grundlagen für Studium und Praxis.* Wiesbaden: Gabler.

Diehl, M. & Stroebe, W. (1991). Productivity loss in idea-generating groups: tracking down the blocking effect. *Journal of Personality and Social Psychology,* 61, 392-403.

Dijksterhuis, A., & Nordgren L. F. (2006). A theory of unconscious thought. *Perspectives on Psychological Science, 1,* 95-180.

Ehrlenspiel, K. (2007). *Integrierte Produktentwicklung* (3. Aufl.). München / Wien: Hanser.

Erdmann, V. & Koppel, O. (2009). *Ingenieurarbeitsmarkt 2008/09 – Fachkräftelücke, Demografie und Ingenieure 50Plus.* Köln: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. und Institut der deutschen Wirtschaft Köln.

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.

Frey, D., Brodbeck, F. C. & Schulz-Hardt, S. (1999). Ideenfindung und Innovation. In C. G. Hoyos & D. Frey, *Arbeits- und Organisationspsychologie.* Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Gigerenzer, G. (2007). *Bauchentscheidungen: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition.* München: Bertelsmann.

Guindon, R. (1990). Designing the design process: Exploiting opportunistic thoughts. *Human-Computer-Interaction, 5,* 305-344.

Hacker, W. (Hrsg.) (2002). *Denken in der Produktentwicklung. Psychologische Unterstützung der frühen Phasen.* Zürich, Stuttgart: vdf Hochschulverlag AG & Rainer Hampp.

Hacker, W., Winkelmann, C. & Stelzer, R. (2009). Zur Ausbildung von Ingenieuren: Fachunspezifische Unterstützung des konstruktiven Entwerfens. In W. Hacker (Hrsg.), *Fortschritt-Berichte 196,* Reihe 16. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Heisig, B. (1996). *Planen und Selbstregulation: Struktur und Eigenständigkeit der Konstrukte sowie interindividuelle Differenzen.* Frankfurt/ M.: Peter Lang.

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.

Kirkpatrick, D. L. & Kirkpatrick, J. D. (2006) *Evaluating training programs: The four levels.* San Francisco: Berrett-Koehler Publishers.

Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden.* Berlin: Springer.

Lindemann, U. & Baumberger, C. (2004). Bewertung von Innovationsleistungen in der Unternehmung – Ein Konzept für das Benchmarking von Innovationsprozessen. *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 99* (7/8), 368-375.

Lovelace, K., Shapiro, D. L. & Weingart, L. R. (2001). Maximizing cross-functional new product teams' innovativeness and constraint adherence: A conflict communication perspective. *Academy of Management Journal, 44,* 779-793.

Pache, M. (2005). *Sketching for Conceptual Design.* München: Dr. Hut. (Produktentwicklung München, Band 59).

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. H. (2007). *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung.* Berlin: Springer.

Rasmussen, J. (1987). Cognitive control and human error mechanisms. In: J. Rasmussen, K. Duncan and J. Leplat, Editors, *New Technology and Human Error,* John Wiley & Sons, Chichester.

Sachse, P. (1995). *Entwicklung und Bewertung einer computergestützten Entscheidungshilfe.* Frankfurt: Lang.

Sachse, P. (2002) *Idea materialis: Entwurfsdenken und Darstellungshandeln. Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Skizzieren und Modellieren.* Berlin: Logos.

Saifoulline, R., von der Weth, R., Schönwandt, W., Hemberger, C. (2009). The influence of a problem solving training on shared mental models of spatial planners. *Journal Psychologie des Alltagshandelns (Psychology of Everyday Activity) Vol. 2 / No. 1. February 2009*. Innsbruck: *innsbruck* university press.

Schroda, F. (2000). *Über das Ende wird am Anfang entschieden. Zur Analyse der Anforderungen von Konstruktionsaufträgen.* Technische Universität Berlin. Digitale Dissertation: http://edocs.tu-berlin.de/diss/2000/schroda_frauke.htm.

Stempfle, J. & Badke-Schaub, P. (2002). Thinking in design teams – an analysis of team communication. *Design Studies, 23,* 5, 473-496.

Sträter, O. (2009). Cognitive Parametes for the Relationship of Situation Awareness and Behaviour. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 63* (1), 45-54.

Stroebe, W., Diehl, M. & Abakoumkin, G. (1992). The illusion of group effectivity. *Personality and Social Psychology Bulletin, 18,* pp. 643-650.

Stroebe, W. & Diehl, M. (1994). Why groups are less effective than their members: On productivity losses in idea-generating groups. In W. Stroebe & W. Hewstone (Eds.), *European Review of Social Psychology, Vol. 5,* 271-303. London: Wiley.

Strohschneider, S. (2008). Human Factors Training. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 290-306). Heidelberg: Springer.

Tschan, F. & Semmer, N. (2001). Wenn alle dasselbe denken: Geteilte mentale Modell und Leistung in der Teamarbeit. In R. Fisch, D. Beck & B. Englisch (Hrsg.), *Projektgruppen in Organisationen: Praktische Erfahrungen und Erträge der Forschung* (S. 217-235). Göttingen: Hogrefe.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science, 185,* 1124-1131.

Ullman, D. G., Dietterich, 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.

Visser, W. (1994). Organisation of design activities: Opportunistic, with hierarchical episodes. *Interacting with computers, 6,* 239-274.

Wallmeier, S. & Birkhofer, H. (2000). Die Komplexität von Produktentwicklungsprozessen und das Trainieren von Produktentwicklern. In GfA (Hrsg.): *Komplexe Arbeitssysteme – Herausforderungen für Analyse und Gestaltung. Bericht des 46. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses* (S. 541-544). Dortmund: GfA-Press.

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.

Wiener, E., Kanki, B. & Helmreich, R. (Eds) (1993). *Cockpit Resource Management,* Academic Press, San Diego, CA.

Winkelmann, C. (2005). *Die Fragetechnik für den Konstrukteur: Eine fragenbasierte Unterstützung der frühen Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses.* Regensburg: S. Roderer.

Winkelmann, C. & Hacker, W. (2009). Question-answering-technique to support freshman and senior engineers in processes of engineering design. *International Journal of Technology and Design Education.* Int J Technol Des Educ, DOI 10.1007/s10798-009-9086-8.

Winkelmann, C. & Hacker, W. (2010). Is there any benefit of a generic questioning-system in requirement analysis? (in Vorbereitung).

Yule, S., Paterson-Brown, S. & Moran, N. (2006). Non-technical skills for surgeons in the operating room: A review of the literature. *Surgery, 139* (2), 140-149.

Korrespondenzadresse:
Dr. Uwe Debitz
Technische Universität Dresden
Fachrichtung Psychologie
Arbeitsgruppe „Wissen-Denken-Handeln“
Objekt Falkenbrunnen
D-01062 Dresden
debitz@psychologie.tu-dresden.de