

**Jan Breitschuh** (Karlsruher Institut für Technologie)

**Eva Sonnenschein** (Karlsruher Institut für Technologie)

**Jonas Fuchs** (Lehrwerk FJ UG haftungsbeschränkt)

**Albert Albers** (Karlsruher Institut für Technologie)

**Fachliches Problemlösen in der Maschinenkonstruktion  
– Untersuchung von Struktur und Erlernbarkeit mittels  
multimodaler Technikmodelle**

**Herausgeber**

Bernd Zinn

Ralf Tenberg

Daniel Pittich

**Journal of Technical Education (JOTED)**

**ISSN 2198-0306**

**Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>**

**Jan Breitschuh, Eva Sonnenschein (Karlsruher Institut für Technologie), Jonas Fuchs (LehrWerk FJ UG haftungsbeschränkt) und Albert Albers (Karlsruher Institut für Technologie)**

## **Technisches Problemlösen in der Maschinenkonstruktion - Untersuchung von Struktur und Erlernbarkeit mittels multimodaler Technikmodelle**

### **Zusammenfassung**

Technische Herausforderungen des Maschinenbauingenieurwesens erfordern umfangreiche Kompetenzen des fachspezifischen, problemlösenden Denkens und Handelns. Im Beitrag wird ein entsprechendes Kompetenzmodell hergeleitet, welches ein strukturiertes Erlernen dieser Kompetenzen ermöglicht und technische Problemlösekompetenz (tPLK) in einem Konstrukt beschreiben, das durch Formulierungshilfen für Aufgabenstellungen einerseits eine Messung ermöglicht und andererseits Lernschritte modularisiert. In einer empirischen Studie wurde die Erlernbarkeit technischer Problemlösekompetenz anhand multimodaler Modelle von typischen Mechanik-Bauteilen ermittelt. In der Auswertung konnte neben einem positiven Effekt bei Motivation, ein mittlerer positiver Effekt bezüglich Systemverständnis festgestellt werden.

*Schlüsselwörter:* Maschinenkonstruktionslehre, Produktentwicklung, technische Problemlösekompetenz, multimodale Technikmodelle

### **Technical problem solving in Mechanical Design – Investigation of structure and learnability with multi-modal technical models**

#### **Abstract**

Technical challenges in mechanical engineering require comprehensive competences in discipline-specific, problem solving thinking and acting. In this contribution, an according competence model is deduced, which enables a structured learning approach and describes technical problem solving competence in a construct, that facilitates measurement and modularized learning steps. Learnability with support of multimodal models of typical technical components was investigated in an empirical study. Analysis showed positive effects of the models on motivation and moderate positive effects on understanding of the technical system.

*Keywords:* Mechanical Design Education, Product Development, technical problem solving competence, multi-modal technical models

## 1 Einleitung

Die berufliche Tätigkeit von IngenieurInnen des Maschinenbaus ist von kognitivem Problemlösen geprägt (vgl. Pahl 1994, S. 58f). In der Regel müssen unerwünschte Anfangszustände in erwünschte Endzustände überführt werden, wobei zumeist eine Barriere existiert, die diese Transformation momentan verhindert. Dies entspricht der Problemdefinition nach Dörner (vgl. Dörner, 1976, S. 16) und führt zu einer Abgrenzung von (Routine-)Aufgaben. Hinzu kommt erschwerend, dass im Maschinenbauingenieurwesen möglicherweise sowohl Anfangszustand als auch Endzustand in ihren Charakteristika, Eigenschaften und Randbedingungen unbekannt oder nur vage bekannt sind. Dies trifft insbesondere auf die Teildisziplin der Maschinenkonstruktion zu, da hier stets das Ziel verfolgt wird, neue Lösungen für bekannte und momentan unbekannte Probleme zu entwickeln (vgl. Albers, Birkhofer & Matthiesen 1999).

Im Unterschied zum Problemlösen im Alltag sind die Tätigkeiten des Problemlösens im beruflichen Kontext der Maschinenkonstruktion sehr fachspezifisch und hochgradig wissensintensiv (vgl. Glock 1998, S. 28). Gemäß der Definition von Dörner, dass Problemlösen die Umwandlung bestimmter Sachverhalte mittels bestimmter Operatoren ist (vgl. Dörner 1976, S. 16), kann gefolgert werden, dass berufsspezifische Sachverhalte auch berufsspezifische Operatoren des Problemlösens erfordern. Somit sind Wissen und Anwendungsfähigkeiten und –Fertigkeiten ebendieser berufsspezifischen Sachverhalte und Operatoren wesentliche Lernziele aller Aus- und Fortbildungen im entsprechenden Themengebiet.

Die Lernziele tertiärer Ingenieurbildung im Maschinenbau sind häufig entsprechend separater Teildisziplinen definiert. So finden sich in vielen Curricula Fächer wie „Elektrotechnik“ vollkommen losgelöst von „Maschinenkonstruktion“ oder „Thermodynamik“ (vgl. Matthiesen u. a. 2013). Für die Bewältigung beruflicher Problemlösungsprozesse ist ein integriertes Wissen über all diese Teilbereiche (und noch viele Weitere) erforderlich: Bei der Entwicklung von bspw. Verbrennungskraftmaschinen ist ein fundiertes Fachwissen über Verbrennungsprozesse (Thermodynamik), Steuerung (Elektrotechnik) sowie deren Auswirkungen auf zweckmäßige Konstruktionen (Maschinenkonstruktion) erforderlich.

Gerade für Studierende oder Berufseinsteigende zeigt sich jedoch erst in der beruflichen Anwendung, ob die im Studium vermittelten Inhalte ausreichend Bezug zur Praxis hatten und auch in Problemlösungsprozessen angewendet werden können (vgl. acatech 2012). Besonders häufig lässt sich dabei feststellen, dass im Rahmen der Lehre umfangreiches Fachwissen vermittelt wurde, dieses Studierende aber nicht auf vorgelegte Problemstellungen anwenden können.

Diese Fähigkeit zur Integration und Anwendung von Fachwissen zur Problemlösung muss als erlernbar angesehen werden, da andernfalls Ingenieurwesen selbst nicht erlernbar wäre. Somit kann fachliches Problemlösen grundsätzlich als Kompetenz im Sinne von Weinert (vgl. Weinert 2001, S. 27) aufgefasst werden.

Zlatkin-Troitschanskaia folgt ergänzend einem Verständnis von (Fach-)Kompetenz, welches ebenfalls kognitive, metakognitive sowie nicht-kognitive Dimensionen umfasst (vgl. Zlatkin-

Troitschanskaia 2016, S. 4), welche zur Lösung von Aufgaben in wechselnden Kontexten nötig sind. Diese konstituieren erst „in ihrer interagierenden Gesamtheit das, was als Expertise in einem (Fach-) Bereich bezeichnet wird.“ (vgl. Zlatkin-Troitschanskaia 2016, S. 4).

Entsprechend kann folgende vorläufige Definition technischer Problemlösekompetenz aufgestellt werden: Technische Problemlösekompetenz umfasst die individuellen kognitiven, psychomotorischen und sozialen Fähigkeiten und Fertigkeiten, motivationale, volitionale und soziale Bereitschaft, vorhandenes oder verfügbares Wissen eines fachlichen Sachbereiches in variablen Situationen zielgerichtet, zweckmäßig und reflektiert in Kombination anzuwenden, um fachliche Probleme erfolgreich zu lösen, die dem Individuum bisher unbekannt waren (d. h. dem Individuum neu sind).

Es ist offensichtlich, dass diese Kompetenz grundlegender Bestandteil und Qualifizierungsmerkmal für die Berufsgruppe der IngenieurInnen ist und damit in der Ausbildung vermittelt werden muss. Die Praxis zeigt jedoch, dass dies in den bisherigen Ansätzen noch nicht ausreichend erreicht wird. Um Lehrkonzepte und -inhalte zu entwickeln, welche eine gezielte Entwicklung von technischer Problemlösekompetenz erlauben, ist es nötig, für diese ein passendes Modell herzuleiten. Auf Basis dieses Modells können dann Konzepte ausgearbeitet und validiert werden.

Zur besseren Verständlichkeit der hier verwendeten Kompetenzdefinition werden nun noch einige Voraussetzungen und Annahmen formuliert, die eine vereinfachte Definition ermöglichen. Das Individuum muss ausreichende psychomotorische Fähigkeiten und Fertigkeiten besitzen, um seine Lösung zu kommunizieren. So wird als Kompetenz in spezifischer Kommunikation der Maschinenkonstruktionslehre beispielsweise Zeichnen vorausgesetzt. Für Studierende kann diese Kompetenz im späteren Studienverlauf als gegeben angenommen werden. Zudem sind soziale Fähigkeiten und Fertigkeiten nötig, um unter anderem Informationen von anderen Personen zu erhalten. Dieser Sachverhalt wird als eigenständiges Forschungsgebiet hier nicht näher betrachtet, sondern es wird auf die individuellen Vorgänge fokussiert. Das Individuum sollte die soziale Bereitschaft mitbringen das Problem lösen zu wollen. Auch dies wird im studentischen Umfeld aufgrund des speziellen Untersuchungsgegenstandes als gegeben angenommen, da Problemlösen in einem dafür vorgesehenen Umfeld (dem Ingenieurwesen) erforscht wird und für Studierende von Interesse ist. Die vorhandene Motivation und Willensstärke (Volition) wird vorausgesetzt. Da auch dies ein eigenständiges Forschungsgebiet mit hoher Tiefe ist, wird hier davon ausgegangen, dass diese durch die Studiums- bzw. Berufswahl und übliche Ausbildungs- und Lohnverhältnisse gesichert sind. Zur verbesserten Lesbarkeit werden die Begriffe „kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten“ umformuliert in „Kompetenz als Disposition“, „vorhandenes oder verfügbares Wissen“ als „Wissen“ zusammengefasst und der „fachliche Sachbereich“ als „Fachbereich“ umschrieben. Ferner soll hier ausschließlich der Bereich ingenieurwissenschaftlichen Problemlösens auf dem Gebiet der Maschinenkonstruktion untersucht werden.

Die vereinfachte Definition mit Spezifikation für das Maschinenbauingenieurwesen auf dem Gebiet der Konstruktion lautet damit folgendermaßen:

*Technische Problemlösekompetenz umfasst die individuellen kognitiven Dispositionen, Wissen eines Fachbereiches kombiniert, zielgerichtet und zweckmäßig zur Lösung technischer Konstruktionsprobleme einzusetzen.*

Im Rahmen dieser Studie wurde ein darauf aufbauendes Kompetenzmodell entwickelt, welches ein strukturiertes Erlernen ermöglicht und technische Problemlösekompetenz (tPLK) einer Messung zugänglich macht.

Zur genaueren Analyse wird untersucht, aus welchen Teilaspekten die Fähigkeit besteht, fachliches Wissen zielgerichtet und zweckmäßig anzuwenden. Diese Fähigkeit bildet die Grundlage für viele Berufe und deren Leistungsfähigkeit. Genau deshalb ist es schon während dem Studium Aufgabe, diese Fähigkeiten zu vermitteln. Hierzu ist es wichtig ein System und seine funktionalen Zusammenhänge zu ergründen und sein theoretisches Sachwissen durch Fähigkeit zur Anwendung desselbigen zu ergänzen.

Exemplarisch wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen eine Lerneinheit im Bereich der Maschinenkonstruktion umgesetzt. Dabei wurde mit Versuchsgruppen (n=22 Studierende) die Gültigkeit des Konstrukts sowie dessen Anwendbarkeit zur Beschreibung der Erlernbarkeit der tPLK und zur Kompetenzmessung untersucht.

## **2 Stand der Forschung**

Problemlösekompetenz setzt sich aus den vielfältig definierten Begriffen „Problemlösen“ und „Kompetenz“ zusammen. In dieser Arbeit wird die Kompetenzdefinition nach Weinert und Zlatkin-Troitschanskaia (siehe Einleitung) zugrunde gelegt. Im Folgenden werden noch einmal die grundlegenden Problem-Definitionen nach Dörner vorgestellt und bisherige Arbeiten auf dem Gebiet der Kompetenzmodellierung für das Ingenieurwesen analysiert.

### **2.1. Definition Problem und Problemlösen**

Ein Problem ist gekennzeichnet durch drei Komponenten (vgl. Dörner 1976, S. 10):

1. Unerwünschter Anfangszustand
2. Erwünschter Endzustand
3. Barriere, welche die Transformation von Anfangszustand in Endzustand im Moment verhindert.

In ihrer Beschreibung des Problemlösens grenzen auch Ernst und Newell Probleme in ähnlicher Art ein (vgl. Ernst & Newell 1969). Dörner definiert Problemlösen als die Umwandlung bestimmter Sachverhalte mit Hilfe bestimmter Operatoren. Die Menge an Sachverhalten und Operatoren charakterisieren somit einen Realitätsbereich (vgl. Dörner 1976, S. 16).

Das Lösen eines Problems ist beeinflusst durch den vorliegenden Problemtypen. Bereits Reitman (vgl. Reitman 1965) kategorisiert Probleme je nachdem wie präzise Anfangs- und Zielzustand definiert sind (vgl. Mayer 1979, S. 5). Dörner wandelt die Frage nach den Typen von Problemen, die sich unterscheiden lassen, in die Frage nach den Typen von Barrieren,

welche die Transformation des Anfangszustandes in den Endzustand verhindern (vgl. Dörner 1976, S. 11). Die Art der Barriere klassifiziert er nach den Dimensionen „Bekanntheitsgrad der Mittel“ und „Klarheit der Zielkriterien“. So können zum Beispiel die Mittel zur Transformation unbekannt sein. In einem anderen Problem können zwar die Mittel bekannt sein, es gibt jedoch eine so große Zahl davon und so viele Möglichkeiten, sie zu kombinieren, dass systematisches Durchprobieren praktisch unmöglich ist.

## 2.2. Kompetenzmodelle des Problemlösens

Um Problemlösen von Seiten der Bearbeitenden näher beschreiben zu können, wird ein geeignetes Modell zur Beschreibung des Prozesses benötigt. In verschiedenen Forschungsprojekten wurden hier in der Vergangenheit schon Modelle und Beschreibungen aufgestellt.

Abele u. a. haben den Bereich dynamischer Problemlöseprozesse untersucht und kommen zu dem Schluss, dass bei einer Berücksichtigung des Fachwissens kein direkter Effekt dynamischer Problemlösekompetenz auf technische Problemlöseleistungen zu erwarten ist" (Abele et al. 2012). Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde von einer fachübergreifenden Problemlösekompetenz ausgegangen.

Neben anderen Kompetenzen wurde im Rahmen der PIAAC auch der Bereich technologiebasiertes Problemlösen untersucht. Es stand dabei die Verwendung von digitalen Technologien zur Unterstützung im Lösungsprozess im Mittelpunkt. In der Arbeit von Hamalainen (vgl. Hamalainen 2014) wird aufgezeigt, dass die Modellierung und v.a. Erlernen des Problemlösens auch in der Erwachsenenbildung ein zentrales Element ist. Wie diese Kompetenz aber erlernt werden kann, wird hier nicht tiefergehend erörtert.

Im Rahmen der PISA-Studie beschäftigten sich auch Fleischer et al. mit den möglichen Komponenten der fachlichen Problemlösekompetenz zur erfolgreichen Lösung fächerübergreifender und fachlicher Probleme (vgl. Fleischer et al. 2010, S. 241). Die Verfügbarkeit und Anwendung von inhaltspezifischem Sach- und Handlungswissen (Fleischer u. a. 2010, 241), welches das Wissen über Objekte und Zustände beinhaltet, sowie das Wissen über Operationen zur Veränderung der Problemsituation, hilft dem Individuum dabei, den Zielzustand zu erreichen. Zusätzlich werden konditionales Wissen, allgemeine Problemlösestrategien und Heuristiken benötigt um die Suche nach relevanten Informationen, alternativen Problempräsentationen oder Teilzielen zu strukturieren (Fleischer u. a. 2010, 241). Für die erfolgreiche Lösung des Problems ist zu dem eine Selbstregulation gefordert, welche das Planen, Überwachen, Bewerten und ggf. Modifizieren von Problemlöseprozessen beinhaltet (Fleischer u. a. 2010, 241). Die Studie definiert dabei das Problemlösen folgendermaßen:

„Das Problemlösen ist eine Fähigkeit eines Individuums kognitive Prozesse anzuwenden um echte, interdisziplinäre Situationen anzugehen und aufzulösen. Bei diesen ist der Lösungsweg nicht offensichtlich und die benötigten Bildungshintergründe, welche anwendbar sind, sind nicht aus einer einzelnen Domäne der Mathematik, Wissenschaft oder des Lesens“ (vgl. OECD 2003, S. 156, Übersetzung der Autoren).

Auch Hacker stellt fest: „[Es] geht es beim Konstruieren um wissensreiche Denkaufgaben“ (vgl. Hacker 2002, S. 13). Damit ist die von der OECD angeführte Definition auch auf konstruktive Aufgaben übertragbar.

### 2.3 Kompetenzmodelle des Ingenieurwesens

Auch in der Domäne des Ingenieurwesens existieren spezielle Kompetenzmodelle, wie das von Handgraft (vgl. Handgraft 2012, S. 11) im Rahmen des AHELO-Projekt vorgestellte Modell. Hier werden Schlüsselkomponenten eines Problemlöseprozesses aufgeteilt in Problemkontext, Branchenwissen, Allgemeinwissen und generische Fähigkeiten. Das Modell ist dann noch weiter sehr feingliedriger strukturiert. Die Kombination generischer Aspekte mit speziellen Fachbereichen (bspw. Lagerung, Dichtung, Schmierung) ist aber nicht berücksichtigt. Für das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Modell der fachlichen Problemlösekompetenz, mit Fokus auf genereller Erlernbarkeit von fachlichem Problemlösen, ist das AHELO Modell grundsätzlich kompatibel, zielt jedoch nur auf die Messbarkeit des Problemlösens ab.

Ein weiteres sehr feingliedriges Stufenmodell von Ingenieur-Kompetenz wurde im TECA-Projekt von Coates (vgl. Coates 2008, S. 9ff) vorgestellt. Dieses modelliert den Prozess wesentlich breiter und setzt das problemlösende Denken mit vielen anderen Aspekten gleich. Die im Rahmen der Arbeit entwickelte technische Problemlösekompetenz fokussiert hingegen auf das fachspezifische, problemlösende Denken und bietet somit ein fixes Rahmenwerk, das aber flexible Anwendungen zulässt und daher eher wie eine gemeinsame Sprache und Orientierung dient und nicht wie ein Kategoriensystem für Assessments.

Stemman und Lang wählen in ihrer Arbeit (vgl. Stemman & Lang 2014, S. 83f) ein klar abgegrenztes Modell, welches nach Problemtypen und bekannten Prozesskomponenten trennt. Dies führt zu einer sehr deskriptiven und geführten Behandlung von Problemlösungsprozessen und unterschätzt die Verknüpfung mit anderen, zur Lösung nötigen Aspekten. Für die technische Problemlösekompetenz soll daher das integrative Denken stärker berücksichtigt und modelliert werden.

Vielversprechende Forschung im Bereich des Ingenieurwesens wurde im Rahmen des Projekts KoKoHs (vgl. Blömeke 2013) unter anderem im Teilprojekt KOM-ING in der Technischen Mechanik durchgeführt (vgl. Musekamp et. al. 2013).

Bisher wurde jedoch der sehr relevante Aspekt des Entwickelns bzw. Konstruierens neuartiger technischer Systeme nicht näher betrachtet. Die im Rahmen dieser Arbeit gewählte Modellierung als technische Problemlösekompetenz für den Bereich der Maschinenkonstruktion (vgl. Definition in der Einleitung) macht fachspezifische und dennoch themenbereichsübergreifende kognitive Dispositionen beschreibbar und zielt auf die Fähigkeit zur kombinierten Anwendung von (fachspezifischem) Wissen im Detail ab.

### 2.4 Multimodale Modelle

Für die Ausbildungsaktivitäten und beruflichen Fortbildungen ist die Auswahl von Methoden und Mitteln zur gezielten Erlernung des Problemlösen ein wichtiger Bestandteil zur Sicherung der Eignung und Bildung von Absolventinnen und Absolventen. Zum Erlernen und Verstehen

von technischen Sachverhalten, Lösungen und Prozessen soll daher eine geeignete Methode zur Unterstützung gewählt werden.

Angewendet werden soll das multimodale Gedächtnismodell von Enkelkamp (vgl. Engelkamp 1990) und Engelkamp und Zimmer (vgl. Enkelkamp & Zimmer 1994), in dem auch die Motorik eine wichtige Rolle spielt: Es „unterscheidet zwischen einem konzeptuellen System und nicht-semantischen Eingangs- und Ausgangssystemen“. Bilder von Objekten werden besser behalten als ihre Bezeichnungen (Bildüberlegenheitseffekt). Das Behalten von Handlungen ist besser, wenn sie motorisch ausgeführt werden als wenn nur ihre Bezeichnung gehört oder gelesen wird (Tu-Effekt).“ (vgl. Hoffmann & Engelkamp 2013, S. 169). Dies hat vor allem auf die „Behaltensleistung“ einen großen Einfluss und damit vielversprechendes Potential für Lernprozesse. Da Bilder, Bauteile und Beschreibungen auch im technischen Kontext und bei Problemen einen wichtigen Anteil einnehmen, kann im Lernprozess vermutlich der Lerneffekt durch multimodale Modelle verbessert werden (vgl. Sonnenschein 2015, S. 17f).

In seiner Arbeit schreibt Hacker: "Auch leistungsstarke Konstrukteure unterscheiden sich nur unwesentlich von anderen durch die Merkmale Intelligenz, Raumvorstellung oder heuristische Kompetenz." (vgl. Hacker 2002, S. 16). Daraus lässt sich ableiten, dass unabhängig vom Expertisegrad der Lernenden die Verwendung multimodaler Technikmodelle dabei hilft, komplexe technische Zusammenhänge aufzuzeigen und die Verknüpfung mit Vorwissen durchzuführen (z. B. Konzept von Reibung und Oberflächenrauigkeiten beim Klemmrollenfreilauf).

### **3. Forschungslücke und Forschungsfragen**

#### **3.1 Kompetenzmodell**

Der Vergleich der Definition technischer Problemlösekompetenz (siehe Einleitung) mit den Definitionen anderer wissenschaftlicher Arbeiten lässt erkennen, dass keiner der bisherigen Ansätze vollständig tauglich ist, technische Problemlösekompetenz in der intendierten Form abzubilden.

Um hier eine geeignete Modellierung zu finden und auf bewährten Arbeiten aufzubauen, könnte die Abbildung der Anforderungen an Problemlöser (nach Dörner) auf Facetten fachunabhängigen Problemlösens als generische Ausgangsbasis (nach Fleischer et. al.) dienen (siehe Abbildung 1). Dabei gilt es zu klären, ob diese Verknüpfung der Eigenschaften des komplexen Problems mit den für die erfolgreiche Problemlösung notwendigen Eigenschaften der problemlösenden Person zu insgesamt 25 Facetten ausreicht, um alle unabdingbaren Aspekte und Faktoren einer aufgeklärten, erfolgreichen Problemlösefähigkeit hinreichend zu identifizieren (vgl. Sonnenschein 2015, S. 25). Durch die wechselseitige Zuordnung von Anforderungssituationen und kognitiven Dispositionen entsteht ein Kompetenzmodell (Schaper 2014).

Somit werden sowohl die Prozesskette allgemeinen Problemlösens als auch die Facetten von Problemlösekompetenz in ihre jeweiligen Teilbereiche zergliedert und einander wechselseitig zugeordnet. Durch die Abbildung von Anforderungen auf Facetten (und vice versa) wird die



Beschreibung modularer Lernsituationen möglich. Modular bedeutet zum einen, dass Personen entsprechend ihres bereits ausgeprägten Profils (ihrer Facetten) weiterentwickeln können. Zum anderen bedeutet Modularität, dass die Anwendung einer Kompetenzfacette stets eine Anforderung der Problemlösung adressiert, wodurch der Handlung ein Zweck zugewiesen wird.

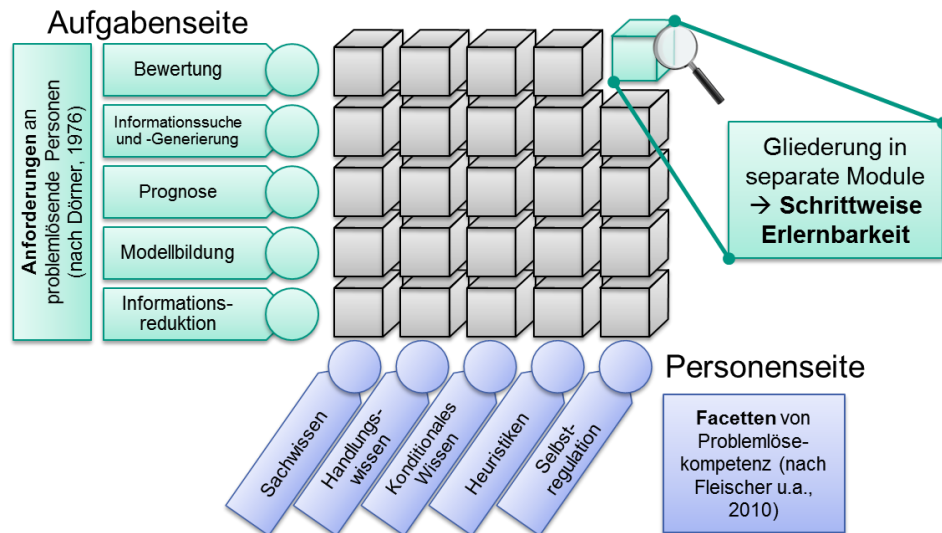


Abbildung 1: Modell technischer Problemlösekompetenz tPLK

Obwohl bereits Kompetenzmodelle des Maschinenbauingenieurwesens existieren, soll hier auf einer neutralen Basis (d. h. fachunabhängig) aufgebaut werden: Die abzubildenden Fähigkeiten, Wissen zu kombinieren und anzuwenden, sind sicherlich ebenfalls nicht fachspezifisch. Die zu kombinierenden *Wissensinhalte* sind jedoch sehr wohl fachlicher Natur, womit aus der generischen Basis fachspezifische Ausprägungen abgeleitet werden können.

### 3.2 Erlernbarkeit

Die Grundlage für tPLK und deren Vermittlung ist, dass fachtypische Vorgehensweisen der Problemlösung in Fachinhalte eingebettet sein sollten, damit eine sinnvolle Verknüpfung verschiedenster Wissensbereiche entstehen kann. Auf Basis der angenommenen Struktur ermöglicht tPLK modulweises Lernen. Dies erlaubt es, gezielte Lerneinheiten zu durchlaufen, welche wichtige fachliche Denkweisen nach und nach vermitteln, anstatt diese durch unzählige Repetitionen mühsam zu lernen. Diese konsekutive Variante bietet damit hohes Potential für Lehrkonzepte zum Erlernen des Problemlösens.

#### 3.2.1 Untersuchungsgegenstand 1: Modularität

Es besteht die Annahme, dass die technische Problemlösekompetenz modular ist und sich somit schrittweise Erlernen lässt. Um dies zu überprüfen sollte das Aufgabendesign einer Studie nach dem entsprechenden Modell aufgebaut sein und das konsekutive Erlernen von Schritten der Problemlösung ermöglichen.

Hypothese: Technische Problemlösekompetenz besteht aus den 25 Subdimensionen entsprechend Abbildung 1.

### *3.2.2 Untersuchungsgegenstand 2: Einfluss multimodaler Technikmodelle*

Um Problemlösen zu vermitteln sollen effiziente Ansätze gewählt werden. Speziell für das technische Problemlösen sollen dabei multimodale Modelle eingesetzt werden, welche gezielt notwendige Wissensbereiche im Kontext der Problemlösungsaufgabe stimulieren.

Hypothese: Multimodale Technikmodelle beeinflussen die Entwicklung technischer Problemlösekompetenz positiv.

## **4 Empirische Untersuchung**

Um die hier aufgestellte Modellbildung praktisch anzuwenden und deren Hypothesen zu untersuchen, wurde eine empirische Untersuchung durchgeführt.

### **4.1 Versuchsziel**

Diese Studie diente der Überprüfung der vorgeschlagenen Struktur der technischen Problemlösekompetenz und untersuchte, ob sich hier ein neuer Ansatz für die Lehre ergeben kann. Zudem sollte ein Nachweis der positiven Effekte multimodaler Modelle erbracht werden.

Umgesetzt wurde dies als Konstruktionsaufgabe, bei der ein Schutzmechanismus aus einem BOSCH IXO Akkuschauber selbst hergeleitet werden sollte. Eine der zwei Testgruppen wird dabei durch haptische Lehrmodelle unterstützt. Die Teilnahme an der Studie wurde für Master-Studierende des Maschinenbaus in der Fachrichtung Gerätekonstruktion angeboten.

### **4.2 Versuchsaufbau**

Der Versuch ist in vier Phasen gegliedert, in denen die Probanden einzeln die Aufgaben bearbeiten und durch einen Paten begleitet werden. Der gesamte Workshop ist zeitlich auf 30 Minuten abgeschätzt und die Bearbeitungszeit pro Phase festgesetzt.

In der ersten Phase werden der gesamte Versuch und die Regeln erläutert. Anschließend kommt die Modellphase in der die Probanden nacheinander fünf Modelle technischer Bauteile ausgehändigt bekommen. Die Hälfte der Probanden erhält echte Modelle von LehrWerk zum Anfassen. Die andere Hälfte, die Kontrollgruppe, erhält lediglich Fotos derselben Modelle. Es stehen den Probanden zusätzlich zur Beantwortung der Fragen noch fünf Minuten Zeit zur Verfügung, um sich mit allen fünf Modellen (bzw. deren Abbildungen) gleichzeitig auseinander zu setzen. In der darauffolgenden Aufgabenphase wird die eigentliche Problemlösefähigkeit der Probanden untersucht. Sie teilt sich noch einmal in drei Teile, die sich inhaltlich unterscheiden nach 1) Bauteilanalyse, 2) Systemanalyse und 3) Bauteilsynthese und Systemsynthese. Die Fragestellungen sind von den Probanden nacheinander schriftlich zu beantworten und Rücksprünge sind nicht gestattet. Daher werden die Aufgaben abschnittsweise zur Verfügung gestellt, um Verfälschungen zu vermeiden. Nach Abschluss der Aufgabenphase reflektieren die Probanden gemeinsam mit den Workshop-Paten ihre gegebenen Antworten und

merken wichtige Gedanken in der dafür vorgesehenen Spalte im Nachhinein an. Danach beantworten sie zum Schluss fünf Feedback-Fragen zum gesamten Workshop (vgl. Sonnenschein 2015, S. 33).

Das in der Aufgabe zu untersuchende System eines Bosch IXO Akkuschraubers wurde aus dem zu dem Probandenumfeld passenden Themenfeld der Gerätekonstruktion als Bereich des Studiums im Maschinenbau gewählt. Dieses praxisnahe Beispiel dient dazu, die gegebenen Aufgaben nachvollziehen zu können und deren Relevanz und Aktualität festzustellen.

Die übergeordnete Aufgabe besteht darin, ein Kunststoffgetriebe gegen Überlast zu schützen, falls der Akkuschrauber wie ein fester Schraubenschlüssel ruckartig „per Hand“ betrieben wird, die anwendende Person also zusätzliches Drehmoment einbringt. Die im Gerät realisierte Lösung doppelt gesperrter Klemmrollenfreilauf (siehe Abbildung 2).

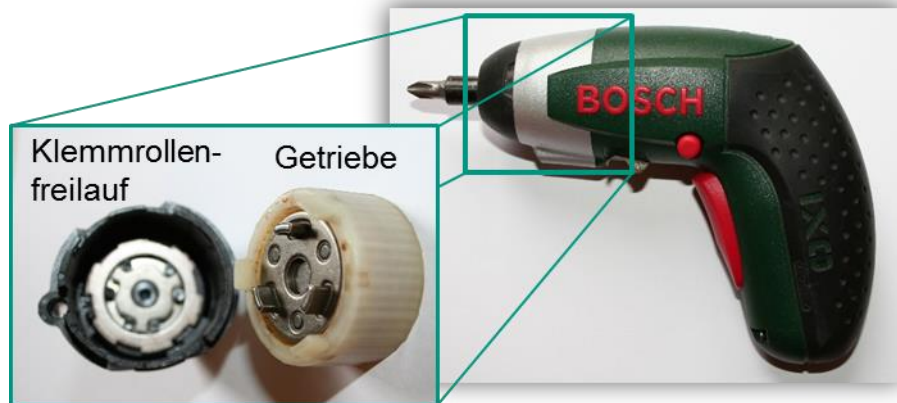


Abbildung 2: Bosch IXO Akkuschrauber mit Getriebe und Schutzmechanismus

Der Aufgabenteil wurde dabei so gestaltet, dass die Probanden die technischen Gegebenheiten vom Einzelteil zum Gesamtsystem hin selbst erarbeiten.

### 4.3 Versuchsdurchführung

Die Durchführung wurde mit einer Stichprobe ( $n = 22$ , davon  $n = 12$  mit Modellen und  $n = 10$  mit Bildern) aus Studierenden der Maschinenbau-Mastervorlesung Gerätekonstruktionslehre am KIT durchgeführt. Die Teilnehmenden waren über die Vorlesung schon in vier Gruppen geteilt und es wurden an mehreren Tagen im gleichen Raum mehrere Durchgänge mit wechselnden Teilnehmenden veranstaltet. Die Probanden wurden zufällig auf Einzelplätze verteilt, durch Trennwände separiert und einer Versuchsgruppe zugeteilt. Betreuungspersonen waren für jeden Einzelplatz zugeteilt, um den zeitlichen und inhaltlichen Ablauf zu kontrollieren und Material passend bereitzustellen. Allen Teilnehmenden wurden in der Modellphase folgende technischen Modelle präsentiert: Sperrklinkenfreilauf, Klemmrollenfreilauf, Fliehkraftkupplung, Formgehemme (Rutschkupplung) und Formgesperre.



Abbildung 3: Multimodales Technikmodell eines Sperrklinkenfreilaufs

Der Probanden der Testgruppe wurden die Modelle als haptische Lehrmodelle der Firma LehrWerk FJ UG als Anschauungsobjekte bereitgestellt. Die Kontrollgruppe erhielt Ausdrucke von Fotos dieser Modelle. Die Aufgabenblätter dienten als Leitfaden für Probanden und Betreuende, waren ausgedruckt und gruppiert, sodass ein reibungsloser Ablauf erzielt werden konnte.

Einführung	Modelle	Aufgabe	Reflexion	Teilnehmer «Kodierung»
<p><b>Phase III – Teil 1</b>            1. Was passiert bei Drehung in die angezeigte Richtung?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a) <span style="background-color: yellow; padding: 2px;">III.1.1</span></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>b) <span style="background-color: yellow; padding: 2px;">III.1.2</span></p> </div> </div> <p>2. Zeichnen Sie Position und Wirkflächenpaare bei Drehung in die angezeigte Richtung ein.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a) <span style="background-color: yellow; padding: 2px;">III.2.1</span></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>b) <span style="background-color: yellow; padding: 2px;">III.2.2</span></p> </div> </div> <p>3. Was ist die Gesamt-/Hauptfunktion des Bauteils?  <span style="background-color: yellow; padding: 2px;">III.3</span> _____</p> <p>4. Was sind mögliche sinnvolle Anwendungsgebiete dieses Bauteils?  <span style="background-color: yellow; padding: 2px;">III.4</span> _____</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">→ Abschnitt abgeben</div>				<p>Reflexion</p>
Gerätekonstruktionslehre	Workshop	30.01.15		1/6

Abbildung 4: Aufgabenblatt der Phase 3

Entsprechend eines vordefinierten Zeitplans wurden die Aufgaben bearbeitet. Abschließend wurde den Teilnehmenden die umgesetzte Lösung im käuflichen Gerät präsentiert. Nach Ablauf der Gesamtbearbeitungszeit haben die Teilnehmenden gemeinsam mit den Paten ihr Vorgehen und das Erlebte anhand der ausgefüllten Arbeitsblätter frei reflektiert.

## 4.4 Untersuchungsergebnisse

Zur statistischen Untersuchung wurde 23 Teilantworten jeweils ein Test-Element zugeordnet und die Kategorien eines Test-Elementes wiederum als separate Test-Items modelliert. Ein Test-Element ist in diesem Kontext eine gegebene Antwort oder Kombination, welche als probandenspezifische Quelle für Rückschlüsse im Rahmen der Auswertung verwendet wird. So teilen sich 23 Test-Elemente auf 36 Test-Items in Phase II, 58 Test-Items in Phase III und 4 Test-Items in Phase IV auf.

### 4.4.1 Datengrundlage, Codierung, Scoring und Modellzuordnung

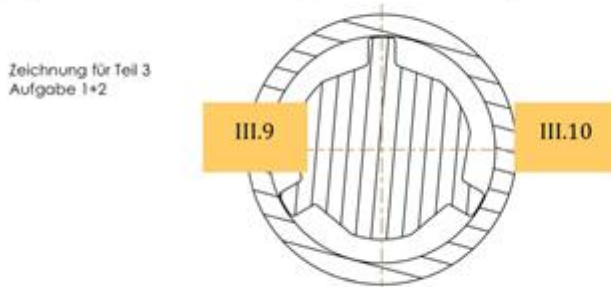
Die Lesbarkeit der Antworten war ausreichend. Dabei entsprachen die Antworten nicht immer den erwarteten Inhalten. Teilweise wurde das Codierungsschema um Synonyme erweitert. Vor allem die teilweise geringe (fachliche) Qualität der Sprache der Antworten war unerwartet. Hinweise, welche Aspekte von den Probanden in ihrer Antwort beachtet sein sollten, wurden überraschenderweise nur selten tatsächlich als Begriffe in die Antworten der Probanden eingebracht (vgl. Sonnenschein 2015, S. 35). Trotz der insgesamt eher kleinen Stichprobe konnten Daten ausreichender Qualität und Menge erhoben werden.

Die erhobenen Frage- bzw. Aufgabenbögen konnten vollständig ausgewertet und digitalisiert werden. Das hierzu verwendete dichotome Codierungsschema listet zu jedem der 23 Test-Elemente die erwarteten Antworten auf die Test-Items verteilt auf. Zur Digitalisierung der Daten wurde das richtige Nennen eines Test-Items gemäß Codierungsschema mit *1* codiert. War die Aufgabe seitens des Probanden bearbeitet, die geforderte Antwort oder der geforderte Begriff fehlte aber, so wurde das Test-Item mit *0* codiert. Bei Nichtbearbeitung der Teilantwort, wurde das Test-Item mit *NA* codiert. (vgl. Sonnenschein 2015, S. 35). Das Scoring erfolgte durch die Versuchsleiterin.

Die Items wurden entsprechend inhaltlicher Kriterien verschiedenen Gruppen zugeordnet und unabhängig von ihrer Gruppierung dem Modell technischer Problemlösekompetenz zugeordnet. Beispielsweise bilden die Itemgruppen G.II.1-5 fachliches Vorwissen in Bezug auf die gezeigten Lehrmodelle ab (Beispielaufgabe: Haben Sie das dargestellte Bauteil schon einmal gesehen? Ja/nein. Wie heißt das Bauteil? Beschreiben Sie kurz die Funktion des Bauteils). Besonders hervorzuheben sind im Kontext technischer Problemlösekompetenz Items am Übergang zwischen Systemanalyse und Lösungssynthese:

**Teil 3**

1. Zeichnen Sie die Klemmrollen eines zweiseitigen sperrenden Klemmrollenfreilaufs in einem gesperrten Zustand ein und geben Sie den entsprechenden Drehsinn in der Zeichnung an.



2. Zeichnen Sie zusätzlich in die Zeichnung von 1. die Wirkflächenpaare ein, die es ermöglichen, den gesperrten Zustand aufzuheben. (Bitte andere Farbe nutzen)

Abbildung 5: Beispielaufgabe

#### 4.4.2 Skalierung

Im Rahmen einer Vorselektion wurden Items mit zu geringer Antwortrate, niedriger Trennschärfe und zu geringer Antwortvarianz. Die anschließende Skalierung nach dem dichotomen Raschmodell erfolgte mittels des pairwise-Algorithmus (vgl. Heine & Tarnei 2015) in R durchgeführt. Die Eindimensionalität der Itemgruppen wurde mittels Rasch-Residuenfaktorenanalyse untersucht, wobei keine Lockerung der Modellannahmen des dichotomen Raschmodells zugelassen wurde, sondern Items ausgeschlossen wurden, für die keine ausreichende Passung vorlag. Die berechneten Personenparameter wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet, mittels F-Test auf Varianzgleichheit untersucht und durch den t-Test auf Mittelwertgleichheit hin betrachtet. Die Berechnung der Effektstärke erfolgte schließlich mit Hedges'g auf Basis der Personenparameter.

Die Entscheidung für das dichotome Raschmodell erfolgte trotz der vorhersehbaren Probleme infolge Stichprobenumfang und Variablenstruktur aus inhaltlichen Gründen. So erfordert Raschkonformität zwar strenge Modellannahmen, kann aber daher auch als Mittel der Qualitätssicherung aufgefasst werden. Des Weiteren bietet die IRT-Modellierung eine ausgezeichnete Grundlage für stichprobenunabhängige Aussagen; vorausgesetzt, die Stichprobe ist repräsentativ. Um trotz der kleinen Stichprobe entsprechend des Raschmodells skalieren zu können, musste mit einer sehr dünn besetzten Datenmatrix gerechnet werden. Hierfür bewies sich der pairwise-Algorithmus als bestens geeignet und konvergierte zuverlässig.

#### 4.4.3 Interpretation der Effekte multimodaler Technikmodelle

Mithilfe der berechneten Effektstärken und Item-Gruppierungen lassen sich nun erste Aussagen über die möglichen Einflüsse der Verwendung von multimodalen Modellen im Lernprozess treffen. Hierzu werden die Ergebnisse der Versuchsgruppe (n = 12, mit Modellen) mit denen der Kontrollgruppe (n = 10, mit Bildern) verglichen. Im Folgenden sollen hiervon exemplarisch einige aufgezeigt werden.

Beginnend mit den unerwarteten Effekten zeigt die Item-Gruppe G.III.7 eine Aufgabe in denen die Versuchsgruppe schlechter als die Kontrollgruppe Hauptfunktionen hinsichtlich gegebener Hinweise beschreiben konnte. Dieser Effekt tritt mit einer relativ kleinen Effektstärke auf. Bei der genannten Item-Gruppe G.III.7 handelt es sich um folgende Teilaufgabe: Erörtern Sie die Hauptfunktion der zu entwickelnden Komponente „Mech“ hinsichtlich Sperr- und Freigabe-richtung.

Ganz direkt lässt sich der Effekt nicht erklären und die schmale Datenlage lässt auf Effektstärkenebene keine weiteren Vergleiche zu. Analytisch betrachtet, fällt aber auf, dass G.III.7 die erste Fragestellung ist, die eine ausführliche, schriftliche Freitextantwort fordert und bei denen gegebene Hinweise erkannt werden müssen. Zudem wurde in der Reflexion ersichtlich, dass diejenigen Problemstellungen, die eine erörternde oder lange Antwort forderten, von Probanden ausgelassen wurden. Eine Verzerrung der Effekte durch Unterschiede in der Qualität der Sprache oder der Motivation seitens der Probanden ist nicht unwahrscheinlich. (vgl. Sonnenschein 2015, S. 45)

Bei den anderen Vergleichen zeigen sich Effekte zugunsten der Versuchsgruppe. Es zeigen sich mehrere mittelstarke bis starke Effekte, die auf die Wirksamkeit der Lehrwerk Modelle hinweisen. Über die einzelnen Itemgruppen hinaus lässt sich eine große Effektstärke beim Handlungswissen und eine mittlere bei der Fähigkeit zur Modellbildung erkennen. Hinsichtlich der Prognosefähigkeit konnten nur kleine Effekte festgestellt werden.

Die Versuchsgruppe konnte in diesem Kontext besser Betriebszustände identifizieren, Bauteilverhalten vorhersagen und Sachwissen umsetzen. Zudem war eine verbesserte Handlungsfähigkeit bei der Einzeichnung von Kraftflüssen, Komponenten und Wirkflächenpaaren zu sehen.

Die Itemgruppe G.III.1 bildet hier das Verständnis und Vorstellungsvermögen ab, bei dem sich eine gegebene Zeichnung räumlich und bewegt vorgestellt werden muss. Es soll dabei die resultierende Funktion des Bauteils erkannt werden.

Ähnlich hierzu bildet die Itemgruppe G.III.5 ein komplettes System – einen Akkuschauber – ab, welcher schematisch dargestellt ist. Anhand dieses Systems soll der Proband die verschiedenen existierenden Betriebszustände erkennen und benennen.

Als Grundlage und Hinführung zur Lösung soll in der Itemgruppe G.III.6 nun der in den Betriebszuständen auftretende Kraftfluss in die schematische Darstellung eingezeichnet werden. Besondere Aufmerksamkeit ist der Itemgruppe G.IV.5 zu widmen, die Items zur Zufriedenheit mit dem Workshop sowie zum erlebten Spaß beinhaltet. Hier kann ein mittelstarker positiver Effekt zugunsten der Versuchsgruppe mit den Modellen beobachtet werden. In der Reflexion wurde zusätzlich sichtbar, dass die Probanden der Versuchsgruppe deutlich zufriedener mit dem Workshop waren.

#### **4.5 Diskussion der Validität**

Unter der Berücksichtigung des hier gewählten Studiendesigns, der Durchführung und der Ergebnisse gilt es zu prüfen ob diese Studie geeignet ist, um Schlussfolgerungen zu zulassen.

Dies wird im Folgenden im Rahmen einer Validitätsbetrachtung entsprechend des Messick'schen Validitätsverständnisses nach Schaper (vgl. Schaper 2014) erörtert.

#### *4.5.1. Inhaltliche Validierung*

Um die inhaltliche Relevanz und Repräsentativität der Studie zu prüfen, muss die Relevanz des interessierenden Konstrukts sichergestellt sein. Da die Studie mit studentischen Probanden im Rahmen von Lehraktivitäten durchgeführt wird, ist eine Anbindung an das Curriculum des Studiengangs Maschinenbau gegeben. Es wurde ein Thema aus dem speziellen Fachbereich der Gerätekonstruktion gewählt und dieses mit Lehrverantwortlichen und Experten aus dem industriellen Umfeld bewertet. Durch die Nähe des gewählten Systems zu in der Vorlesung aufgezeigten Beispielen und vergleichbarer technischer Tiefe ist eine in der Reflexion genannte, einstimmige und deutliche Relevanz und Repräsentativität sowohl der Aufgabenstellung als auch des Konstrukts tPLK gegeben.

#### *4.5.2 Kognitive Validierung*

Um auch den substantiellen Aspekt der Studie zu zeigen und damit die Validität auf Aufgabenebene, muss gezeigt werden, dass auch die Prozesse zur Problemlösung modellkonform sind.

Die Aufgabe wird hierzu in zwei verschiedenen Teilen betrachtet. Im ersten Teil ist die Informationsreduktion und Erfassung im Fokus. Bei dieser erfolgt über Modelle und Bilder eine Einführung in die Aufgabe. Die hier vom Probanden verwendeten Prozesse beziehen sich auf grundlegende Auffassungsgabe des Menschen und besitzen aufgrund der geringen Aufgabentiefe keine alternativen Möglichkeiten.

Im zweiten Teil folgte aufbauend die tatsächliche Analyse und Problemlösung. Hier sind somit komplexere und individuellere Denk- und Handlungsprozesse gefordert. Um hier die kognitive Validität zu gewährleisten, wurden im Studiendesign die Aufgaben so gestaltet, dass stets nur kleine Teilaspekte abgefragt werden und so in Elementarschritten die Gesamtaufgabe abgearbeitet wird. Dadurch sind abweichende Prozesse oder Problemlösungsansätze nicht möglich.

Da die Durchführung unter der Aufsicht einer Betreuungsperson stattfand und bzgl. des Aufgabenverständnisses Rückfragen gestellt werden konnten, sind Einflüsse hier nicht auszuschließen. Durch die Reflexionsphase am Ende der Studie wurde jeder Proband gezielt zu den Einzelaufgaben befragt. Die verwendeten Ansätze und Lösungswege wurden hinterfragt und es wurden keine systematischen Abweichungen von den intendierten Prozessen festgestellt.

Allerdings wurde festgestellt, dass die übergeordnete Aufgabe, einen Überlastschutz zu entwickeln trotz Hinleitung mit Teilaufgaben von keiner teilnehmenden Person gelöst werden konnte. Möglicherweise erfolgte eine zu starke Fokussierung auf Teilaspekte, woraufhin der Blick für das „große Ganze“ verloren ging. Die könnte mit dem Konzept funktionaler Gebundenheit (vgl. Dunker 1945 in Mayer 1979, S. 91) zusammenhängen und wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.



#### 4.5.3 Strukturelle Validierung

Die Passung der empirischen Daten zum Modell technischer Problemlösekompetenz variiert stark zwischen den Itemgruppen. Die Rasch-Residuen-Analyse lieferte Anteile der ersten Komponente zwischen .5 und .9. Bei kleineren Anteilen der ersten Komponente lagen i. d. R. die weiteren Komponenten mit Anteilen zwischen .1 und .2 vor, was auf mehrdimensionale Strukturen hindeutet. Diese Eigenschaften traten vorwiegend bei kleineren Itemgruppen oder hohen NA-Anteilen auf. Infit und Outfit Mean Squares wurden in einem Wertebereich zwischen .7 und 1.3 akzeptiert.

Die Qualität der Skalen des Modells tPLK konnte nur bedingt nachgewiesen werden. Es konnte eine höchst signifikante Korrelation von .81 zwischen der Skala der Anforderung Modellbildung und der Facette Handlungswissen (Kraftflussanalyse) festgestellt werden. Beide Skalen weisen Anteile der ersten Komponente der Rasch-Residuen über .8 auf.

#### 4.5.4 Verallgemeinerungsbezogene Validierung

Im Rahmen dieser Studie war es Ziel, erste Hinweise und einen Proof-of-Concept zu erarbeiten, sodass die Erfüllung dieser Validität nur eingeschränkt berücksichtigt wurde. Durch die Stichprobenziehung, den beschränkten Umfang und Einbußen bei Objektivität und Reliabilität durch das single Rater Scoring-Design sowie mangelnde Retests besteht nach wie vor kein Anspruch, finale Aussagen über die Verallgemeinerbarkeit zu tätigen.

Dennoch sind in Bezug auf die Vorhersagbarkeit des Verhaltens hypothesenkonforme Zusammenhänge aufgetreten, welche einen möglichen Hinweis auf eine allgemeinere Gültigkeit geben könnten. So ist die Erwartung eingetreten, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der Verwendung von haptischen Modellen und der anschließend beobachteten Problemlöseperformanz existiert.

Erste Hinweise auf eine Verallgemeinerbarkeit sowohl der Gültigkeit von tPLK als auch der positiven Effekte multimodaler Technikmodelle konnten im Rahmen eines Forschungsprojekts zur Entwicklung technischer Problemlösekompetenz bei Schülerinnen und Schülern der 8. bis 10. Klasse gefunden werden. Auch hier waren gesteigerte Motivation sowie disjunkte Dimensionen technischer Problemlösekompetenz zu beobachten (Geiger, Breitschuh und Matthiesen (2016)).

#### 4.5.5 Externe Validierung

Wie schon im Rahmen der Nebenhypothesen erwähnt, ist auch von Seiten der Probanden der wahrgenommene Spaß erhöht und eine Motivationssteigerung bestätigt. Dies ist im Lehrumfeld ein wichtiger Faktor, da Spaß auch andere Prozesse (wie z.B. den Lernprozess) begünstigt:

"Ein interessanter Aspekt der Enkodierspezifität bezieht sich auf die Stimmung beim Lernen und Testen (»mood-state-dependent memory«). Was man in fröhlicher Stimmung lernt, erinnert man auch in fröhlicher Stimmung besser als in trauriger Stimmung und umgekehrt. Nach Ucross (1989), der 40 Studien zu diesem Stimmungseffekt gesichtet hat, wird die Idee des stimmungsabhängigen Erinnerns deutlich gestützt. Der Effekt ist stärker, wenn in positiver

Stimmung als wenn in negativer Stimmung gelernt wird." (vgl. Hoffmann & Engelkamp 2013, S. 156)

Die Teilnehmer hatten in der Reflexion die Möglichkeit Ihre Erfahrungen als Freitext zu übermitteln und damit einen weiteren Einblick in die Ergebnisse dieses Ansatzes gegeben. Die dabei angesprochenen Elemente der Studie sollen im Folgenden kurz mit Zitaten ergänzt werden. Die Zitate wurden meist in Stichpunkten oder Kurzsätzen gegeben.

Auf die Frage was an der Studie gut sei, wurde mehrmals deutlich Bezug auf die verwendeten Mechanikmodelle von LehrWerk genommen und das haptische Erfassen: „Modelle zum Anfassen“; „Verständnisfördernde Modelle am Anfang“; „Greifbare Modelle“; „Solche Freiläufe in der Hand zu halten, nicht nur Bilder“. Dies lässt vermuten, dass nicht nur der gewählte Studieninhalt und die Modellverwendung, sondern auch die allgemeine Beschäftigung mit realitätsnahen Bauteilen, einen deutlichen Kontrast zu rein bildbasierten Lernmitteln darstellt.

Der Abschluss, die damit verbundene Reflexion und Erklärung der Lösung wurden als gut befunden: „Besprechen der Lösung“; „Aha-Erlebnis“; „Neue Funktion aus Kombination bekannter Prinzipien, voll gut!“ Hier lässt sich ein Lernzuwachs mit der Erkenntnis zum Mehrwert vermuten und damit eine Bestätigung der Relevanz der Fragestellung und verwendeten Methode. Die Teilnehmerstimmen zeigen in eigenen Worten die Wirksamkeit und Eignung der Studie für die Hypothesen und geben damit einen Hinweis auf externe Validität.

Im Sinne einer externen Validierung des Konstrukts technischer Problemlösekompetenz konnten angesichts zeitlicher Restriktionen keine vertieften Anstrengungen unternommen werden. Zukünftig wird zu zeigen sein, dass technische Problemlösekompetenz ein eigenständiges Konstrukt neben allgemeiner Problemlösefähigkeit, Intelligenz und anderen möglichen Determinanten der Lösungsfähigkeit komplexer Probleme ist. Durch die Definition fachspezifischer Wissensinhalte (wie bspw. Handlungswissen der Kraftflussanalyse) kann gemäß bestehender Forschung (vgl. Süß 1998) jedoch von einer Eigenständigkeit des Konstrukts ausgegangen werden, auch wenn empirische Nachweise noch ausstehen.

#### *4.5.6 Konsequentielle Validität*

Die Interpretation der vorliegenden Ergebnisse muss mit Vorsicht verstanden werden. Aufgrund vielfältiger Störquellen können die vorliegenden Daten lediglich als Hinweise verwendet werden. Insbesondere die Anwendung des Raschmodells auf einen solch kleinen Datensatz konnte keine reliablen Ergebnisse erzielen, da hier entschieden größere Stichproben erforderlich sind. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass auf Basis der hier vorgestellten Forschungsarbeit erfolgreiche Replikationen des Experiments und der Beobachtungen erzielt werden können.

## **5 Fazit und Ausblick**

Die Beobachtung, dass besseres Handlungswissen der Kraftflussanalyse zu verbesserter Leistung bei der Modellbildung führt, ist schlüssig und modellkonform. Somit kann festgehalten werden, dass tatsächlich mehrere einzelne Dimensionen technischer Problemlöse-

kompetenz existieren. Die Eingangshypothese über die Struktur wurde nicht widerlegt, bleibt bestehen und muss in weiteren Studien untersucht werden.

Auch der positive Effekt der multimodalen Technikmodelle auf die Leistungsmotivation ist konform mit den Eingangsannahmen. Ein positiver Effekt hinsichtlich besserem Erwerb von Sachwissen konnte nicht direkt beobachtet werden, dennoch war ein verbessertes Systemverständnis sichtbar. Die Eingangshypothese konnte folglich nicht widerlegt werden, bedarf aber weiterer Untersuchungen hinsichtlich des Erwerbs von Sachwissen.

## Danksagung

Herr Breitschuh dankt ganz herzlich Herrn Jörg-Henrik Heine dafür, dass er seine Begeisterung für Psychometrie erfolgreich geteilt hat. Ohne die Impulse während des gemeinsamen KOMING-Projektes wäre diese Forschungsarbeit nicht entstanden. Ferner danken Herr Breitschuh und Frau Sonnenschein Herrn Fuchs, der die Modelle seiner Firma LehrWerk zur Verfügung gestellt hat und stets mit Rat, Tat und außerordentlichem Gespür für spannende wissenschaftliche Fragestellungen zur Seite stand.

## 6 Literaturverzeichnis

Abele, S., Greiff, S., Gschwendtner, T., Wüstenberg, S., Nickolaus R., Nitzschke, A. & Funke J. (2012). Dynamische Problemlösekompetenz - Ein bedeutsamer Prädiktor von Problemlöseleistungen in technischen Anforderungskontexten? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* Juni 2012, Volume 15, Issue 2, pp 363–391 . Springer Verlag.

Acatech. (2013). *Faszination Konstruktion: Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel*. Albers, A., Berend D. & Matthiesen, S. (Hrsg.). Springer-Verlag

Albers, A., Birkhofer, H. & Matthiesen, S. (1999). Neue Ansätze in der Maschinenkonstruktionslehre. In: *Beitz Kolloquium*. S. 99.

Blömeke, S. & Zlatkin-Troitschanskaia, O. (2013). Kompetenzmodellierung und Kompetenzerfassung im Hochschulsektor: Ziele, theoretischer Rahmen, Design und Herausforderungen des BMBF-Forschungsprogramms KoKoHs (KoKoHs Working Papers, 1). Berlin & Mainz: Humboldt-Universität & Johannes Gutenberg-Universität.

Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart; Berlin; Köln; Mainz: Kohlhammer.

Ernst, G. W. & Newell, A. (1969). *GPS: a case study in generality and problem solving*. New York, Academic Press.

Fleischer, J., Wirth, J., Rumann, S. & Leutner, D. (2010). Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz. Analyse von Aufgabenprofilen. Projekt Problemlösen. In: *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes*, *Zeitschrift für Pädagogik*. Bd. Beiheft. Weinheim; Basel: Beltz, S. 239–248.

Geiger, K., Breitschuh, J. & Matthiesen, S. (2016). Denken wie ein Ingenieur – Unterrichtseinheit für Schulen zum Erleben technischen Problemlösens. In: Knutzen, S.; Kammasch, G.; Klaffke, H. (Hrsg.): Tagungsband der 11. Ingenieurpädagogischen Regionaltagung.

Glock, F. (1998). Konstruieren als sozialer Prozeß: eine Untersuchung technischen Gestaltens.

Hacker, W. (2002). Konstruktives Entwickeln: Psychologische Grundlagen. In: Denken in der Produktentwicklung: psychologische Unterstützung der frühen Phasen Bd. 33.

Heine, J. & Tarnai, C. (2015). Pairwise Rasch model item parameter recovery under sparse data conditions. In: Psychological Test and Assessment Modeling Bd. 57, Nr. 1, S. 3

Hoffmann, J. & Engelkamp, J. (2013). Lern- und Gedächtnispsychologie. Springer-Lehrbuch.

Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. In: Zeitschrift für Pädagogik Bd. 52, Nr. 6, S. 876–903.

Kuhn, C., Zlatkin-Troitschanskaia, O., Pant, H. A. & Hannover B. (2016). Valide Erfassung der Kompetenzen von Studierenden in der Hochschulbildung. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Juni 2016, Volume 19, Issue 2, pp 275–298. Springer Verlag.

Matthiesen, S., Hohmann, S., Schmidt, S., Breitschuh, J., Lohmeyer, Q. & Krebs, S. (2013). Erschließung mechatronischer Synergiepotentiale durch kooperationsorientierte Lehre (koop-L). 11. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik (KT 2013). Aachen: Shaker.

Mayer, R. (1979). Denken und Problemlösen: eine Einführung in menschliches Denken und Lernen. Berlin; New York: Springer.

Musekamp, F., Mehrafza M., Heine J., Schreiber B., Saniter A., Spöttl G., Breitschuh J., et. al. (2013). Formatives Assessment fachlicher Kompetenzen von angehenden Ingenieuren – Validierung eines Kompetenzmodells für die Technische Mechanik im Inhaltsbereich Statik. In: Kompetenzmodellierung und Kompetenzmessung bei Studierenden der Wirtschaftswissenschaften und der Ingenieurwissenschaften. Bd. Sonderheft. Lehrerbildung auf dem Prüfstand. Landau in der Pfalz: Verlag Empirische Pädagogik.

Pahl, G. (Hrsg.) (1994). Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Ladenburger Diskurs. Deutschland: Verlag TÜV Rheinland.

Reitman, W. (1965). Cognition and thought. An information processing approach. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Schaper, N. (2014). Validitätsaspekte von Kompetenzmodellen und -tests für hochschulische Kompetenzdomänen. In: Kompetenz im Studium und in der Arbeitswelt, 1.Aufl., 12:18–41. Berufliche Bildung in Forschung, Schule und Arbeitswelt. Peter Lang.

Sonnenschein, E. (2015). Fachliche Problemlösekompetenz in der Maschinenkonstruktion. Betreute Bachelor-Abschlussarbeit am IPEK am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) unter Betreuung von Prof. Albers und Co-Betreuung von Hr. Breitschuh.

Stemmann, J. & Lang, M. (2014). Theoretische Konzeption einer allgemeinen technischen Problemlösefähigkeit und Möglichkeiten ihrer Diagnose. *Journal of Technical Education (JOTED)*, Jg. 2 (Heft 1), S. 80-101.

Süß, H.-M. (1998). Diagnostik der operativen Intelligenz oder: Brauchen wir ein neues Fähigkeitskonstrukt? *Zeitschrift für differentielle und diagnostische Psychologie* 19, no. 1 (1998): 65.

OECD, The PISA (2003). *Assessment Framework – Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge Skills*.

Weinert, F. (2001). *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – Eine umstrittene Selbstverständlichkeit* Weinheim u. Basel. Beltz.

Zlatkin-Troitschanskaia, O., Pant, H. A., Kuhn, C., Toepper, M. & Lautenbach, C. (2016) *Messung akademisch vermittelter Kompetenzen von Studierenden und Hochschulabsolventen: Ein Überblick zum nationalen und internationalen Forschungsstand*. Springer-Verlag, 2016.

## **Autoren**

Dipl.-Ing. Jan Breitschuh

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK - Institut für Produktentwicklung

Kaiserstr. 10, D-76131 Karlsruhe

jan.breitschuh@kit.edu

B. Sc. Eva Sonnenschein

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK - Institut für Produktentwicklung

Kaiserstr. 10, D-76131 Karlsruhe

mail@eva-sonnenschein.de

M. Sc. Jonas Fuchs

LehrWerk FJ UG (haftungsbeschränkt)

Rudolfstr. 8, D-76131 Karlsruhe

fuchs@lehrwerk.com

Prof. Dr.-Ing. Albert Albers

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK - Institut für Produktentwicklung

Kaiserstr. 10, D-76131 Karlsruhe

albert.albers@kit.edu

---

Zitieren dieses Beitrages:

Breitschuh, J., Sonnenschein, E., Fuchs, J. & Albers, A. (2016). Fachliches Problemlösen in der Maschinenkonstruktion - Untersuchung von Struktur und Erlernbarkeit mittels multimodaler Technikmodelle. Journal of Technical Education (JOTED), Jg. 4 (Heft 2), S. 212-232.