

# **Schlussbericht**

**für ein Forschungsvorhaben im Förderprogramm  
des Bundesministeriums für Bildung und Forschung**

**Förderlinie**

**"Kompetenzmodelle und Kompetenzerfassung KoKoHS"**

**Verbundvorhaben**

***KoM@ING* –**

**Kompetenzmodellierung und Kompetenzentwicklung, integrierte  
IRT-basierte und qualitative Studien bezogen auf Mathematik und  
ihre Verwendung im ingenieurwissenschaftlichen Studium**

Teilprojekt C/Kiel: Domäne Höhere Mathematik

Beteiligte:

Aiso Heinze, Irene Neumann

Abteilung Didaktik der Mathematik

Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel

# Inhalt

<b>I. Kurzdarstellung</b>	<b>2</b>
I.1. Aufgabenstellung	2
I.2. Voraussetzungen	2
I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	3
I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
<b>II. Eingehende Darstellung</b>	<b>5</b>
II.1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	5
II.1.1 <i>Curriculare Analysen</i>	5
II.1.2 <i>Eingangstest</i>	6
II.1.3 <i>Ausgangstest</i>	7
II.1.4 <i>Beschreibung der mathematischen Kompetenzen von Ingenieurstudierenden</i>	9
II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	12
II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	12
II.4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses	12
II.5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	13
II.6. Veröffentlichungen	13
<b>III. Anlagen</b>	<b>15</b>
III.1. Erfolgskontrollbericht	15
III.1.1 <i>Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen</i>	15
III.1.2 <i>Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens</i>	15
III.1.3 <i>Fortschreibung des Verwertungsplans</i>	15
III.1.4 <i>Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben</i>	16
III.1.5 <i>Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer</i>	16
III.1.6 <i>Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung</i>	16
III.2. Berichtsblatt	17
III.3. Document Control Sheet	18
III.4. Literaturverzeichnis	19
Testheft Eingangstest	
Testheft A Ausgangstest	
Testheft B Ausgangstest	

## I. Kurzdarstellung

### I.1. Aufgabenstellung

Mit dem Förderprogramm „Kompetenzmodellierung und Kompetenzerfassung im Hochschulsektor“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sollte das Feld der Kompetenzforschung im tertiären Bereich in Deutschland gestärkt werden (BMBF, 2010). Dabei stand insbesondere Grundlagenforschung in (1) der Konzeptualisierung domänenspezifischer oder generischer Kompetenzmodelle sowie (2) der Entwicklung und Erprobung von Messinstrumenten zur Erfassung von Kompetenzen im Vordergrund. Das Teilprojekt C/Kiel im Verbundvorhaben „KoM@ING – Kompetenzmodellierung und Kompetenzentwicklung, integrierte IRT-basierte und qualitative Studien bezogen auf Mathematik und ihre Verwendung im ingenieurwissenschaftlichen Studium“ ist in beiden Bereichen zu verorten. Die Arbeiten des Teilprojekts C am Standort Kiel fokussierten dabei ausschließlich auf die Domäne Höhere Mathematik für Ingenieurwissenschaften. Die anderen Domänen des Teilprojekts C wurden beim Kooperationspartner des Teilprojekts C am Standort Stuttgart bearbeitet.

Mathematik ist für viele Disziplinen eine wichtige Bezugswissenschaft, indem sie eine Symbolsprache bereitstellt, mit der Zusammenhänge aus ganz verschiedenen Bereichen beschrieben werden können. Die Ingenieurwissenschaften als sogenannte angewandte Wissenschaften greifen insbesondere auf mathematische Modelle und Prozeduren zurück, um diese für eine Anwendung bei ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen einzusetzen und weiterzuentwickeln. So müssen beispielsweise bei der Konstruktion einer Hängebrücke unter anderem die mathematischen Verfahren der Vektorrechnung angewandt werden. Dieser Charakter der Ingenieurwissenschaften spiegelt sich auch in den entsprechenden Studiengängen wider. So wurden etwa für das Fach Maschinenbauingenieurwesen auf Basis von Analysen der Curricula und Prüfungsaufgaben an Universitäten und Fachhochschulen die vier Inhaltsbereiche Höhere Mathematik, Technische Mechanik, Werkstofftechnik und Konstruktionstechnik als Kernbereiche der ingenieurwissenschaftlichen Grundbildung identifiziert (Nickolaus et al., 2013). Dabei stellen die Höhere Mathematik und Technische Mechanik die mathematischen und physikalischen Grundlagen für die Modelle der aufbauenden Bereiche Werkstofftechnik und Konstruktionstechnik bereit. Um Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium zu beschreiben, zu erfassen und zu untersuchen, ist es daher unerlässlich, die mathematischen Kompetenzen von Studierenden einzubeziehen.

Ziel des Projekts KoM@ING Teilprojekt C/Standort Kiel (KoM@ING-TPC/Kiel) war daher die Entwicklung eines Kompetenztests für den Bereich der Höheren Mathematik (HM) im ingenieurwissenschaftlichen Studium. Um die Entwicklung mathematischer Kompetenz und auch die Rolle dieser Kompetenzen für die Entwicklung anderer Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium, sollten diese einerseits zu Studienbeginn und andererseits zum Ende der mathematischen Ausbildung (standortbedingt nach dem zweiten oder dritten Semester) erfasst werden.

### I.2. Voraussetzungen

Um das Projekt KoM@ING Teilprojekt C/Kiel realisieren und das oben genannte Ziel erreichen zu können, war insbesondere Expertise hinsichtlich (a) der Modellierung mathematischer Kompetenzen, (b) der Entwicklung von Tests zur Erfassung mathematischer Kompetenzen sowie (c) der Analyse empirischer Daten hinsichtlich der Güte von Testinstrumenten notwendig. Diese Expertise war von der bearbeitenden Gruppe an der Abteilung für Didaktik der Mathematik am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik unter der Leitung von Prof. Dr. Aiso Heinze gegeben, die seit mehreren Jahren in Studien zur Kompetenzerfassung involviert ist (z.B. PISA Studie 2012, oder das Nationale Bildungspanel NEPS) und so auf Erfahrung aus einschlägigen eigenen Vorarbeiten zurückgreifen konnte.

Eine notwendige Voraussetzung für die erfolgreiche empirische Erprobung der entwickelten Instrumente war der Zugang zu Stichproben an der Hochschule. Dieser gestaltete sich im Verlauf des Projekts jedoch zunehmend schwierig. Während für den Messzeitpunkt zu Beginn des Studiums eine äußerst zufriedenstellende Stichprobengröße erreicht werden konnte, wurde zum Ende der mathematischen Ausbildung im Ingenieurstudium nur unter sehr hohem Aufwand eine Mindeststichprobengröße realisiert, die gerade ausreichend für erste Analysen war. Bei der Stichprobenakquise trat insbesondere das Problem auf, dass Hochschullehrende keine Vorlesungszeit für die Erhebung zur Verfügung stellten und Erhebungen außerhalb von Lehrveranstaltungen terminiert werden mussten. Zu diesen fanden sich jedoch nur sehr wenige Teilnehmende ein, auch trotz angekündigter finanzieller Incentives. Aufgrund dieser Zugangsproblematik zum Feld konnten insbesondere nur für eine sehr

kleine Teilstichprobe Daten zu beiden Messzeitpunkten erhoben werden, die lediglich erste Hinweise auf eine Kompetenzentwicklung zulassen. Die entsprechenden Abweichungen vom Arbeitsprogramm wurden in den jährlichen Zwischenberichten erläutert. Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass am Standort Kiel zusätzliche, d.h. nicht geplante Maßnahmen zur Stichprobenrekrutierung nur in beschränktem Umfang vorgenommen werden konnten. Dies ist wesentlich auf die Nichtgenehmigung der ursprünglich beantragten Mitarbeiterstelle für den Standort Kiel zurückzuführen. Im Gegensatz zu den anderen Teilprojekten im Verbundvorhaben KoM@ING wurden dem Standort Kiel lediglich Mittel für studentische Hilfskräfte zur Verfügung gestellt, sodass bereits die geplante Projektarbeit nur durch Unterstützung durch Haushaltspersonal ermöglicht werden konnte und für unvorhergesehene Arbeiten keine weiteren Kapazitäten zur Verfügung standen. Trotz dieser Schwierigkeiten ist insbesondere die ausgezeichnete Zusammenarbeit innerhalb des Teilprojekts C mit der Projektgruppe am Standort Stuttgart (AG Prof. Dr. Nickolaus) hervorzuheben, die die Erhebungen zum ersten Messzeitpunkt sowie teilweise zum zweiten Messzeitpunkt organisiert und durchgeführt hat und damit die Personalkürzung mit kompensiert hat.

### **I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Projekt wurde mit einer Laufzeit von Februar 2012 bis Januar 2015 beantragt und bewilligt. Als sich herausstellte, dass sich der Feldzugang insbesondere für den Messzeitpunkt nach Abschluss der mathematischen Ausbildung im Ingenieurstudiengang schwierig gestaltet, wurde eine Verlängerung um weitere sechs Monate, d.h. bis Juli 2015 beantragt und bewilligt. Geplant waren im Teilprojekt C (Kiel + Stuttgart) insbesondere zwei Längsschnittstudien, eine zur Modellierung der Kompetenzen im Bereich der Höheren Mathematik (durch Standort Kiel) und der Technischen Mechanik (durch Standort Stuttgart) sowie eine zur Modellierung und Entwicklung der Kompetenzen im Bereich der Werkstofftechnik und der Konstruktionstechnik (durch Standort Stuttgart mit Höherer Mathematik als Kovariate). Aufgrund der in den Zwischenberichten sowie oben geschilderten Zugangsproblematik zum Feld konnten diese Längsschnittstudien nicht wie geplant durchgeführt werden.

Insgesamt gliederte sich das Teilprojekt C in sechs Arbeitspakete (AP1-6), die sich für den Standort Kiel auf den Bereich Höhere Mathematik bezogen:

- Curriculare Analysen (AP1)
- Testentwicklung (AP2)
- Pilotierung und Optimierung des Tests (AP3)
- Haupterhebungen (AP4, AP5)<sup>1</sup>
- Auswertung und Berichterstattung (AP6).

Zu Beginn des Projekts stand die Entwicklung eines theoretischen Kompetenzmodells im Fokus. Das Modell sollte Kompetenzen im Bereich der Höheren Mathematik (HM) beschreiben, wie sie im Laufe der mathematischen Grundausbildung in einem ingenieurwissenschaftlichen Studiengang erworben werden. Dazu wurden von Februar bis Mai 2012 curriculare Analysen auf Basis von Modulbeschreibungen und Veranstaltungsunterlagen (AP1) durchgeführt, um die Inhalte der Ausbildung im Bereich Höherer Mathematik zu identifizieren. Parallel dazu wurde im April 2012 mit der Entwicklung des Eingangstests (HMe) begonnen (AP2). Dies geschah in enger Abstimmung mit und auf Basis von Vorarbeiten der Arbeitsgruppe Nickolaus (U Stuttgart). Im zweiten Halbjahr 2012 wurden Aufgaben für den Ausgangstest (HMa) auf Grundlage des theoretischen Kompetenzmodells und der curricularen Analysen aus AP1 entwickelt. Beide Tests wurden einer Pilotierung unterzogen (AP3), deren Ergebnisse zur Optimierung der jeweiligen Tests genutzt wurden (HMe: bis September 2012; HMa: erstes Halbjahr 2013). Die Haupterhebung der Längsschnitte (AP4, AP5) fand zum Wintersemester 2012/13 (HMe) statt. Die Haupterhebungen mit dem Ausgangstest (HMa) begannen planmäßig im Sommer 2013, dauerten jedoch bis zum ersten Quartal 2014, um Standorte mit einer dreisemestrigen Mathematikausbildung einbeziehen zu können. Aufgrund der Feldzugangsproblematik wurde außerdem eine weitere Haupterhebungsphase (ohne Längsschnitt) mit dem HMa noch im ersten und zweiten Quartal 2014/15 durchgeführt. Die Auswertung der Daten (AP6) zum Eingangstest wurde im Jahr 2013, derer zum Ausgangstest im Jahr 2015 durchgeführt. Während der gesamten Laufzeit wurde regelmäßig auf Treffen des Verbundes KoM@ING, im Rahmen des Programms KoKoHS, sowie auf wissenschaftlichen Tagungen Bericht über das Projekt erstattet. Darüber hinaus wurden Publikationen zum Projekt

---

<sup>1</sup> AP5 enthält keine Arbeiten zur Höheren Mathematik und wird im Folgenden nicht weiter ausgeführt.

in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht sowie die entwickelten Testaufgaben für andere Projekte zur Verfügung gestellt.

#### **I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Zu Beginn des Projekts lagen für den ingenieurwissenschaftlichen Bereich keine Arbeiten vor, die sich mit der Kompetenzmodellierung, –erfassung, oder –entwicklung beschäftigten. Daher wurde auf Arbeiten aus anderen Bereichen zurückgegriffen. Insbesondere Vorarbeiten in unterschiedlichen Domänen der beruflichen Ausbildung (Nickolaus, Gschwendtner & Abele 2011; Gschwendtner 2008; 2011; Winther & Achtenhagen 2009; Winther 2011; Seeber 2008, 2009) wurden genutzt, um eine grobe Struktur des theoretischen Kompetenzmodells zu entwickeln. Die inhaltliche Ausgestaltung des Eingangstests orientierte sich an den mathematischen Kompetenzen, die Abiturientinnen und Abiturienten im Laufe ihres Schullebens entwickeln (z.B. KMK, 2012) und zu Beginn des Studiums mitbringen sollten. Jedoch wurden inhaltliche Schwerpunktsetzungen vorgenommen, die in Einklang mit den üblichen Inhalten der Ingenieursmathematik stehen. Hier diente insbesondere die Arbeit von Hauck (2012), die bei den Kooperationspartnern an der Universität Stuttgart in der AG Nickolaus angefertigt wurde, als Quelle für Items für den Test. Die inhaltliche Ausgestaltung des Ausgangstests orientierte sich an den typischen Inhalten der mathematischen Ausbildung für Ingenieure an Hochschulen (wie in AP1 herausgearbeitet). Zur Auswertung der Daten, insbesondere zur Feststellung der Testgüte, wurden Methoden und Software der Item-Response-Theorie herangezogen, wie dies im Bereich der Kompetenzforschung üblich ist (Wu, Adams & Haldane, 2007).

#### **I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Arbeit im Projekt war gekennzeichnet durch eine enge Vernetzung mit der Projektgruppe an der Universität Stuttgart (AG Nickolaus). Diese übernahm, wo möglich, Erhebungen mit den HM-Tests. Die enge Zusammenarbeit zeigt sich insbesondere auch in den gemeinsam verfassten Publikationen. Im Rahmen des Verbundes KoM@ING wurden die im Projekt entwickelten Tests auch in der Arbeitsgruppe von Prof. Rösken-Winter (zunächst Ruhr-Universität Bochum, jetzt Humboldt-Universität zu Berlin) eingesetzt, die insbesondere qualitative Detailanalysen zu den entwickelten Tests vornahm. Auch hierbei wurde eng zusammengearbeitet, was sich ebenfalls an einer gemeinsamen, bereits erschienenen sowie weiteren geplanten gemeinsamen Publikationen zeigt.

## II. Eingehende Darstellung

### II.1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Ziel des Projekts KoM@ING Teilprojekt C/Standort Kiel war die Entwicklung eines Instruments zur Erfassung von Kompetenzen im Bereich der Höheren Mathematik (HM) im ingenieurwissenschaftlichen Studium. Um die Entwicklung dieser Kompetenzen im Verlauf der mathematischen Grundausbildung im Studium nachverfolgen zu können, sollten insbesondere zwei Tests entwickelt werden: einer zur Messung mathematischer Kompetenzen zu Beginn des Studiums („Eingangstest“ HMe), sowie einer zur Messung mathematischer Kompetenzen, die im Laufe der Mathematikausbildung im Studium erworben wurden („Ausgangstest“ HMa). Diese beiden Tests sollten längsschnittlich miteinander verknüpft werden.

Die folgende Darstellung der Arbeiten und Ergebnisse des Projekts KoM@ING Teilprojekt C/Standort Kiel gliedert sich in vier Abschnitte (in Klammern zugehörige Arbeitspakete):

- Curriculare Analysen (AP1)
- Eingangstest (Entwicklung, AP2; Pilotierung und Optimierung, AP3)
- Ausgangstest (Entwicklung, AP2; Pilotierung und Optimierung, AP3)
- Kompetenzbeschreibung von Ingenieurstudierenden (Haupterhebungen, AP4; Auswertung, AP6)

#### II.1.1 Curriculare Analysen

Die curricularen Analysen wurden auf Basis von Modulbeschreibungen und Veranstaltungsunterlagen durchgeführt, die von neun Universitäten und sechs Fachhochschulen stammen. Aufgrund mangelnder Kooperationsbereitschaft einiger Hochschulen sowie der Kürzungen der Personalkapazitäten wurden nur sechs statt neun Fachhochschulen einbezogen, was die Qualität der Ergebnisse aber nicht zu stark beeinträchtigen sollte. Zudem wurde diese Arbeit sehr stark durch die Kooperationspartner in Stuttgart unterstützt. Die Ergebnisse flossen in die Publikation Nickolaus, Behrendt, Dammann, Stefanica und Heinze (2013) ein.

Als grobe thematische Struktur der Mathematikausbildung für Ingenieursstudierenden lassen sich über die Hochschulen hinweg identifizieren: (1) Mathematische Grundlagen, die zum Teil explizit angeführt oder auch implizit behandelt werden, z.B. vollständige Induktion, Aussagenlogik und Mengenlehre; (2) Lineare Algebra und Analytische Geometrie, z.B. Matrizenrechnung, Vektorrechnung, lineare Gleichungssysteme und komplexe Zahlen; (3) eindimensionale Analysis, z.B. mit den Inhalten Folgen, Reihen und Funktionen; (4) Differential- und Integralrechnung, jeweils uni- und multivariat, gegebenenfalls auch Fourier-Reihen und (5) Differentialgleichungen, wobei standortspezifische Unterschiede in den einbezogenen Differentialgleichungstypen zu beobachten sind. Mathematische Grundlagen, Lineare Algebra und Analytische Geometrie, Differential- und Integralrechnung und Differentialgleichungen waren an allen einbezogenen Hochschulen in den Modulbeschreibungen abgesichert. Generell scheint man sich dabei an den Fachhochschulen stärker auf die Grundlagen zu konzentrieren und z.B. auf Themen wie multivariate Differential- und Integralrechnungen weniger Wert zu legen. Bemerkenswert scheinen aus einer diagnostischen Perspektive vor allem die Analyseergebnisse zu den Prüfungszuschnitten, die über alle Hochschulen hinweg darauf hindeuten, dass die Analysis, die Lineare Algebra und Analytische Geometrie, die univariate Differential- und Integralrechnung sowie (einfachere) Differentialgleichungen stark repräsentiert sind. Auch darüber hinaus reichende Analysen der Schwierigkeitsmerkmale der Aufgaben, die in Orientierung an den empirisch in der einschlägigen Forschung ausgewiesenen Kriterien erfolgten, dokumentieren, dass über die großen inhaltlichen Überschneidungen hinaus auch in den Anspruchsniveaus durchaus über die Hochschulen hinweg von einer Vergleichbarkeit ausgegangen werden kann. Die in den Modulbeschreibungen ausgewiesenen Ziele sind in aller Regel relativ abstrakt und werden z.T. auch nochmals mit den inhaltlichen Angaben verknüpft. Neben dem Erwerb grundlegender Kenntnisse in den Inhaltsbereichen wird vor allem auf die Beherrschung methodischer Verfahren und die Fähigkeit abgehoben, die mathematischen Verfahren in technischen Kontexten anzuwenden.

Im Rahmen vertiefender Analysen an drei Hochschulen durch die Stuttgarter Arbeitsgruppe konnte die Relevanz der Modulbeschreibungen abgesichert werden. Bemerkenswert scheint insgesamt, dass sich die Modulbeschreibungen nicht gänzlich als „curriculare Lyrik“ erweisen, sondern die in den Mo-

dulbeschreibungen angeführten Inhalte auch in den Prüfungen weitgehend Entsprechung finden. Was die formulierten Lernziele anbelangt, wird für alle drei näher analysierten Hochschulen ersichtlich, dass einerseits relativ konkrete und andererseits solche Lernziele ausgewiesen sind, die eher zur Legitimation der Mathematik im Rahmen des Maschinenbaustudiums und zur Motivation der Studierenden dienen sollen, wie beispielsweise, dass die mathematische Modellierung ingenieurwissenschaftlicher Sachverhalte im ingenieurwissenschaftlichen Studium von zentraler Bedeutung sei. Mit überwiegend innermathematischen Aufgabenzuschnitten in den Klausuren scheinen diese legitimatorischen Ziele jedoch nicht systematisch operationalisiert und verkörpern vermutlich bezogen auf die mathematischen Lehrangebote allein wenig realistische Zielperspektiven, was auch am angegebenen Workload deutlich wird.

Ausgehend von den curricularen Analysen wurde ein theoretisches Kompetenzmodell hergeleitet, das zunächst als Rahmenmodell für die Aufgabenentwicklung für den Ausgangstest dienen sollte (vgl. Abschnitt II.1.3). Hintergrund war u.a., dass empirisch geprüfte Kompetenzmodelle für die HM, an den man sich hätte orientieren können, bisher nicht vorlagen. Auch sind die vorhandenen Kompetenzmodelle zur Mathematik aus dem schulischen Bereich (z.B. Bildungsstandards) nicht als geeignet anzusehen, da substantielle Unterschiede zwischen schulischen und hochschulischen Lehrangeboten bestehen. Stattdessen wird davon ausgegangen, dass die curricularen Schwerpunktsetzungen, wie sie in den Modulen deutlich werden, strukturelevant für die Kompetenzmodellierung werden. Entsprechend wurde im Anschluss an den Forschungsstand und die Ergebnisse der in AP 1 durchgeführten curricularen Analysen die in Abbildung 1 dargestellte Rahmenstruktur für die Testentwicklung angenommen. Unberücksichtigt blieben dabei die Inhaltsgebiete Stochastik und Numerik, die entsprechend der curricularen Analysen in den Modulen der Höhere Mathematik nicht oder nur partiell abgedeckt sind.

Inhaltsgebiete	Wissenskomponente		Prozesskomponente			
	deklaratives Wissen	prozedurales Wissen		Problemlösen		Argumentieren & Reflektieren
		technische Fertigkeiten	rechnerisches Modellieren	innermath. Problemlösen	begriffliches Modellieren	
1-dim. Analysis						
n-dim. Analysis, Differenzialgleichungen						
Lineare Algebra						
Analytische Geometrie						

**Abb. 1: Rahmenmodell für die Modellierung mathematischer Kompetenzen von Ingenieuren**

### II.1.2 Eingangstest

Da aufgrund der Finanzkürzungen für den Standort Kiel keine wissenschaftliche Mitarbeiterstelle zur Verfügung stand, musste bei der Erstellung des Eingangstests wesentlich auf bereits vorliegende Itempools zurückgegriffen werden. Eine zielgerichtete Entwicklung neuer Items für den spezifischen Projektzweck war allein auf Basis studentischer Hilfskräfte nicht realisierbar. Grundlage war ein vorhandener Itempool für die Mathematik der Sekundarstufe II von Hauck (2012). Dieser umfasste mathematisches Schulwissen in drei Inhaltsbereichen: Grundlagen (z. B. algebraische Routinen wie Auflösen von Gleichungen), eindimensionale Analysis (z. B. Bestimmung der Steigung einer Funktion in einem Punkt) und Analytische Geometrie (z. B. Parameterdarstellung und Normalform einer Ebene). Da der HM-Eingangstest in dem Projekt als Baselinetest vorgesehen war, der in die statistischen Modelle als Kovariate eingeht, wurde kein ausdifferenziertes Aufgabenentwicklungsframework erstellt. Stattdessen wurde Bezug auf die mathematischen Inhalte der Sekundarstufe II genommen.

Aus dem Itempool wurden Items ausgewählt und teilweise angepasst. Darüber hinaus wurden einige neue Items entwickelt, um den Itempool zu ergänzen. In Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern aus Stuttgart wurden die Testitems pilotiert. Auf Basis der Pilotstudie erfolgte die Überarbeitung bzw. die Entwicklung weiterer ergänzender Testitems. Eine Validierung der Items erfolgte anhand einer Einordnung der Items in das Modell der Abiturstandards (KMK, 2012) sowie des Frameworks der European Society for Engineering Education (SEFI, 2013). Darüber hinaus wurden leichte und schwere Items im Rahmen einer Interviewstudie der Kooperationspartner Bettina Rösken-Winter (HU

Berlin) validiert (vgl. Neumann et al., 2015). Als Ergebnis liegt ein Aufgabenheft mit 35 skalierbaren und hochwertigen Testitems zur reliablen und validen Messung von schulischem Vorwissen zur Höheren Mathematik vor, welches zur Haupterhebung verwendet wurde (s. II.1.4). Die Testitems wurden den Partnern im Verbundprojekt KoM@ING zur Verfügung gestellt. Inzwischen wurde der Test auch von weiteren BMBF-geförderten Projekten angefordert (z.B. WiGeMath Hannover, FRAME Frankfurt).

### **II.1.3 Ausgangstest**

Die Entwicklung des Ausgangstests war die zentrale Aufgabe des Projekts am Standort Kiel. Entsprechend wird diese Arbeit ausführlicher dargestellt.

#### *Aufgabenentwicklung*

Die Entwicklung der Aufgaben des Ausgangstests orientierte sich am Rahmenmodell für die Modellierung mathematischer Kompetenzen von Ingenieuren (s. Abschnitt II.1.1). In einem ersten Schritt wurden auf Basis dieses Modells 130 Aufgaben zur Höheren Mathematik entwickelt. Neben der Orientierung an diesem Modell wurden insbesondere die Ergebnisse der curricularen Analysen hinsichtlich der konkreten mathematischen Inhalte zu Grunde gelegt, die typischerweise in Modulhandbüchern oder Vorlesungsunterlagen von ingenieurwissenschaftlichen Mathematiklehreveranstaltungen zu finden sind. Die Aufgabenentwicklung umfasste mehrere Überarbeitungsschleifen, in denen die Aufgaben mehrfach von Expertinnen und Experten aus der Arbeitsgruppe am IPN gesichtet, kommentiert und entsprechend überarbeitet wurden.

#### *Pilotierung*

Die bis dahin entwickelten Aufgaben wurden im April/Mai 2013 an einer Stichprobe von 119 Studierenden pilotiert. Die Stichprobe umfasste Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie der Fachhochschule Flensburg. Im Rahmen dieser Pilotierung wurden neben den Paper-and-Pencil-Testheften auch Cognitive Labs eingesetzt, bei denen ausgewählte Studierende während der Bearbeitung einzelner Aufgaben beobachtet wurden, um einen direkten Einblick in den Bearbeitungsprozess zu erhalten. Als zentrales Ergebnis dieser Pilotierung zeigte sich, dass einige Aufgaben von den getesteten Studierenden gar nicht bearbeitet wurden und so keinerlei Rückschlüsse auf die Qualität oder Schwierigkeit der Aufgaben möglich waren. Von dem ursprünglichen Plan, für die Haupterhebung drei Testhefte auf Basis des Itempools zu generieren, wurde daher zunächst abgewichen, um den Projektverlauf nicht zu gefährden. Entsprechend wurden zwei Testhefte mit Items von adäquater Qualität für die im Sommer/Herbst 2013 anstehenden Haupterhebungen zusammengestellt.

Um die Erstellung eines dritten Testheftes zu ermöglichen, wurden entsprechend dem oben beschriebenen Prozedere weitere 32 Aufgaben entwickelt. Diese wurden im Dezember 2013 an einer sehr kleinen Stichprobe (N = 26) von Ingenieurstudierenden der Ruhr-Universität Bochum sowie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel pilotiert, da sich hier bereits die Feldzugangsproblematik verstärkt zeigte. Aus dem dann vorliegenden Pool von insgesamt 162 Items wurden daraufhin drei Testhefte zusammengestellt, wobei sich zu den zwei obigen Testheften einige wenige Verschiebungen zugunsten einer ausgeglicheneren Zusammenstellung (s.u.) ergaben.

#### *Zusammenstellung von Testheften*

Bei der Zusammenstellung der drei Testhefte wurden die empirischen Ergebnisse der Pilotierungen herangezogen. Insbesondere wurden Erkenntnisse über die Anzahl der Bearbeitungen sowie der korrekten Bearbeitungen zugrunde gelegt, um eine adäquate Mischung aus einfachen und schwierigen Aufgaben zu erhalten. Außerdem leitend für die Auswahl der Items für die Testhefte war deren Zugehörigkeit zu den einzelnen Zellen im Rahmenmodell für die Modellierung mathematischer Kompetenzen von Ingenieuren (s. Abschnitt II.1.1), um dieses möglichst breit durch die ausgewählten Aufgaben zu repräsentieren. Darüber hinaus sah die Testheftzusammenstellung sogenannte Ankeritems vor, das heißt Items, die in zwei oder allen drei Testheften eingesetzt wurden. Mit diesem Testheftdesign sollte ermöglicht werden, auf Basis der Item-Response-Theorie alle ausgewählten Aufgaben gemeinsam zu skalieren.

### *Probleme bei der Stichprobenakquise*

Bereits an den Pilotierungen zeigte sich das Problem der Stichprobenakquise. Trotz Werbung in den Veranstaltungen, günstigen Testterminen direkt nach Lehrveranstaltungen im selben Raum und trotz Angebot einer Aufwandsentschädigung von 15 Euro pro Proband und Testung konnten nur kleine Stichprobengrößen realisiert werden. Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass Vorlesungen teilweise bereits digital als Podcasts angeboten werden und dadurch die Werbung weniger Studierende vor Ort in den Veranstaltungen erreicht. Zudem scheinen die Studierenden der Ingenieurwissenschaften mit ihren Zeitkontingenten sehr reflektiert umzugehen und kaum bereit, in Prüfungszeiten von den ohnehin engen freien Zeitkontingenten, etwas für wissenschaftliche Zwecke verfügbar zu machen. Als Alternative zur Erhebung nach Lehrveranstaltungen wurde auch angedacht, die Erhebung im Rahmen von Lehrveranstaltungen durchzuführen. Dies ließ sich jedoch nicht realisieren, da die Dozentinnen und Dozenten keine Veranstaltungszeit dafür zur Verfügung stellen wollten. Aber auch dort, wo dies gelungen ist, wie z.B. bei den Stuttgarter Kooperationspartnern in der Technischen Mechanik, wurden lediglich Teile der Studierenden erreicht, obgleich auch von den Lehrenden stark für eine Beteiligung geworben wurde.

Die Probleme der Stichprobenakquise, die sich schon bei der Pilotierung abzeichneten, stellten sich bei der Haupterhebung als noch gravierender heraus. So konnten bei der Haupterhebung 2013 die zwei erstellten Testhefte zwar an den Standorten Biberach, Bochum, Esslingen, Hannover, Paderborn, Ravensberg-Weingarten und Stuttgart eingesetzt werden. Insgesamt ließ sich bis Dezember 2013 jedoch nur eine Stichprobe von insgesamt 145 Studierenden realisieren. Versuche der Stuttgarter Projektgruppe, Teilnehmende an weiteren Standorten, insbesondere an solchen mit besonders hohen Einschreibungszahlen in den Ingenieurwissenschaften (wie RWTH Aachen), zu akquirieren, scheiterten jedoch für den Bereich der Höheren Mathematik an den dortigen Hochschullehrenden. Aufgrund dieser Erfahrungen wurden von der Umsetzung der ursprünglich anvisierten Drei-Testheft-Strategie abgesehen und stattdessen unter großem Aufwand weitere Probandinnen und Probanden für lediglich die ersten beiden Testhefte gesucht. So sollten zumindest für die dort verwendeten Items die Mindest-Stichprobengrößen von  $N \approx 100$  pro Item realisiert werden, um deren statistische Auswertung und Qualitätsprüfung zu ermöglichen. In Kooperation mit der Berliner Projektgruppe aus Teilprojekt B um Bettina Rösken-Winter konnten Daten von weiteren 20 Studierenden erhoben werden. Eine Online-Stichprobenakquise, bei der für die Studienteilnahme über soziale Netzwerke Werbung gemacht wurde, führte zu weiteren Erhebungen an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie an der Technischen Universität Braunschweig, wobei insgesamt weitere 32 Probanden akquiriert werden konnten. Rekrutierungsversuche an der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Hamburg-Harburg waren erfolglos bzw. wurden durch das Lehrpersonal verhindert. Insgesamt liegen damit Daten von  $N = 197$  Studierenden für die beiden Testhefte vor ( $N = 99$  zu Testheft A,  $N = 98$  zu Testheft B). Diese ermöglichen eine erste statistische Auswertung der Items auf Basis von IRT-Methoden, Aussagen zu längsschnittlichen Analysen sind jedoch nicht möglich.

### *Expertenrating*

Als eine weitere Maßnahme im Prozess der Testvalidierung wurde von Dezember 2014 bis Januar 2015 ein Expertenrating durchgeführt. Diese Maßnahme hatte sich aufgrund der zuvor genannten großen Schwierigkeiten bei der Stichprobenakquise verzögert und war zunächst zurückgestellt worden. Für das Expertenrating wurden eine Hochschuldozentin, die Lehrveranstaltungen zur Mathematik für Ingenieurwissenschaftler hält, sowie zwei berufstätige Ingenieure gebeten, die Items des Ausgangstests zu begutachten. In das Rating wurden diejenigen 84 Items einbezogen, die nach den Pilotierungen als grundsätzlich geeignet für eine Aufnahme in ein Testheft angesehen wurden.

Das Expertenrating diente der inhaltlichen Validierung des Ausgangstests. Konkret wurden die Expertinnen und Experten zu jeder Aufgabe um eine Einschätzung gebeten, inwieweit diese solche mathematische Kompetenzen erfasst, die (a) für ein erfolgreiches Abschließen der Lehrveranstaltungen zur Höheren Mathematik für Ingenieurwissenschaften relevant bzw. (b) für ein Verständnis der Höheren Mathematik für Ingenieurwissenschaften wichtig ist. Dazu sollten die Expertinnen und Experten auf einer fünfstufigen Likert-Skala zu vorgegebenen Aussagen den Grad ihrer Zustimmung angeben (siehe Abb. 2).

Die in diesem Item erfassten mathematischen Kompetenzen...	Trifft gar nicht zu					Trifft völlig zu				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
... sind relevant für das Bestehen des Studienanteils zur Höheren Mathematik für Ingenieure.	<input type="checkbox"/>									
... sind wichtig für ein Verständnis der Höheren Mathe- matik in den Ingenieurwissenschaften.	<input type="checkbox"/>									

**Abb. 2: Fragen im Expertenrating (für jedes Item)**

Die gemittelte Experteneinschätzung lag für alle Aufgaben und hinsichtlich beider Aspekte bei mindestens 3 auf der Skala. Bei der Relevanz für das Bestehen der mathematischen Studienanteile lag sie bei 74 Aufgaben und bei der Wichtigkeit für ein Verständnis der Höheren Mathematik bei 78 Aufgaben bei 4 oder höher. Betrachtete man nur die Aufgaben, die in den beiden Testheften eingesetzt wurden, so lag die mittlere Einschätzung über alle drei Experten und alle Aufgaben bei  $M = 4.48$ ,  $SD = 0.43$  (Relevanz für das Bestehen) bzw. bei  $M = 4.60$ ,  $SD = 0.41$  (Wichtigkeit für ein Verständnis). Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die in den Testheften eingesetzten Aufgaben, wie auch die Aufgaben im gesamten Itempool als inhaltlich valide angesehen werden können.

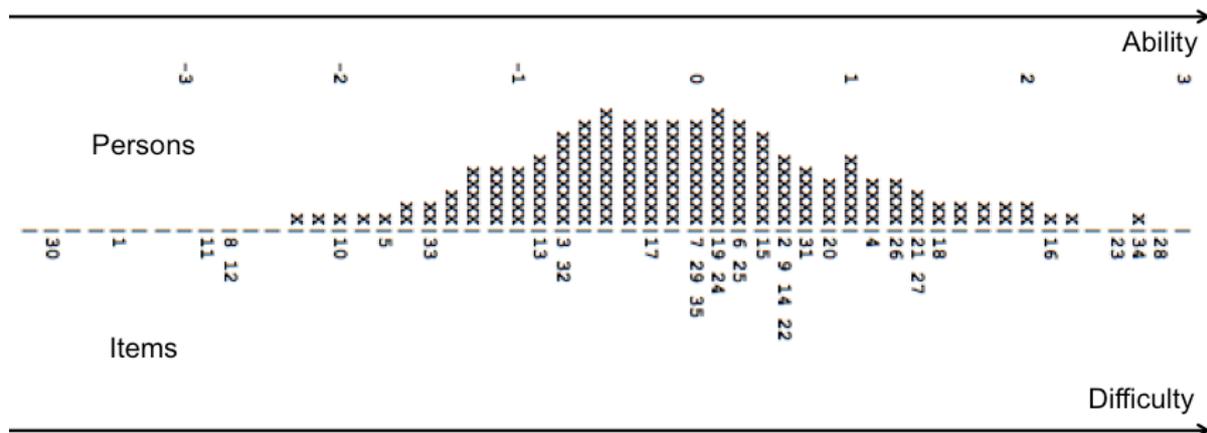
### **II.1.4 Beschreibung der mathematischen Kompetenzen von Ingenieurstudierenden**

Eingangstest und Ausgangstest wurden im Rahmen der Haupterhebung eingesetzt, um die Kompetenzen der Ingenieurstudierenden in ihrer Struktur und Entwicklung zu untersuchen.

#### *Eingangstest*

Zu Beginn des Wintersemesters 2012/2013 fand die Haupterhebung zum Vorwissen im Bereich der HM mithilfe des Eingangstests statt. Aus dieser Erhebung liegen Daten von  $N = 1069$  Studierenden (792 von Universitäten, 237 von Fachhochschulen, 40 ohne Angabe) der folgenden Hochschulen vor: Hochschule Biberach, Ruhr-Universität Bochum, Hochschule Furtwangen, Universität Paderborn, Hochschule Ravensburg-Weingarten, Universität Stuttgart. Das mittlere Alter der Studierenden lag bei 20.6 Jahren ( $SD = 2.3$ ). Die Verteilung der Studiengänge war wie folgt: Maschinenbau - 754; Bauingenieurwesen - 119; Fahrzeugtechnik - 86; andere oder keine Angabe - 100.

Die Testhefte wurden nach einem vorgefertigten Scoring-Schema bewertet und die Leistungsdaten in die Software SPSS eingegeben. Die Daten wurden anschließend mithilfe polytomer IRT-Modelle skaliert (vgl. Abb. 3). Die EAP/PV-Reliabilität (.84), die WLE-Reliabilität (.84) sowie die Varianz der Personenfähigkeitsverteilung (1.21 logits) zeigten gute Werte.



**Abb. 3: Wright Map der eindimensionalen Skalierung des Eingangstests. Sie zeigt die Verteilung der Personenfähigkeiten (mit Mittelwert 0) und der Itemschwierigkeiten.**

Neben dem eindimensionalen Modell wurde noch ein dreidimensionales Modell geschätzt, in dem die Inhaltsbereiche „Grundlagen“, „Analysis“ und „Geometrie“ als einzelne Skalen definiert wurden. Dieses zeigte im Vergleich zu einem eindimensionalen Modell einen leicht besseren Fit. Damit könnte die Kompetenz zu Studienbeginn prinzipiell dreidimensional beschrieben werden, wobei die drei Kompetenzkomponenten dabei substantziell zusammenhängen. Da die Kompetenzmessung zu Beginn des Studiums zur Bestimmung einer Kovariante vorgesehen war, ist ein eindimensionales Kompetenzmaß für das Projekt vorteilhafter. Dieses weist zudem eine deutlich bessere Reliabilität auf als die einzelnen Reliabilitäten der drei Dimensionen, sodass das eindimensionale Maß für die weiteren Analysen herangezogen wurde. Zusammenhangsanalysen der Testwerte mit der Abiturnote und der Mathematiknote zeigten die erwarteten mäßigen bzw. deutlichen Korrelationen (Abitur:  $r = -.37$ ,  $p < .001$ , Mathematiknote  $r = -.50$ ,  $p < .001$ ). Darüber hinaus ergab sich, dass die FH-Studierenden schwächere Mathematikleistungen im Eingangstest aufwiesen als die Universitätsstudierenden. Eine Publikation der Ergebnisse des Eingangstests erfolgte im Peabody Journal of Education (Neumann et al., 2015).

#### Ausgangstest

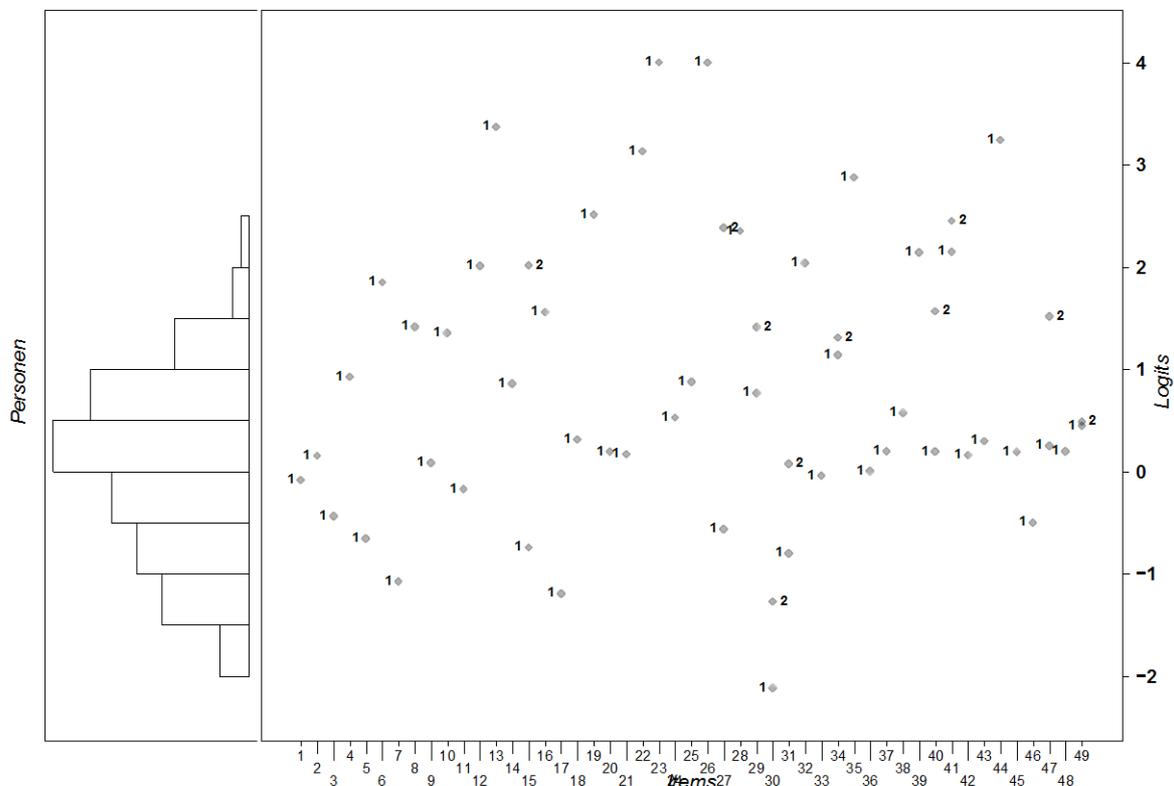
Wie bereits beim Eingangstest wurden auch die Antworten auf die Aufgaben im Ausgangstest zunächst anhand eines entsprechenden Scoring-Schemas bewertet. Die so erhaltenen Daten wurden dann mithilfe polytomer IRT-Modelle skaliert. Dabei wurde untersucht, inwieweit sich die theoretisch angenommene Struktur mathematischer Kompetenzen von Ingenieurstudierenden zum Ende ihrer mathematischen Ausbildung auch empirisch abbilden lässt. Das heißt konkret, dass die mit dem Ausgangstest erfassten Daten dahingehend untersucht wurden, inwieweit sie die im Rahmenmodell für die Modellierung mathematischer Kompetenzen angenommene Struktur (vgl. Abb. 1) widerspiegeln. Dazu wurden ein ein-, ein zwei- sowie ein vierdimensionales Modell an die Daten angepasst. Das eindimensionale Modell entspricht der Annahme, dass die Kompetenzen im Bereich der Höheren Mathematik ein einheitliches Konstrukt bilden. Dem zweidimensionalen Modell liegt die Idee zugrunde, dass sich die Wissenskomponente und die Prozesskomponente mathematischer Kompetenzen als separate Konstrukte trennen lassen. Das vierdimensionale Modell spiegelt die Annahme wider, dass Kompetenzen bezüglich der vier modellierten mathematischen Inhaltsbereiche jeweils vier separaten Konstrukten entsprechen.

Ein Vergleich der erhaltenen Modellgüteparameter (Tabelle 1) zeigt, dass das eindimensionale Modell dem vierdimensionalen vorzuziehen ist. Es ist jedoch nicht eindeutig, ob das eindimensionale Modell besser zu den Daten passt als das zweidimensionale Modell. Damit scheint der Ausgangstest hinsichtlich der vier mathematischen Inhaltsbereiche eher ein einheitliches Konstrukt zu erfassen. Ob die beiden prozessbezogenen Komponenten mathematischer Kompetenz (Wissens- bzw. Prozesskomponente) dabei aber eigenständige Konstrukte abbilden, kann auf Grundlage des sehr eingeschränkten Datensatzes nicht eindeutig gefolgert werden. Sollte dies in der Tat der Fall sein, so würden die beiden Konstrukte sehr hoch miteinander korreliert sein ( $r_{\text{latent}} = .94$ ). Aufgrund dieser nicht eindeutigen Sachlage werden die folgenden Ergebnisse für das ökonomischere eindimensionale Modell berichtet.

**Tabelle 1: Modellparameter der Skalierungen des Ausgangstests**

Modell	Deviance (#Par.)	AIC	BIC	cAIC	EAP/PV Rel.
1-dim	5470.16 (60)	5590.16	5787.16	5847.16	.77
2-dim	5462.92 (62)	5582.22	5790.48	5853.48	.76 (Wissenk.) .73 (Prozessk.) .75 (1-dim Ana.)
4-dim	5472.66 (69)	5610.66	5837.2	5906.2	.74 (n-dim Ana.) .61 (Lin. Alg.) .58 (Ana. Geo.)

Eine Analyse der Wright Map für das eindimensionale Modell zeigt, wie sich die Aufgaben hinsichtlich ihrer Schwierigkeit relativ zu den Fähigkeiten der befragten Studierenden verhalten (Abb. 4). Insgesamt ist das gesamte beobachtete Fähigkeitsspektrum durch die eingesetzten Aufgaben gut abgedeckt. Es liegen zwar einige Aufgaben vor, die im Mittel über den beobachteten Fähigkeiten liegen (also etwas zu schwer sind), jedoch liegen insbesondere im mittleren Bereich des Fähigkeitsspektrums besonders viele Aufgaben vor, sodass damit eine reliable und präzise Messung der Fähigkeiten ermöglicht werden kann. Der Eindruck, dass einige Aufgaben zu schwer sind, könnte sich insbesondere dann revidieren, wenn die Tests in einem eher obligatorischen Rahmen eingesetzt werden, zum Beispiel eingebunden in konkrete Lehrveranstaltungen. Die hier berichteten Ergebnisse basieren lediglich auf Daten von freiwilligen Teilnehmenden (s.o.).



**Abb. 4. Wright Map für die eindimensionale Skalierung des Ausgangstests.**

## Längsschnitt

Der eigentlich geplante Längsschnitt zur Untersuchung der Entwicklung mathematischer Kompetenzen über die hochschulische Mathematikausbildung im Ingenieurstudium hinweg konnte aufgrund der bereits mehrfach beschriebenen substanziellen Stichprobenproblematik nicht wie geplant durchgeführt werden. Von lediglich  $N = 63$  Studierenden konnten Daten sowohl zum Eingangstest als auch zum Ausgangstest erfasst werden. Diese Daten ließen zwar keine längsschnittliche Modellierung zu, sie konnten jedoch dazu herangezogen werden, die beiden Tests miteinander in Verbindung zu setzen. Eine lineare Regression, in der die Personenschätzer zum Ausgangstest als Funktion der Personenschätzer im Eingangstest modelliert wurden, zeigte einen signifikanten Zusammenhang ( $\beta_{\text{std}} = 0.66$ ,  $p < .001$ ). Damit können 44% der Varianz in den Personenschätzern für die mathematischen Kompetenzen am Ende der Mathematikausbildung durch die Schätzer zu Beginn des Studiums erklärt werden. Dies ist einerseits ein starker Hinweis auf die Validität der entwickelten Tests. Andererseits deuten die Ergebnisse – insbesondere vor dem Hintergrund der Expertenratings – darauf hin, dass die entwickelten Tests sich tatsächlich für längsschnittliche Studien eignen.

### II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wurde bereits von der Finanzverwaltung des IPN Kiel (Herr Tietje) übermittelt. Ein Dokument dazu findet sich zusätzlich in der Anlage.

### II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Sämtliche ausgeführte Arbeiten (Curriculare Analyse, Testentwicklung, Pilotierung, Haupterhebungen, Auswertungen, Publikationen und Berichtslegung) waren im genehmigten Projektantrag vorgesehen und sind essenziell für die Projektdurchführung und Verwertung der Ergebnisse gewesen. Wie mehrfach angedeutet, konnte aufgrund der Kürzung bei den Mitteln für das wissenschaftliche Personal am Standort Kiel keine Promotionsstelle besetzt werden und somit keine Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Form einer Promotion vorgenommen werden. Notwendige wissenschaftliche Personalkapazitäten konnten auf Minimalbasis durch Haushaltspersonal sowie durch Überstützung der Projektarbeiten von den Kooperationspartnern in Stuttgart ausgeglichen werden, wodurch eine Projektdurchführung gesichert wurde.

Wie in den jährlichen Zwischenberichten berichtet, konnte abweichend vom Projektantrag keine umfangreiche Längsschnittstudie zur Entwicklung der Kompetenzen zur Höheren Mathematik durchgeführt werden. Wesentliche Ursache dafür war, dass sich der Feldzugang in den Ingenieursstudiengängen für den Längsschnitt als überraschend schwer herausstellte. Wie zuvor in Abschnitt II.1.4 dargestellt, konnten beim Eingangstest noch über 1000 Studierende erreicht werden. Beim Ausgangstest konnte trotz im Vergleich zu den vorhandenen Projektmitteln sehr hohen Aufwands nur eine Stichprobe von 197 realisiert werden. Damit wurde gerade das Mindestkriterium für eine Skalierung des Itempools für den Ausgangstest erreicht ( $N \approx 100$  pro Item). Im Längsschnitt wurden für die HM nur 63 Studierende erreicht, was eine längsschnittliche Modellierung nicht sinnvoll erlaubt. Entsprechend wurden einfache Zusammenhangsanalysen durchgeführt.

Die Probleme beim Feldzugang ließen sich nicht voraussehen und sind vermutlich spezifisch für die Ingenieursstudiengänge. Vorliegende Erfahrungen des Antragstellers mit Lehramtsstudiengängen bzw. dem Studiengang Mathematik ließen keine Schwierigkeiten erwarten. Auffällig war insbesondere, dass trotz Incentivierung kaum eine Erhöhung der Teilnahmebereitschaft erreicht werden konnte. Von der Problematik des Feldzugangs waren auch die Kooperationspartner am Standort Stuttgart sowie das Bremer Projekt KOMING im Programm KoKoHs betroffen. Entsprechend stellt dies kein spezifisches Problem des Standort Kiels dar.

### II.4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Nutzen und Verwertbarkeit lassen sich – wie im Antrag dargestellt – auf verschiedene Abnehmergruppen beziehen.

### *Wissenschaftliche Verwertung*

Wie im Antrag erwähnt, wurden die Ergebnisse im Rahmen von Publikationen und Vorträgen wissenschaftlich verwertet. Insbesondere konnte dadurch der wissenschaftliche Diskurs zur Kompetenzmessung im Hochschulwesen angeregt werden. Daneben ergab sich ein Beitrag zur Qualifizierung von Masterstudierenden in Form von Mitwirkungen am Projekt und einer Masterarbeit.

Im Rahmen des Projektverbunds KoM@ING wurden Eingangs- und Ausgangstest von den Verbundpartnern der HU Berlin eingesetzt. Die entwickelten Testinstrumente dienen zudem als Vorarbeiten für den Antrag eines Folgeprojektes in der zweiten Förderphase von KoKoHS, welches leider nicht genehmigt wurde. Darüber hinaus wurde der Ausgangstest vom BMBF-Projektverbund WiGeMath (Wirkung und Gelingensbedingungen von Unterstützungsmaßnahmen für mathematikbezogenes Lernen in der Studieneingangsphase) im Rahmen der Begleitforschung des Qualitätspakts Lehre (Förderkennzeichen 01PB14015A) angefordert.

### *Wirtschaftliche und anwendungsbezogene Verwertung*

In diesem Bereich können die im hier vorgestellten Projekt entwickelten, validierten und reliablen Testinstrumente für die Outputsteuerung an Hochschulen eingesetzt werden. Dies umfasst insbesondere auch die Senkung der volkswirtschaftlich teuren Studienabbruchquote in Ingenieursstudiengängen. Vor diesem Hintergrund wurden die Testinstrumente auf Tagungen vorgestellt und publiziert (beispielsweise im anwendungsorientierten *Peabody Journal of Education*, Neumann et al., 2015, oder in Heiner et al., 2013). Konkret angefragt wurde beispielsweise der Eingangstest als Evaluationsinstrument durch das Projekt FRAME (Frankfurt Mentoring für SchülerInnen durch Studierende; Projekt der Universität Frankfurt im Rahmen des Qualitätspakts Lehre, Förderkennzeichen 01PL11050).

## **II.5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Speziell auf dem Gebiet der Kompetenzmodellierung in der Domäne Höhere Mathematik für Ingenieurstudierende sind uns keine zentralen neueren Arbeiten bekannt, die eine empirische Fundierung von Kompetenzmodellen geleistet haben. Es gibt zwar diverse Arbeitsgruppen, die sich aus theoretisch-normativer Sicht mit den Fragen der Kompetenzmodellierung zur HM beschäftigen (z.B. SEFI, 2013), die dann in die Lehre einfließen. Empirische Evidenz mittels standardisierter Überprüfung liegt hier aber nicht vor.

Im BMBF-Programm KoKoHS gab es noch zwei weitere Projekte (KOMING, MoKoMasch), die sich mit dem Ingenieurstudium beschäftigen haben, diese hatten aber keine Schwerpunkte bezogen auf die HM.

Im Rahmen des eigenen Verbundprojekts KoM@ING gab es in den Teilprojekte A und B qualitative Arbeiten, die sich mit spezifischen Analysen der Ingenieursmathematik beschäftigen haben. Ein entsprechender Austausch fand im Rahmen des Projektverbunds statt. Enge Zusammenarbeit gab es hier mit dem Standort HU Berlin (Bettina Rösken-Winter). Dort wurden im Rahmen einer gemeinsamen Validierungsstudie Testitems aus unserem Itempool im Rahmen einer Interviewstudie eingesetzt und somit vertiefende kognitive Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse flossen bisher in den Beitrag Neumann et al. (2015) ein.

## **II.6. Veröffentlichungen**

Zu den Arbeiten im Projekt wurden Beiträge für wissenschaftliche Zeitschriften sowie Buchpublikationen verfasst:

Heiner, M., Biehler, R., Heinze, A., Hochmuth, R., Nikolaus, R., Petermann, M., Pleul, C., Schaper, N., Rösken-Winter, B., Tekkaya, E. A. & Wildt, J. (2013). Kompetenzmodellierung und Kompetenzerfassung, IRT-basierte und qualitative Studien bezogen auf Mathematik und ihre Verwendung im ingenieurwissenschaftlichen Studium – KoM@ING. In E. A. Tekkaya, S. Jeschke, M. Petermann, D. May, N. Friese, C. Ernst, S. Lenz, K. Müller & K. Schuster (Hrsg.), *Innovationen für die Zukunft der Lehre in den Ingenieurwissenschaften* (S. 99-116). Aachen, Bochum, Dortmund: TeachING-LearnING.EU.

Neumann, I., Rösken-Winter, B., Lehmann, M., Duchhardt, C., Heinze, A., & Nickolaus, R. (2015). Measuring mathematical competences of engineering students at the beginning of their studies. *Peabody Journal of Education* 94(4), 465-476.

Nickolaus, R., Behrendt, S., Dammann, E., Stefanica, F. & Heinze, A. (2013). Theoretische Modellierung ausgewählter ingenieurwissenschaftlicher Kompetenzen. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, R. Nickolaus & K. Beck (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung und Kompetenzmessung bei Studierenden der Wirtschaftswissenschaften und der Ingenieurwissenschaften* (S.150-176). (Lehrerbildung auf dem Prüfstand, Sonderheft). Landau: Verlag Empirische Pädagogik.

Ștefănică, F., Behrendt, S., Dammann, E., Nickolaus, R., & Heinze, A. (2015). Theoretical Modelling of Selected Engineering Competencies. In F. Musekamp & G. Spöttl (Hrsg.), *Kompetenz im Studium und in der Arbeitswelt/Competence in Higher Education and the Working Environment*. (S. 92-106). Frankfurt am Main: Peter Lang.

Die Arbeiten im Projekt wurden außerdem auf einschlägigen nationalen Tagungen präsentiert, u.a.

- Jahrestagung der Gesellschaft für empirische Bildungsforschung 2014, Vortrag: Mathematische Eingangsvoraussetzungen von Studierenden der Ingenieurwissenschaften (Neumann, I., Duchhardt, C., Kielmann, A., Bois, J.-M., Heinze, A., Behrendt, S., Stefanica, F., & Nickolaus, R.)
- Jahrestagung der Gesellschaft für empirische Bildungsforschung 2015, Vortrag: Diagnose mathematischer Kompetenzen von Ingenieurstudierenden unter besonderer Berücksichtigung des Problemlösens (Neumann, I., Rösken-Winter, B., Lehmann, M., Duchhardt, C., Heinze, A., & Nickolaus, R.)

International wurden die Projektarbeiten außerdem auf der 38th Conference of the International Group for Psychology in Mathematics Education in Vancouver (Kanada) diskutiert. Dort ergab sich die inoffizielle Möglichkeit mit Kolleginnen und Kollegen der Mathematikdidaktik aus Nordamerika in Austausch zu treten, was sich insbesondere für die Publikation der Ergebnisse im *Peabody Journal of Education* als sehr vorteilhaft herausstellte.

Weitere Präsentationen wurden vom Kooperationspartner in Stuttgart vorgenommen, da dort wissenschaftliches Projektpersonal mit Qualifikationsabsicht zur Verfügung stand und zudem die Integration der Mathematikergebnisse mit der Domäne Technische Mechanik geleistet wurde.

Darüber hinaus entstanden im Rahmen des Projekts Studienabschlussarbeiten:

- Simone Müller (2015): Welche mathematischen Kompetenzen bringen Studierende der Ingenieurwissenschaften mit ins Studium. Staatsexamensarbeit für das Lehramt an Gymnasien.
- Iris Biß (2013): Erfassung von Lernvoraussetzungen von Mathematikstudenten im Bereich der Linearen Algebra. Masterarbeit 2-Fächer-Studiengang Master of Education.

## III. Anlagen

### III.1. Erfolgskontrollbericht

#### III.1.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

In der Förderbekanntmachung des am 06. Oktober 2010 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung bekannt gegebene Forschungsprogramm „Kompetenzmodellierung und Kompetenzerfassung im Hochschulsektor“ (KoKoHs) wurden folgende Ziele genannt:

- *Grundlagen für eine Evaluation der Kompetenzentwicklung und des Kompetenzerwerbs an Hochschulen zu schaffen, damit evidenzbasierte bildungspolitische, organisationale und individuelle Maßnahmen von den Entscheidungsträgern eingeleitet, hinsichtlich ihrer Wirkung kontrolliert und optimiert werden können,*
- *einen Beitrag zur Anschlussfähigkeit an internationale Kompetenzforschung in der Hochschule zu leisten und*
- *die Leistungsfähigkeit des tertiären Bildungssystems im fortschreitenden internationalen Wettbewerb zu erhalten.*

*Durch eine - aufgrund der bestehenden Forschungsdefizite - primär grundlagenorientierte Hochschulforschung soll dieses wichtige nationale Forschungsfeld inhaltlich aufgearbeitet und strukturell stabilisiert werden. Mit der theoriegeleiteten Entwicklung generischer und domänenspezifischer Kompetenzmodelle in ausgewählten Studienfächern sowie der Entwicklung, Erprobung und Validierung von Instrumenten zur Erfassung studienfach-übergreifender und studienfach-spezifischer Kompetenzen von Studierenden und Promovierenden sollen wissenschaftliche Grundlagen für die später notwendige empirische Feldforschung gelegt werden.*

Die in Abschnitt I und II dargestellten Projektarbeiten und Projektergebnisse haben nachweislich einen Beitrag zu den ersten beiden Zielen geleistet und damit eine Grundlage für das dritte Ziel bereitgestellt. Wie zuvor ausführlich erläutert, wurden für den eingegrenzten und studienfachspezifischen Bereich der Domäne Höhere Mathematik für Ingenieurwissenschaften theoretische Kompetenzmodellierungen durchgeführt sowie empirisch geprüfte, valide und reliable Testinstrumente entwickelt. Dies geschah im Verbund insbesondere mit den Kooperationspartnern am Standort Stuttgart, die parallel vergleichbare Ergebnisse für weitere Domänen im ingenieurwissenschaftlichen Bereich erarbeitet haben. Da national und international bisher keine derartigen Modelle und Instrumente vorlagen, wurde mit den Projektarbeiten auch ein Beitrag zur Anschlussfähigkeit an die internationale Kompetenzforschung in der Hochschule geleistet.

#### III.1.2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens

Das wesentliche wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens am Standort Kiel sind die im Anhang aufgeführten Testitempools für die Kompetenzmessungen zur Höheren Mathematik für Ingenieursstudiengänge am Studieneingang und nach Abschluss der mathematischen Ausbildung.

Außerdem liegen als Nebenergebnis einerseits ein Rahmenmodell zur Entwicklung von Testaufgaben zur Erfassung der mathematischen Kompetenzen für Ingenieurstudierende vor, das bereits publiziert wurde (Nickolaus et al., 2013). Dieses kann zukünftig herangezogen werden, um ergänzende Aufgaben zu entwickeln. Andererseits existiert für die zwei Ausgangstesthefte zur Höheren Mathematik noch ein drittes Testheft, dessen psychometrische Güte bisher nicht abschließend empirisch überprüft werden konnte.

Eine wesentliche Erfahrung, die mit anderen Teilprojekten bzw. Projektverbänden in KoKoHs geteilt wurde, waren die großen Probleme bei der Stichprobenrekrutierung in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen. Diese Erfahrungen kann bei der Planung zukünftiger Projekte in diesem Bereich berücksichtigt werden.

#### III.1.3. Fortschreibung des Verwertungsplans

Im Hinblick auf die Fortschreibung des Verwertungsplans können folgende Angaben gemacht werden.

- Es gibt keine Anmeldungen von Erfindungen/Schutzrechten und keine erteilten Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden.
- Bezogen auf die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende kann ein indirekter volkswirtschaftlicher Nutzen genannt werden, sofern Hochschulen die vorhandenen Testinstrumente für die Evaluation der Studieneingangsphase in Ingenieursstudiengängen nutzen, um damit die Studienabbruchquoten zu senken. Darüber hinaus liegt ein direkter wirtschaftlicher Nutzen für Evaluationsabteilungen bzw. –projekte an Hochschulen vor, die die entwickelten Testinstrumente nutzen können und keine Ressourcen aufwenden müssen, um eigene Instrumente zu entwickeln. Als Transferstrategie ist die Publikation der Testinstrumente in einschlägigen Publikationsorganen vorgesehen. Von den Testinstrumenten ist bisher der Eingangstest publiziert (Neumann et al., 2015). Die Publikation des Ausgangstests ist für 2016/17 vorgesehen (Dauer bis zur Publikation hängt vom Begutachtungsverfahren der Zeitschrift ab).
- Durch die Publikation der Testinstrumente können prinzipiell alle Hochschulen durch Anfrage darauf zugreifen. Dies gilt sowohl für die praktische Anwendung als auch für die wissenschaftliche Weiterverwendung. Bisherige Anfragen von den BMBF-geförderten Projekten WiGeMath (Hannover) und FRAME (Frankfurt) zeigen, dass ein Bedarf vorhanden ist und dass die Möglichkeit genutzt wird. Die Testinstrumente werden entsprechend auch weiterhin bereitgehalten und auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Eine direkte und unkontrollierte **Bereitstellung der Testhefte im Internet ist nicht vorgesehen und definitiv zu verhindern, da die Aufgaben durch den Bekanntheitsgrad sonst ihre Testfunktion verlieren würden.**
- Weiterführende innovatorische Schritte wären die Untersuchung der prognostischen Validität der Instrumente sowie der breite Einsatz an mehreren Hochschulen unter unterschiedlichen Studienbedingungen. Ein derartiges Vorhaben wurde für die zweite Phase des Förderprogramms KoKoHs beantragt. Dafür ist es gelungen, schriftliche Zusagen von Universitäten und Hochschullehrenden für den Feldzugang zu erhalten. Eine Förderung des Projekts wurde im Rahmen der Begutachtung leider nicht empfohlen, sodass dieses Vorhaben aktuell nicht umgesetzt werden kann.

#### **III.1.4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Es wurde während der Projektlaufzeit nicht erreicht, eine längsschnittliche Modellierung der Kompetenzentwicklung mit einer Stichprobe adäquater Größe durchzuführen. Dies ist auf die unerwartet großen Schwierigkeiten bei der Stichprobenrekrutierung zurückzuführen.

#### **III.1.5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Die Testinstrumente wurden bzw. werden in einschlägigen Zeitschriften publiziert. Außerdem wurden sie auf Tagungen vorgestellt. Eingehende Anfragen deuten darauf hin, dass die Instrumente für interessierte Nutzerinnen und Nutzer auffindbar sind.

#### **III.1.6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung**

Die Ausgabenplanung wurde eingehalten. Siehe dazu die gesonderten Angaben der Finanzverwaltung des IPN.

Beim Zeitplan hat es Abweichungen durch die Probleme bei der Stichprobenrekrutierung gegeben. Trotz Werbung in Lehrveranstaltungen, günstigen Testterminen direkt nach Lehrveranstaltungen im selben Raum und trotz Angebot einer Aufwandsentschädigung von 15 Euro pro Proband und Testung konnten nur kleine Stichprobengrößen realisiert werden. Eine Erhebung im Rahmen von Lehrveranstaltungen ließ sich nicht realisieren, da die Dozentinnen und Dozenten keine Veranstaltungszeit dafür zur Verfügung stellen wollten.

So konnten bei der Haupterhebung bis Dezember 2013 nur eine kleine Stichprobe realisiert werden. Vielfältige Rekrutierungsversuche 2013-2015 an großen Standorten (z.B. RWTH Aachen, TU Harburg, Ruhr-Universität Bochum) scheiterten jedoch an den dortigen Hochschullehrenden. In Kooperation mit dem Teilprojekt B in KoM@ING (HU Berlin) sowie eine Online-Stichprobenakquise über soziale Netzwerke konnten in Berlin, Kiel, Braunschweig mit viel Aufwand weitere kleinere Erhebungen zum Erreichen der Mindeststichprobengröße durchgeführt werden. Dies zog sich bis zum Frühjahr 2015 hin, war aufgrund der essenziellen Bedeutung der Daten aber alternativlos.

Durch die Probleme bei der Stichprobenrekrutierung verzögerte sich auch die externe Testvalidierung durch ein Expertenrating. Diese wurde schließlich vom Dezember 2014 bis Januar 2015 durchgeführt.

### III.2. Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>	
3. Titel <b>Kompetenzmodellierung und Kompetenzentwicklung, integrierte IRT-basierte und qualitative Studien bezogen auf Mathematik und ihre Verwendung im ingenieurwissenschaftlichen Studium Teilprojekt C: Domäne Höhere Mathematik</b>		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <b>Heinze, Aiso Neumann, Irene</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31.07.2015</b>	6. Veröffentlichungsdatum <b>geplant (nach Freigabe)</b>
	7. Form der Publikation <b>Bericht</b>	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Olshausenstraße 62 24118 Kiel</b>	
9. Ber. Nr. Durchführende Institution		10. Förderkennzeichen <b>01PK15012A</b>
11. Seitenzahl <b>14 (Abschnitte I, II und III.4)</b>		12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>
13. Literaturangaben <b>15</b>		14. Tabellen <b>1</b>
14. Tabellen		15. Abbildungen <b>4</b>
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung <b>Die Ingenieurwissenschaften als angewandte Wissenschaften greifen zentral auf mathematische Modelle und Prozeduren zurück, um diese für Anwendungen bei ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen einzusetzen und weiterzuentwickeln. Entsprechend sind Kompetenzen im Bereich Höhere Mathematik Grundvoraussetzung für Ingenieurstudierende, um etwa aufbauend Kompetenzen in den Bereichen Technische Mechanik, Bereiche Werkstofftechnik und Konstruktionstechnik zu erwerben. Bisher liegen keine validen Modelle und Instrumente zur Erfassung individueller Kompetenzen zur Höheren Mathematik und ihrer Entwicklung im ingenieurwissenschaftlichen Studium vor. Ziel des Teilprojekts war daher die Entwicklung von validen und reliablen Kompetenztests zur Erfassung der Kompetenzentwicklung im Bereich der Höheren Mathematik im ingenieurwissenschaftlichen Studium. Im Rahmen des Verbundprojekts sollte darüber hinaus, die Rolle mathematischer Kompetenzen für die Entwicklung anderer ingenieurwissenschaftlicher Kompetenzen im Studium untersucht werden.</b> <b>Im Rahmen des Projekts wurden Testaufgaben sowohl für den Studienbeginn als auch für das Ende der Ausbildung zur Höheren Mathematik im Grundstudium entwickelt. Grundlage dafür waren ein vorhandenes sowie ein neu entwickeltes Rahmenmodell zur Beschreibung mathematischer Kompetenz zu den genannten Zeitpunkten. Mittels Pilotierungsstudien, Expertenbefragungen sowie Haupterhebungen wurden die Testinstrumente validiert und auf ihre Messgenauigkeit geprüft. Zudem wurde die Kompetenzstruktur im Rahmen der Möglichkeiten analysiert. Als Ergebnis liegen geeignete Testinstrumente zur Beschreibung der Lernvoraussetzungen für den Bereich der Höheren Mathematik am Studienbeginn sowie zur Messung der erworbenen Kompetenzen nach Abschluss der Vorlesungen zur Höheren Mathematik vor. Ein Einsatz der Instrumente ist zur Evaluation der Mathematikausbildung von Ingenieursstudiengängen und für wissenschaftliche Untersuchungen von Kompetenzstrukturen bzw. der Kompetenzförderung möglich.</b>		
19. Schlagwörter <b>Kompetenzmessung, Höhere Mathematik, Ingenieurausbildung</b>		
20. Verlag	21. Preis	

### III.3. Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final report</b>	
3. title <b>Kompetenzmodellierung und Kompetenzentwicklung, integrierte IRT-basierte und qualitative Studien bezogen auf Mathematik und ihre Verwendung im ingenieurwissenschaftlichen Studium Teilprojekt C: Domäne Höhere Mathematik</b>		
4. author(s) (family name, first name(s)) <b>Heinze, Aiso Neumann, Irene</b>	5. end of project <b>31.07.2015</b>	6. publication date <b>Planned (after acceptance)</b>
	7. form of publication <b>Report</b>	
	8. performing organization(s) (name, address) <b>IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Olshausenstraße 62 24118 Kiel</b>	
12. sponsoring agency (name, address) <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>	9. originator's report no.	10. reference no. <b>01PK15012A</b>
	11. no. of pages <b>14 (Sections I, II and III.4)</b>	
	13. no. of references <b>15</b>	14. no. of tables <b>1</b>
15. no. of figures <b>4</b>		16. supplementary notes
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract <b>Mathematical models and procedures are central for engineering sciences. Accordingly, for engineering students competences in higher mathematics are the basis for a further competence acquisition in technical mechanics, material science and design technology. To date, neither a valid model of students' competence nor instrument to assess competence in higher mathematics and its development during an undergraduate engineering program exist. The goal of this part project was the development of valid and reliable competence tests to measure the competence development of higher mathematics during an engineering undergraduate program. Within the overall joint research project the results of this part project should contribute to the investigation of the role of mathematics competence for the development of other engineering competence components.</b> <b>Central to this part project was the development of test items (1) for the beginning of engineering study programs and (2) for the end of the undergraduate mathematics education. Basis for the test items were either already existing or newly developed item frameworks to describe facets of mathematics competence. By conducting pilot studies, expert ratings and the main studies test item pools were evaluated for their empirical quality (validity, reliability). In addition, the competence structure of engineering mathematics competence was analyzed. As main result, the project provides test instrument for the beginning of the engineering study program and for the end of the mathematics education in the undergraduate program. The test instruments can be applied for the evaluation of mathematics courses in engineering programs as well as for scientific research studies investigating competence structure or competence development of engineering students.</b>		
19. keywords <b>Competence measurement, higher mathematics; engineering education</b>		
20. publisher	21. price	

### III.4. Literaturverzeichnis

- Gschwendtner, T. (2008). Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.), *Didaktik gewerblich-technischer Berufsbildung* (S. 103-119). Hohengehren: Schneider.
- Gschwendtner, T. (2011). Die Ausbildung zum Kraftfahrzeugmechatroniker im Längsschnitt. Analysen zur Struktur von Fachkompetenz am Ende der Ausbildung und Erklärung von Fachkompetenzentwicklungen über die Ausbildungszeit. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik – Beiheft 25*, 55-76.
- Hauck, C. (2012). *Vergleich der mathematischen Kompetenzen von Gymnasiasten an allgemein bildenden und technischen Gymnasien in Baden-Württemberg*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Stuttgart.
- Heiner, M., Biehler, R., Heinze, A., Hochmuth, R., Nickolaus, R., Petermann, M., Pleul, C., Schaper, N., Rösken-Winter, B., Tekkaya, E. A. & Wildt, J. (2013). Kompetenzmodellierung und Kompetenzerfassung, IRT-basierte und qualitative Studien bezogen auf Mathematik und ihre Verwendung im ingenieurwissenschaftlichen Studium – KoM@ING. In E. A. Tekkaya, S. Jeschke, M. Petermann, D. May, N. Friese, C. Ernst, S. Lenz, K. Müller & K. Schuster (Hrsg.), *Innovationen für die Zukunft der Lehre in den Ingenieurwissenschaften* (S. 99-116). Aachen, Bochum, Dortmund: TeachING-LearnING.EU.
- KMK (2012). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife*. Im Internet verfügbar: [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2012/2012\\_10\\_18-Bildungsstandards-Mathe-Abi.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_10_18-Bildungsstandards-Mathe-Abi.pdf) (zuletzt abgerufen am 23.12.2015)
- Neumann, I., Rösken-Winter, B., Lehmann, M., Duchhardt, C., Heinze, A., & Nickolaus, R. (2015). Measuring mathematical competences of engineering students at the beginning of their studies. *Peabody Journal of Education* 94(4), 465-476.
- Nickolaus, R.; Behrendt, S.; Dammann, E.; Ștefănică, F.; Heinze, A. (2013). Theoretische Modellierung ausgewählter ingenieurwissenschaftlicher Kompetenzen. In: Zlatkin-Troitschanskaia, O.; Nickolaus, R.; Beck, K. (Hrsg.). *Kompetenzmodellierung und Kompetenzmessung bei Studierenden der Wirtschaftswissenschaften und der Ingenieurwissenschaften* (Lehrerbildung auf dem Prüfstand, Sonderheft). Landau: Verlag Empirische Pädagogik. 150-176.
- Nickolaus, R., Gschwendtner, T. & Abele, S. (2011). Valide Abschätzung von Kompetenzen als eine notwendige Basis zur Effektbeurteilung pädagogischer Handlungsprogramme – Herausforderungen, Ansätze und Perspektiven. In M. Fischer, M. Becker & G. Spöttl (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik in der beruflichen Bildung - Probleme und Perspektiven* (S. 57-74). Frankfurt a.M. u.a.: Peter Lang.
- Nickolaus, R., Behrendt, S., Dammann, E., Stefanica, F. & Heinze, A. (2013). Theoretische Modellierung ausgewählter ingenieurwissenschaftlicher Kompetenzen. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, R. Nickolaus & K. Beck (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung und Kompetenzmessung bei Studierenden der Wirtschaftswissenschaften und der Ingenieurwissenschaften* (S.150-176). (Lehrerbildung auf dem Prüfstand, Sonderheft). Landau: Verlag Empirische Pädagogik.
- Seeber, S. (2008). Ansätze zur Modellierung beruflicher Fachkompetenz in kaufmännischen Ausbildungsberufen. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 104 (1), 74-97.
- Seeber, S. (2009). Ökonomisches Verständnis. In R. Lehmann & E. Hoffmann (Hrsg.), *BELLA: Berliner Erhebung der Lernausgangslagen arbeitsrelevanter Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf „Lernen“* (S. 197-208). Waxmann: Münster.
- SEFI (European Society for Engineering Education). (2013). A framework for mathematics curricula in engineering education. Im Internet verfügbar, zuletzt abgerufen am 23.12.2015 unter: <http://www.sefi.be/wp-content/uploads/Competency%20based%20curriculum%20incl%20ads.pdf>
- Winther, E. & Achtenhagen, F. (2009). Measurement of Vocational Competencies – A Contribution to an International Large-Scale-Assessment on Vocational Education and Training. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 1, 88–106.
- Winther, E. (2011). Kompetenzorientierte Assessments in der beruflichen Bildung – Am Beispiel der Ausbildung von Industriekaufleuten. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 107 (1), 33-54.
- Wu, M. L., Adams, R. J., Wilson, M. R., & Haldane, S. A. (2007). *ACER ConQuest Version 2: Generalised item response modelling software*. Camberwell, UK: ACER.

### **III.5. Testheft Eingangstest**

Das Testheft liegt dieser Version des Berichts nicht bei. Bei Interesse an dem Testheft fragen Sie bitte bei der Projektleitung an.

### **III.6. Testheft A Ausgangstest**

Das Testheft liegt dieser Version des Berichts nicht bei. Bei Interesse an dem Testheft fragen Sie bitte bei der Projektleitung an.

### **III.7. Testheft B Ausgangstest**

Das Testheft liegt dieser Version des Berichts nicht bei. Bei Interesse an dem Testheft fragen Sie bitte bei der Projektleitung an.