

Studien zur Hochschuldidaktik und zum Lehren und Lernen
mit digitalen Medien in der Mathematik und in der Statistik

RESEARCH

Paul Wolf

Anwendungsorientierte Aufgaben für Mathematik- veranstaltungen der Ingenieurstudiengänge

Konzeptgeleitete Entwicklung
und Erprobung am Beispiel
des Maschinenbaustudiengangs
im ersten Studienjahr



Springer Spektrum

Studien zur Hochschuldidaktik und zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Mathematik und in der Statistik

Herausgegeben von

R. Biehler, Paderborn, Deutschland

Fachbezogene Hochschuldidaktik und das Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Schule, Hochschule und in der Mathematiklehrerbildung sind in ihrer Bedeutung wachsende Felder mathematikdidaktischer Forschung.

Mathematik und Statistik spielt in zahlreichen Studienfächern eine wesentliche Rolle. Hier stellen sich zahlreiche didaktische Herausforderungen und Forschungsfragen, ebenso wie im Mathematikstudium im engeren Sinne und im Mathematikstudium aller Lehrämter. Digitale Medien wie Lern- und Kommunikationsplattformen, multimediale Lehrmaterialien und Werkzeugsoftware (Computeralgebrasysteme, Tabellenkalkulation, dynamische Geometriesoftware, Statistikprogramme) ermöglichen neue Lehr- und Lernformen in der Schule und in der Hochschule.

Die Reihe ist offen für Forschungsarbeiten, insbesondere Dissertationen und Habilitationen, aus diesen Gebieten.

Herausgegeben von

Prof. Dr. Rolf Biehler

Institut für Mathematik, Universität Paderborn, Deutschland

Paul Wolf

Anwendungsorientierte Aufgaben für Mathematik- veranstaltungen der Ingenieurstudiengänge

Konzeptgeleitete Entwicklung
und Erprobung am Beispiel
des Maschinenbaustudiengangs
im ersten Studienjahr

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Rolf Biehler

 Springer Spektrum

*Für meine Mutter und meine Großmutter.
In Gedenken an meinen Vater.*

Geleitwort

Die Arbeit von Paul Wolf erweitert die Schriftreihe Studien zur Hochschuldidaktik und zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Mathematik und in der Statistik um eine weitere Dissertation, deren Fokus in der Entwicklung und Beforschung von anwendungsorientierten Aufgaben für die Mathematikveranstaltungen der Ingenieurstudiengänge im ersten Studienjahr liegt. Die Arbeit ist im Rahmen des Projekts „Mathematik für Maschinenbauer: Integration des Modellierens in ingenieurwissenschaftlichen Zusammenhängen“ im Kompetenzzentrum Hochschuldidaktik Mathematik (khdm) am Standort Paderborn entstanden und verknüpft theoriegeleitete Entwicklung von Lehrveranstaltungs-komponenten mit empirischer Evaluations- und Wirkungsforschung.

Ziel der durchgeführten Lehrinnovation war es, den Studierenden mittels der entwickelten Anwendungsaufgaben einen besseren Einblick in die Verknüpfungen zwischen Mathematik und Ingenieurwissenschaft zu vermitteln und darüber auch die intrinsische Motivation zur Beschäftigung mit Mathematik zu verbessern. Die Entwicklung von solchen so genannten Schnittstellenaufgaben für Studiengänge, die nicht direkt einen mathematischen Abschluss zum Ziel haben, z.B. andere Serviceveranstaltungen oder Lehramtsstudiengänge, wird derzeit in mehreren hochschuldidaktischen Projekten verfolgt. Der didaktische Ansatz besteht darin, Studierende nicht einfach über die Relevanz der vermittelten Inhalte zu informieren, sondern durch die Bearbeitung von Aufgaben nachhaltigere kognitive und motivationale Effekte bei den Studierenden zu erzielen, eventuell einhergehend mit einer Kompetenzsteigerung darin, die Mathematik in dem eigenen Studienfach, hier dem Maschinenbau, anzuwenden.

Es wurde eine breit implementierbare Lehrinnovation entwickelt, die nicht bloß ein additives freiwilliges Zusatzangebot enthält, sondern in die Lehrveranstaltung selber integriert werden kann. Deshalb wurden pro Semester etwa fünf anwendungsbezogene Aufgaben entwickelt, die im Rahmen der wöchentlich gestellten Übungsaufgaben ausgegeben wurden und eine rein mathematische Aufgabe ersetzen. Erfolgreiche Bearbeitungen waren relevant für die Studienleistung (Bonuspunkte für die Klausur). Allerdings wurde in der Klausur keine anwendungsbezogene Aufgabe gestellt und die

Vorlesungen selber wurden auch nicht in Richtung einer Verstärkung des Anwendungsbezuges verändert. Das macht die entwickelten Aufgaben breit einsetzbar, ohne dass Vorlesungskonzepte gravierender umgestellt werden müssten. Andererseits, um ein Ergebnis der durchgeführten Studien vorwegzunehmen, gibt es deutliche Indizien dafür, dass der Effekt noch größer sein könnte, wenn anwendungsbezogene Aufgaben auch in den Klausuren aufgenommen würden und auch in der Vorlesung selber noch umfassender die Anwendungsbezüge verstärkt würden.

Im zweiten Kapitel der Arbeit werden die theoretischen Grundlagen aufgearbeitet, die für die Aufgabenentwicklung wesentlich sind, sodann werden darauf aufbauend in Kapitel 3 Kriterien für gute Aufgaben für die Mathematik für Maschinenbauer entwickelt, ein Aufgaben-Konzept. Das Aufgabenkonzept, das durch prototypische Aufgaben konkretisiert und empirisch evaluiert wird, ist einer der wissenschaftlichen Erträge der Arbeit, der auch für andere Studiengänge nutzbar ist. Es liegen bemerkenswerte Aufgaben vor, die nicht nur aus Sicht der Mathematik gut verwendbar sind, sondern denen Experten aus der Ingenieurwissenschaft die ingenieurwissenschaftliche Authentizität bescheinigen. Anderswo in Verwendung befindliche mathematische Anwendungsaufgaben sind oft sehr gekünstelt, dürftig eingekleidet, und die Fachexperten erkennen hier schnell, dass ein Mathematiker ohne Sachverstand im Anwendungsgebiet am Werke war. Hiervon unterscheiden sich die von Herrn Wolf entwickelten Aufgaben sehr und legen ganz neue Maßstäbe vor. Die Aufgaben mit ausführlichen Beschreibungen und Anleitungen wurden in Wolf & Biehler (2016) veröffentlicht und online zugänglich gemacht.

Die Arbeit hat aber noch eine weitere Komponente von hohem wissenschaftlichen Wert. Zur Evaluation der Aufgaben wurden zwei Kohorten von Ingenieurstudierenden im Wintersemester 2013/14 sowie im WS 14/15 und Sommersemester 2015 über eine Studierendenbefragung mit - kurz gesagt - positivem Ergebnis untersucht (s. Kapitel 5). Um Aussagen über die Wirkung der Lehrinnovation machen zu können, wurde ein experimentelles Design mit Kontrollgruppe gewählt.

Basis der Vergleichsstudie sind Hypothesen darüber, auf welche Merkmale der Studierenden sich die Intervention Anwendungsaufgaben auswirken könnte. Herr Wolf untersucht u.a. die folgenden Wirkungsvariablen, zu denen er teilweise neue Skalen entwickelt oder auf Skalen aus anderen Studien aufbaut. Die Neuentwicklungen der Skalen stellen einen weiteren neuen Beitrag der Arbeit zur Hochschuldidaktik dar.

1. die Relevanzeinschätzung der Mathematik und einiger Teilgebiete für die Ingenieurwissenschaften
2. die Motivationsentwicklung während des Semesters (Abbremsen der Motivationsabnahme)
3. die Wahrnehmung der Verzahnung von Mathematik und Ingenieurwissenschaften
4. die Lernintensität / Engagement in der Lehrveranstaltung (vermittelt über die Motivation)
5. die Verwendung höherer Lernstrategien (Organisation)
6. die Freude bei der Bearbeitung von Übungsaufgaben generell

Die sehr komplexen Ergebnisse sollen und können in diesem Geleitwort nicht systematisch zusammengefasst werden. Ein paar Dinge möchte ich jedoch hervorheben. So sind Verbesserungen der Relevanzeinschätzungen zu beobachten, allerdings scheinen weitere Maßnahmen nötig zu sein, um insgesamt die Relevanzeinschätzung deutlich zu erhöhen (8.1.3.1). Die Verbesserung der Relevanzeinschätzung ist stärker bei den mathematischen Themen ausgeprägt, die in den Anwendungsaufgaben vorkamen. Teilweise sind Unterschiede in der Selbstwirksamkeitserwartung nachzuweisen (8.1.3.2) und die Aufgaben wirken vor allem sehr motivierend für die anwendungsaffine Teilgruppe der Studierenden, allerdings bremsen sie den generellen Motivationsabfall im ersten Semester in den Experimentalgruppen nur geringfügig ab (8.1.3.3). Hinsichtlich der wahrgenommenen Verzahnung zwischen Mathematik und Ingenieurwissenschaft gibt es klare Unterschiede zwischen Experimentalgruppe und Kontrollgruppe im WS 13/14 aber nicht mehr so in den folgenden Semestern, was auch an den unterschiedlichen Lehrveranstaltungen gelegen haben kann.

Neben diesen Erkenntnissen hinsichtlich der eingesetzten Intervention ergaben sich auch viele weitere interessante Einblicke in die Studiengänge Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen, die gerade für die Mathematik-Serviceveranstaltungen von Bedeutung sind. So zeigten sich unerwartet große und relevante Unterschiede hinsichtlich der Studienmotivation, dem Fachinteresse am Maschinenbau selber und dem Interesse an mathematischen Anwendungsaufgaben.

Der Autor hat durch seine Arbeit nicht nur das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluss geführt, sondern auch durch sein Konzept und seine Erfahrungen in der Lehre wesentlich dazu beigetragen die Kooperation

zwischen der Mathematik und den Ingenieurwissenschaften am Standort Paderborn zu verbessern, die Diskussion auf verstärkt anwendungsorientierte Lehre zu richten sowie den Begriff angemessener Anwendungsaufgaben für die Mathematikausbildung der Ingenieure in neuer Weise zur Diskussion zu stellen.

Paderborn, im Januar 2017

Prof. Dr. Rolf Biehler

Wolf, P., & Biehler, R. (2016). *Anwendungsorientierte Aufgaben für die Erstsemester-Mathematik-Veranstaltungen im Maschinenbaustudium (V.2). khdm-Report: Nr. 04-16*. Quelle: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hebis:34-2016010549550>.

Danksagung

Allen voran möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Rolf Biehler für seine Betreuung und Unterstützung danken! Ich habe in meiner Zeit an der Universität Paderborn seine stets wohl durchdachten und kritischen Anmerkungen sehr zu schätzen gelernt und erkenne heute, wie wegweisend seine Lehren für mein zukünftiges Leben sind und noch sein werden. Auch bin ich ihm zu Dank verpflichtet, dass er es mir ermöglicht hat an didaktischen Tagungen und somit an mathematikdidaktischen Diskussionen teilzunehmen.

Ich möchte Prof. Dr. Gudrun Oevel und Prof. Dr. Niclas Schaper für ihre tatkräftige Hilfe danken. Sie haben entscheidend dazu beigetragen, dass unser Projekt erfolgreich abgeschlossen werden konnte und mich zudem sehr herzlich unterstützt und beraten.

Danken möchte ich weiterhin Prof. Dr. Stefan Friedenbergl für seine Mitwirkung bei der Beurteilung der Promotion. Auch will ich mich an dieser Stelle bei Prof. Dr. Peter Bender für die äußerst interessanten und mitunter auch amüsanten Diskussionen und Gespräche bedanken sowie ebenfalls für seine Mitwirkung bei der Beurteilung.

Ein sehr wichtiges Anliegen ist es mir zudem meiner geschätzten Kollegin Bianca Thiere zu danken, da sie sich in einem enormen Maße für das Projekt und auch meine Arbeit engagiert hat und durch ihre Herzlichkeit, Hilfsbereitschaft und didaktischen Fähigkeiten mir ein Vorbild geworden ist.

Insbesondere gebührt mein Dank meinen Arbeitskollegen Frank Feudel und Anja Panse, die mich auch durch schwierige Zeiten begleitet haben. Ich wünsche euch beiden alles Gute für die Zukunft und, sofern ich mir diese interne Anspielung erlauben darf, dass ihr den Lohn für eure Mühen möglichst bald erhalten werdet!

Weiterhin möchte ich meinen Dank an die gesamte AG Biehler und natürlich dem kdhm aussprechen.

Auch möchte ich die studentischen Hilfskräfte Reinhard Schemmel, Christopher Link, Katrin Hollendung sowie Sophie Kersting dankend erwähnen, die mir bei der Erstellung der Aufgaben bzw. der Dateneingabe geholfen haben und somit zum erfolgreichen Abschluss des Projektes beigetragen haben. Ebenfalls danke ich den wissenschaftlichen Mitarbeitern Martin Düsing und Tobias Black für ihre Unterstützung bei der Umsetzung der Studien.

Und schließlich danke ich von ganzem Herzen meiner Mutter Marlies Wolf und meiner Großmutter Erna Nocken, die mich über die gesamte Zeit und durch alle Phasen hinweg unterstützt und motiviert haben.

Danke!

Abkürzungsverzeichnis

Alpha	Studiengruppe mit Anwendungsaufgaben (WS14/15 und SoSe15)
Beta	Kontrollgruppe ohne Anwendungsaufgaben (WS14/15 und SoSe15)
CIW	Chemieingenieurstudierende
khdm	Kompetenzzentrum Hochschuldidaktik Mathematik (http://www.khdm.de)
MatheMasch	Teilprojekt der AG Ing-Math des khdm: „Mathematik für Maschinenbauer: Integration des Modellierens in ingenieurwissenschaftlichen Zusammenhängen“
MB	Maschinenbaustudierende
SoSe15	Sommersemester 2015
TM	Maschinenbau-Fachveranstaltung „Technische Mechanik“
WING	Wirtschaftsingenieurstudierende
WS13/14	Wintersemester 2013 / 2014 (gemeint ist üblicherweise die Vorlesungszeit)
\bar{x}	Mittelwert (auch „MW“)
\tilde{x}	Median (auch „M“)
sd	Standardabweichung (auch „SD“)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung der Dissertation	XXI
Summary of the Dissertation	XXIII
Einleitung	1
Die Mathematiklehre als Spannungsfeld in der Ingenieurausbildung	1
Der Kontext dieser Dissertation: Das MatheMasch-Projekt	3
Die Ziele dieser Arbeit	4
Der Aufbau der Arbeit	4
1 Die Relevanz der deutschen Ingenieurausbildung und das Abbruchproblem	5
1.1 Zahlen und Fakten zum Studium in Deutschland	6
1.1.1 Allgemeine Zählungen	6
1.1.2 Anteile der Ingenieurwissenschaften	7
1.1.3 Studiendauer	8
1.1.4 Frauen in den Ingenieurwissenschaften	9
1.2 Bedeutung der Ingenieure für Deutschland	10
1.2.1 Einflüsse auf die Wirtschaft	11
1.2.2 Absolventenzahlen und Fachkräftemangel	13
1.3 Gründe und Zahlen zum Studienabbruch	15
1.3.1 Allgemeines zu den Studienabbruchquoten	15
1.3.2 Studienabbruch bei Ingenieuren	18
1.4 Hochschulprojekte	23
1.4.1 Klassische Maßnahmen	23
1.4.2 Ausgewählte Projekte	24
1.5 Studieren in Paderborn	32
1.5.1 Allgemeine Daten	32
1.5.2 Der Studiengang Maschinenbau	32
2 Mathematisches Modellieren in der mathematikdidaktischen Diskussion	39
2.1 Einführung	39

2.2	Definition von Modell, Modellieren und Modellierungsaufgaben	41
2.3	Modellierungskreisläufe und Modellierungskompetenzen . . .	43
2.3.1	Klassifizierung von Modellierungskreisläufen	43
2.3.2	Modellierungskompetenzen	52
2.4	Modellierungsperspektiven nach Greefrath et al.	53
2.4.1	Realistisches oder angewandtes Modellieren	54
2.4.2	Kontextuelles Modellieren	54
2.4.3	Pädagogisches Modellieren	55
2.4.4	Sozio-kritisches Modellieren	55
2.4.5	Epistemologisches oder theoretisches Modellieren . . .	55
2.4.6	Kognitives Modellieren	56
2.4.7	Affektive Ansätze zum Modellieren nach Borromeo Ferri	56
2.5	Ziele des Modellierens	57
2.5.1	Stoffbezogene Ziele	57
2.5.2	Pädagogische Ziele	57
2.5.3	Psychologische Ziele	58
2.5.4	Wissenschaftsorientierte Ziele	59
2.5.5	Weitere Ziele des Modellierens	59
2.6	Kategorien von Anwendungsaufgaben nach Greefrath et al. .	60
2.6.1	Klassische Sachaufgabentypen	60
2.6.2	Authentizität, Relevanz und Bezüge zum Modellie- rungsprozess	63
2.6.3	Weitere Analysekatogorien für Modellierungsaufgaben	64
2.6.4	Aufgabenklassifizierung realitätsnaher Aufgaben nach Maaß	66
2.7	Argumente für und gegen die Lehre des mathematischen Modellierens	71
3	Das Konzept zur Entwicklung anwendungsorientierter Aufgaben	75
3.1	Ziele und Gründe der Konzept-Entwicklung	76
3.1.1	Unsere Ziele in Anlehnung an die Übersicht nach Kaiser	76
3.1.2	Ingenieurmathematik im hochschuldidaktischen Kontext	78
3.2	Das Konzept zur Aufgabenentwicklung: Innovation durch neue Aufgaben ohne sonstige Eingriffe	81
3.2.1	Die Problemlage	82
3.2.2	Die Konzeptidee für Anwendungsaufgaben in der Ma- thematik für Maschinenbauer	87
3.3	Das Konzept im Klassifizierungsschema nach Maaß	96
3.3.1	Ziele und Zielgruppen des Konzepts	96
3.3.2	Das Konzept im Klassifizierungsschema	98

3.4	Stoffdidaktische Analyse zweier Konzept-Aufgaben	101
3.4.1	Die Laserstrahl-Aufgabe	101
3.4.2	Die Halfpipe-Aufgabe	109
3.5	Anmerkungen zur konkreten Aufgabenkonstruktion	119
3.5.1	Die Checkliste	119
3.5.2	Hinweise zu den Musterlösungen	122
3.5.3	Vorschläge zur Einsetzbarkeit der Aufgaben	123
3.5.4	Bekanntheit als Nachteil?	123
3.6	Vergleich mit zwei ähnlichen Konzepten	124
3.6.1	Kontextorientierte Aufgaben aus Braunschweig	125
3.6.2	Anwendungsaufgaben von Papula	128
4	Das Untersuchungskonzept der Intervention	133
4.1	Zur Evaluation der Lehre an Hochschulen	133
4.1.1	Quellen der Lehrevaluation an Hochschulen	134
4.1.2	Klassifizierung nach Kromrey	137
4.2	Auswahl des Forschungsansatzes zur Evaluation der Intervention	141
4.2.1	Evaluationsforschung	141
4.2.2	Design-Based Research	142
4.2.3	Einordnung unseres Projektes	143
4.3	Überblick über die durchgeführten Studien	144
4.3.1	Beteiligte Personen	144
4.3.2	Ablauf der Studien und wichtige Begriffe	144
4.3.3	Äußere Einflüsse auf die Studien	151
4.3.4	Verwendete Tests und Programme	152
4.4	Hypothesen, Forschungsfragen und Operationalisierung	153
4.4.1	Die Forschungsfragen der Aufgabenevaluationsstudien	154
4.4.2	Die Forschungsfragen der Vergleichsstudien	160
4.4.3	Zu den Eigenschaften der Stichproben bei den Vergleichsstudien	175
5	Die Aufgabenevaluationsstudien	189
5.1	Aufbau und Instrumente	189
5.1.1	Aufbau der Studie	189
5.1.2	Die verwendeten Anwendungsaufgaben	190
5.1.3	Forschungsfragen und Instrumente	191
5.1.4	Änderungen an den Akzeptanzfragebögen zum WS14/15	201
5.2	Testgütekriterien	202

5.3	Ergebnisse zu den Forschungsfragen AF1-4 (Akzeptanzbefragungen)	206
5.3.1	Die Laserstrahl-Aufgabe im WS13/14	207
5.3.2	Die Aufgabe zur Flugsicherheit im WS13/14	223
5.3.3	Die Federpendel-Aufgabe im WS13/14	237
5.3.4	Die Aufgabe über den freien Fall im WS13/14	254
5.3.5	Die Stahlbalken-Aufgabe im WS13/14	269
5.3.6	Kommentare der Studierenden zu den Aufgaben im WS13/14	283
5.3.7	Erkenntnisse aus den Scans der studentischen Bearbeitungen vom WS13/14	286
5.3.8	Ein Fazit zu den Akzeptanzbefragungen im WS13/14	289
5.3.9	Die Laserstrahl-Aufgabe im Vergleich: WS13/14 zu WS14/15	292
5.3.10	Die Pendeluhr-Aufgabe im Vergleich: WS13/14 zu WS14/15	294
5.3.11	Die Halfpipe-Aufgabe im WS14/15	296
5.3.12	Die Aufgabe „Brücke im Winter“ im SoSe15	298
5.3.13	Die „Heißer Stahl“-Aufgabe im SoSe15	300
5.3.14	Die Aufgabe zur „Bauteilbelastung“ im SoSe15	303
5.4	Ergebnisse zu den Forschungsfragen AF5-7 (Endbefragungen)	304
5.4.1	Einstellungen zu den Aufgaben insgesamt (AF5)	304
5.4.2	Erinnerung an die Anwendungsaufgaben und ihre mathematischen Schwerpunkte (AF6)	316
5.4.3	Bewertung der erlebten Verbindung von Mathematik- und Ingenieurfachveranstaltung (AF7)	323
6	Zu den Eigenschaften der Stichproben bei den Vergleichsstudien	325
6.1	Design und Stichprobe zur Vergleichsstudie im WS13/14	325
6.1.1	Die Zusammensetzung der Probanden im WS13/14	325
6.1.2	Studienmotivation, Lernmotivation und Einstellungen zu Anwendungsaufgaben im WS13/14	337
6.1.3	Mathematikspezifische Lernstrategien und Feststellungen zum Wesen der Mathematik im WS13/14	343
6.1.4	Zur Forschungsfrage: Die Unterschiede im Überblick	355
6.2	Design und Stichprobe zur Vergleichsstudie im WS14/15 und SoSe15	357
6.2.1	Die Zusammensetzung der Probanden	357
6.2.2	Studienmotivation, Lernmotivation und Einstellungen zu Anwendungsaufgaben ab WS14/15	361

6.2.3	Mathematikspezifische Lernstrategien und Feststellungen zum Wesen der Mathematik ab WS14/15 . . .	367
6.2.4	Die Probanden in der Endbefragung WS14/15	372
6.2.5	Die Probanden in der Endbefragung SoSe15	372
6.2.6	Fazit	373
7	Ergebnisse zu den Vergleichsstudien	375
7.1	Unterschiede in der Relevanzeinschätzung der Mathematik . .	375
7.1.1	Gruppenunterschiede hinsichtlich der globalen Relevanzeinschätzung der Mathematik (VR1)	376
7.1.2	Zur Relevanz der einzelnen mathematischen Themen (VR2)	389
7.2	Die Selbsteinschätzung bezüglich der Anwendbarkeit des Gelernten	399
7.3	Auswirkungen auf die Motivation der Studierenden	401
7.3.1	Die Motivationsentwicklung im Vergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe (VM1)	401
7.3.2	Die relative Bedeutung der Anwendungsaufgaben hinsichtlich der Motivationsentwicklung (VM2)	407
7.4	Verzahnung Mathematik und Ingenieurfachveranstaltungen .	419
7.4.1	Bewertungen der erlebten Verzahnung	419
7.4.2	Die Unterschiede im Verzahnungswunsch	425
7.4.3	Zusammenfassung zur Verzahnungsthematik	428
7.5	Das Bedürfnis nach Anwendungsaufgaben	429
7.5.1	Die Bevorzugung des Aufgabentyps	429
7.5.2	Der Studiengruppenzugehörigkeitswunsch	433
7.5.3	Zusammenfassung zum Bedürfnis nach Anwendungsaufgaben	436
7.6	Auswirkungen auf das Lernverhalten insgesamt	437
7.6.1	Auswirkungen auf die Beschäftigungsintensität (VL1) .	437
7.6.2	Freude an der Bearbeitung der Übungsaufgaben (VL2) .	441
7.6.3	Zusammenfassung zu VL1 und VL2	442
7.7	Unterschiede in der Gesamtbewertung der Mathematik-Veranstaltung zwischen Experimental- und Kontrollgruppe . . .	443
7.7.1	Nützlichkeitsbewertungen im WS13/14	444
7.7.2	Nützlichkeitsbewertungen im WS14/15	446
7.7.3	Nützlichkeitsbewertungen im SoSe15	448
7.7.4	Formelanwendung ohne Verständnis	449
7.7.5	Zusammenfassung zu den Unterschieden in der Gesamtbewertung	450

7.8	Unterschiede in der Klausurleistung und den erlangten Bonuspunkten zwischen Experimental- und Kontrollgruppe . . .	451
7.8.1	Klausurergebnisse und Bonuspunkte im WS14/15 . . .	451
7.8.2	Klausurergebnisse und Bonuspunkte im SoSe15	453
7.8.3	Zusammenfassung zur Klausurleistung	455
8	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	457
8.1	Abschließende Beantwortung der Forschungsfragen	457
8.1.1	Die Aufgabenevaluation	457
8.1.2	Zu den Eigenschaften der Stichproben bei den Vergleichsstudien	465
8.1.3	Die Vergleichsstudien	466
8.2	Konsequenzen aus den wissenschaftlichen Studien für die Mathematikausbildung der Ingenieure	478
8.3	Ausblick	481
9	Anhang	485
9.1	Anhang A: Die verwendeten Fragebögen	485
9.2	Anhang B: Die Aufgabenstellungen der eingesetzten Anwendungsaufgaben	536
	Literaturverzeichnis	555

Zusammenfassung der Dissertation

Zu der heutigen Ausbildung angehender Ingenieure gehört häufig eine vergleichsweise große Menge an Inhalten aus der höheren Mathematik. Die Mathematikausbildung der Ingenieure ist hierbei meist eine von Dozenten der Mathematik geführte sogenannte „Service-Veranstaltung“, welche mitunter stark innermathematisch bzw. theorieorientiert gehalten wird. Dies kann praxisinteressierte Studierende abschrecken und demotivieren, sich aktiv an der Veranstaltung zu beteiligen, da der Bezug zum eigentlichen Studienfach entweder kaum zu sehen ist oder gar völlig zu fehlen scheint. Diese hier vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Problem dieser fehlenden Verbindung und versucht durch eine neue Intervention eine Brücke zu schlagen, die es ermöglicht, auf möglichst einfachem und mühelosem Wege die Relevanz der Mathematik den Ingenieurstudierenden (hier: Maschinenbaustudierenden) aufzuzeigen.

Im Zuge seiner Arbeit im MatheMasch-Projekt der AG Ing-Math im Kompetenzzentrum Hochschuldidaktik Mathematik (khdm) an der Universität Paderborn, hat der Autor ein Konzept zur Erstellung anwendungsorientierter Aufgaben für die Mathematikveranstaltungen der Ingenieure im ersten Studienjahr entwickelt. Resultierend aus diesem Konzept entstanden bisher zehn spezielle Aufgaben, deren Kontexte im Studienfach angesiedelt sind, aber dabei insbesondere für die Mathematikveranstaltungen konzipiert sind und damit in einem Spannungsfeld zwischen Mathematik, Ingenieurwissenschaften und Hochschuldidaktik bestehen müssen. Das Konzept wurde ursprünglich zunächst für die Mathematikveranstaltungen für Maschinenbauer erdacht, lässt sich aber leicht auf andere Ingenieurwissenschaften abwandeln. Neben der Vorstellung des Konzepts und der entwickelten Aufgaben werden den Leserinnen und Lesern auch konkrete Hinweise zur Entwicklung eigener Konzeptaufgaben oder Optimierung bereits bestehender Aufgaben sowie zur Einsetzung derer in die Veranstaltung gegeben.

Die Evaluation der Intervention wurde über insgesamt drei Semester mittels empirischer quantitativer Studien durchgeführt. Im ersten Durchgang wurden nur Studierenden aus der „Mathematik 1 für Maschinenbauer“

(Veranstaltung im ersten Semester, WS13/14) befragt, wobei mittels einer Kontrollgruppe ein Vergleich und eine Absicherung der Ergebnisse ermöglicht wurde. Es fanden Eingangs- und Endbefragungen sowie spezielle Akzeptanzbefragungen zu den einzelnen Anwendungsaufgaben statt. Die zweite, vom Design ähnliche Studie umfasste zwei Semester (WS14/15 und SoSe15) und zeigt nicht nur auf, inwiefern die Intervention auch für das zweite Semester geeignet ist, sondern auch, wie sich die Klausur auf derlei Interventionen auswirken kann und welche Schwierigkeiten solchen empirischen Studien gegenüberstehen. Die Arbeit zeigt somit nicht nur eine neue Art von Anwendungsaufgaben, sondern auch aktuelle Probleme der Hochschullehre auf, welche absolut diskussionswürdig sind und weitere Forschung fordern.

Summary of the Dissertation

Today's training of future engineers often includes a relatively large amount of content from higher mathematics. The mathematics education of engineers is in most instances a lecture given by mathematicians and known as "service courses", which is sometimes very mathematically focused or theory-oriented. This can discourage practice interested students and reduce motivation to actively participate because the reference to their actual field of study is barely visible for them or seems to be missing completely. This dissertation deals with the problem of these missing links and tries to build a bridge via a new intervention. This intervention makes it possible to show the relevance of mathematics to engineering students (here: mechanical engineering) in a simple and effortless way.

As a part of his work in the MatheMasch project of the working group Ing-Math at the Kompetenzzentrum Hochschuldidaktik Mathematik (khdm) at the University of Paderborn, the author has developed a concept for the creation of application-oriented tasks for the mathematics education of engineers in the first and second semester. As a result of this concept he developed ten specific tasks, whose contexts are taken from the field of study, but they are designed in particular for the mathematical education. So they must be made in an area of tension between mathematics, engineering and university didactics. The concept was originally designed for the mathematical lectures for mechanical engineers, but can be easily modified for other engineering sciences. In addition to the presentation of the concept and the developed tasks, the readers are also given concrete information to develop their own tasks or optimize existing tasks and how to use those in the courses.

The evaluation of the intervention was carried out via empirical quantitative studies over a period of three semesters. In the first round, only students from the "Mathematics 1 for Mechanical Engineers" (course in the first semester) filled in questionnaires. The comparison and verifications of the results were made possible via a control group. The survey consisted of initial and final surveys, as well as specific surveys of acceptance on the particular application-oriented tasks. The second survey was similar to the first one, but included two semesters and shows not only how the intervention

is also suitable for the second semester, but also how the exam can effect those kind of interventions and what difficulties such empirical studies face. Thus this work shows not only a new type of application tasks, but also current problems of higher education, which should be debated and need more research.

Einleitung

Die Mathematiklehre als Spannungsfeld in der Ingenieurausbildung

Lehrveranstaltungen wie „Mathematik für Maschinenbauer“ werden häufig unter dem Begriff der „Service-Veranstaltungen“ geführt und sollen den Studierenden des entsprechenden Ingenieurstudiengangs die für ihr Studium notwendigen mathematischen Werkzeuge an die Hand geben und ihnen zudem mathematische Denkweisen vermitteln. So kann man beispielsweise bei Alpers (2010) von den zwei wichtigsten Zielen der Mathematikvorlesungen für Maschinenbauer erfahren:

„Correspondingly, the mathematical education of engineers has two major goals: It should enable students to understand, set up and use the mathematical concepts, models and procedures that are used in the application subjects like engineering mechanics, machine dynamics or control theory. [...] The second major goal of mathematics education is to provide students with a sound mathematical basis for their future professional life.” (Alpers, 2010, S. 2)

Bedingt durch die unterschiedlichen Eingangsvoraussetzungen und der daraus resultierenden Heterogenität des mathematischen Fachwissens der Studierenden sind teils große Hürden in den ersten Semestern vorprogrammiert. Weiterhin kommt in der Ingenieurmathematik die Schwierigkeit hinzu, dass in den Fachvorlesungen oft mathematische Inhalte verwendet oder vorausgesetzt werden, die noch nicht in den Mathematikvorlesungen behandelt wurden. Zudem kann man beispielsweise bei Bingolbali u. a. (2007) erfahren, dass Ingenieure die Mathematik lediglich als Werkzeug sehen und teilweise völlig andere Zugänge zu den Themen suchen, wodurch eine Mathematikvorlesung, die nicht auf ihre Bedürfnisse angepasst ist, deutlich größere Schwierigkeiten bereiten kann und nur schwerlich in der Lage ist Motivationen zu wecken. Auch ist den Studierenden gerade in den ersten Semestern oft

nicht bewusst, in welchem Zusammenhang die in den Mathematikvorlesungen behandelten Themen zu den ingenieurwissenschaftlichen Inhalten stehen. Demotivation und Desinteresse an der für sie später sehr wichtigen Mathematik ist oft die Folge und dies führt zu erhöhten Durchfallquoten in den Mathematikprüfungen (siehe z.B. Härterich u. a. (2012), S.255/256) . In einer Online-Studie von Derboven u. Winkler (2009) wurden von Dezember 2006 bis Oktober 2007 insgesamt 680 Studienabbrecher der Ingenieurwissenschaften zu ihren Gründen befragt (ebd. S.15). Mehr als die Hälfte der Probanden gaben an, dass u.a. folgende Gründe sehr zentral und ausschlaggebend für ihren Abbruch waren:

- Man bekam oft isolierte Fakten präsentiert – ohne Zusammenhang oder einen Überblick.
 - Es gab kaum konkrete Beispiele, die einem das Verstehen leichter gemacht hätten.
 - Man musste häufig Dinge lernen, die für den späteren Beruf keine Bedeutung haben.
 - Überwiegend ging es darum Formeln anzuwenden, ohne sie zu verstehen.
- (vgl. Tabelle 2.2 in Derboven u. Winkler (2009), S. 19).

Dies zeugt unter anderem von einer schlechten Verständnisvermittlung für die Mathematik und einer großen Frustration. Die Autoren schlussfolgern:

„Als zusammenfassendes Ergebnis kann festgehalten werden, dass über alle Konflikt-Faktoren und alle Befragten der Leistungsdruck und die Formellastigkeit beziehungsweise mangelnde Berufsrelevanz der Studieninhalte am stärksten im Studium demotivieren.“

(Derboven u. Winkler (2009), S. 17/18)

Weiterhin haben Pfenning u. a. (2002) durch eine Studie mit über 1000 deutschen Ingenieuren und Naturwissenschaftlern zeigen können, dass das Studium von den Studierenden als zu abstrakt und praxisfern bewertet wird (S. 20, 50). Sie empfehlen, dass bereits im Grundstudium Praxiskenntnisse und anwendungsbezogene Lehrinhalte vermittelt werden sollten (S. 79). Dass diese Probleme noch immer aktuell sind, kann man beispielsweise bei Roach u. a. (2014) erfahren, die in ihren Projekten versuchen den geforderten Praxisbezug in das Ingenieurstudium zu integrieren.

Der Kontext dieser Dissertation: Das MatheMasch-Projekt

Der Autor dieser Dissertation war seit 2013 Mitglied des Kompetenzzentrum Hochschuldidaktik Mathematik (khdm) und war insbesondere der AG Ing-Math (Mathematik in den Ingenieurwissenschaften) zugehörig. Das Teilprojekt, welches ihm ermöglichte seine Forschungen voranzutreiben, stellt sich unter den Namen „Mathematik für Maschinenbauer: Integration des Modellierens in ingenieurwissenschaftlichen Zusammenhängen“ vor und wird von Prof. Dr. Rolf Biehler und Prof. Dr. Gudrun Oevel geleitet. Informationen rund um das Projekt finden sich u.a. auf der khdm-Homepage¹ sowie bei Oevel u. a. (2014).

In dem Projekt werden die Problemsituationen bei der Vermittlung und dem Erwerb von Mathematik in „klassischen“ Mathematik für Maschinenbauer-Veranstaltungen sowie Interventionselemente für die Veranstaltung „Mathematik für Maschinenbauer“ untersucht und entwickelt, wobei diese Elemente begleitend und abschließend evaluiert werden sollen. Die geplanten Maßnahmen betreffen insbesondere:

- das Betonen der Einsatzgebiete der Mathematik in den Ingenieurwissenschaften: Vorbereitung der Studierenden auf Simulieren, Modellieren und Interpretieren von Problemstellungen und Lösungen
- die Veranschaulichung der Mathematik durch ingenieurwissenschaftliche Anwendungsbeispiele
- die zeitliche Umstrukturierung der Lerninhalte, so dass die benötigte Mathematik parallel zu den Fachveranstaltungen gelehrt wird
- die Umgestaltung der Lerninhalte bezüglich ihrer Relevanz.

Der Autor dieser Arbeit konzentrierte sich dabei zunächst insbesondere auf die ersten beiden Punkte und später auch auf den dritten. Die hierbei entwickelten Aufgaben und deren zugrundeliegendes Konzept sowie deren Weiterentwicklung und Evaluierung sind Hauptbestandteil dieser Dissertation. Die erfolgreich initiierte Kooperation zwischen den Lehrenden der Mathematik und der Technischen Mechanik an der Universität Paderborn und die daraus resultierende zeitliche Umstrukturierung der Lehrinhalte (dritter Punkt) wird Erwähnung finden, stellt jedoch mehr eine indirekte erfreuliche Folgerung der erforschten Intervention dar und wird daher kein zentraler Bestandteil dieser Arbeit sein.

¹<http://www.khdm.de>

Die Ziele dieser Arbeit

Im Zuge der Arbeit des Autors im erwähnten MatheMasch-Projekt wurden von ihm neue spezielle Anwendungsaufgaben entwickelt und evaluiert, deren Ziel es ist, gerade in der Studieneingangsphase und in den ersten Semestern eine Brücke zwischen der Mathematik und den fachspezifischen Inhalten im Maschinenbaustudium zu schlagen. Einerseits soll bei diesen neuen Aufgaben die Betonung auf den Einsatzgebieten der Mathematik in den Ingenieurwissenschaften liegen und andererseits sollen die Studierenden auch auf das Modellieren, Simulieren und Interpretieren von Problemstellungen und Lösungen vorbereitet werden. Speziell die Veranschaulichung der Mathematik durch ingenieurwissenschaftliche Anwendungsbeispiele und deren durchgängige Integration in die einzelnen Themen der Veranstaltung war und ist ein elementares Ziel.

In dieser Arbeit soll die vom Autor entwickelte Intervention und die zum Zwecke der Evaluation durchgeführten Studien im Detail beschrieben werden. Hierbei geht es zunächst um das den Aufgaben zugrundeliegende Konzept, welches an Beispielaufgaben weitergehend erläutert wird, als auch später insbesondere um die durchgeführten quantitativen Studien in den Jahren 2013 bis 2015. Die Möglichkeiten und Grenzen, die solch eine Intervention bietet, sollen dadurch aufgezeigt und diskutiert werden, so dass zukünftige Lehroptimierungen in diesem Gebiet auf den gewonnenen Erfahrungen aufbauen und weiter- bzw. neu entwickelt werden können.

Der Aufbau der Arbeit

Die hier vorliegende Arbeit beginnt mit der Darstellung der Relevanz der deutschen Ingenieurausbildung und dem Abbruchproblem, gefolgt von einer theoretischen Einleitung in Form einer Zusammenfassung der mathematikdidaktischen Diskussion zum mathematischen Modellieren.

Anschließend wird das Konzept, welches die Grundidee hinter den erstellten Aufgaben und der evaluierten Intervention darstellt, beschrieben und an Hand von Beispielen erläutert.

Es folgen schließlich die Beschreibungen der Umsetzungen und die Ergebnisse der durchgeführten Studien, welche der Untersuchung der entwickelten Intervention dienen.

Ein Gesamtfazit schließt letztlich die Arbeit ab und gibt weiterhin einen Ausblick auf mögliche Folgerungen für die Zukunft.

1 Die Relevanz der deutschen Ingenieurausbildung und das Abbruchproblem

Nahezu die Hälfte aller Studierenden der Ingenieurwissenschaften verlassen an deutschen Universitäten den Studiengang ohne Abschluss. Diese Zahlen sind nicht nur für die Studierenden selbst, sondern auch für den Fachkräftemarkt ein ernstzunehmendes Problem und lassen die Bemühungen der Hochschulen, junge Leute für Technik zu begeistern, als zu gering erscheinen. In den folgenden Abschnitten wird es um die Studienzahlen im Allgemeinen sowie die Abbruchzahlen und -gründe der Studierenden in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen im Speziellen gehen, wobei uns insbesondere die des Fachbereichs Maschinenbau interessieren.

Mittlerweile gibt es eine enorme Zahl an verschiedensten Projekten, die sich den Abbruchgründen widmen und Problemlösungen suchen, daher sollen auch einige ausgewählte Ideen und Umsetzungen im späteren Verlauf Erwähnung finden.

Als Ingenieur wird in dieser Arbeit eine männliche oder weibliche Person bezeichnet, die einen Abschluss in einem ingenieurwissenschaftlichen Studiengang an einer Hochschule, Universität oder Fachhochschule besitzt. Aus Gründen der Lesbarkeit wird häufig auf eine geschlechterdifferenzierende Formulierung verzichtet. Da wir uns verstärkt mit den Studierenden der Maschinenbaustudiengänge, speziell an der Universität Paderborn, beschäftigen wollen, werden diese, sofern die Zuordnung eindeutig möglich ist, auch für sich als (angehende) Ingenieure bezeichnet. Werden Abbildungen aus anderen Arbeiten übernommen, so wird dies durch das Wort „aus“ mit nachfolgender Quelle vermerkt. Wurde die Grafik angelehnt an eine bestehende Abbildung neu vom Autor erstellt, so wird dies durch das Wort „nach“ ausgedrückt oder auf anderem Wege weiter verdeutlicht.

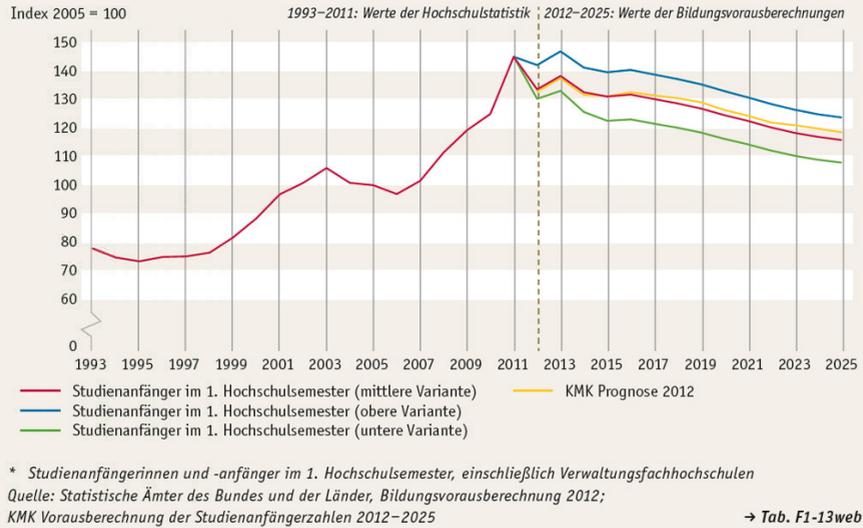
1.1 Zahlen und Fakten zum Studium in Deutschland

Um ein Gefühl für die Mengen zu bekommen, über die diskutiert wird, wollen wir im folgenden einen kurzen Überblick über die Studierendenzahlen der letzten Jahre geben. Dabei wollen wir auf die allgemeinen Zahlen, die der Ingenieurwissenschaftler, die Studiendauer und den Frauenanteil bei den Ingenieuren schauen. Wir werden uns an dieser Stelle auf die für uns wesentlichen Daten konzentrieren. Eine deutlich tiefer gehende Zusammenfassung ist beispielsweise bei Leszczensky u. a. (2013) zu finden.

1.1.1 Allgemeine Zählungen

Laut dem Statistischem Bundesamt StBA (2013c) stieg die Anzahl der Studierenden in Deutschland vom Wintersemester 2010 / 2011 von etwa 2,2 Millionen auf knapp 2,5 Millionen im WS 12/13 an. Davon waren zu beiden Zählungen etwa 66% an Universitäten eingeschrieben, wobei davon wiederum 51% weiblich waren. Die Studienanfängerzahlen stiegen von knapp 445.000 im Studienjahr 2010 auf etwa 519.000 im Jahr 2011 an und sanken wieder auf etwas über 495.000 Studienanfänger im Jahr 2012 ab (ebd.: S. 13/14). Blickt man in die Vergangenheit, so erkennt man im Vergleich zu 2005 laut Weishaupt (2012) einen Zuwachs in den Studienanfängerzahlen von 45%. Als relevante Punkte werden u.a. doppelte Abiturjahrgänge, hohe Zahlen an Bildungsausländern (jeder siebte Studienanfänger ist Ausländer) und politische Einflüsse, wie die Aussetzung der Wehrpflicht genannt.

Laut Vorausberechnungen wird die Nachfrage nach Studienplätzen bis 2025 auf hohem Niveau bleiben (ebd.: S. 126). Man beachte dazu die folgende Abbildung.

Abb. F1-3: Studienanfängerzahl* seit 1993, 2012 bis 2025 nach Vorausberechnungsvarianten (Indexwerte, 2005 = 100)**Abbildung 1.1:** Studienanfängerzahlen aus Weishaupt (2012), S. 126

Ein interessanter Zusammenhang ist im Übrigen zwischen dem Bildungsstatus der Eltern und der Studierentscheidung der Kinder zu erkennen. So liegt die Studierwahrscheinlichkeit (bei Personen mit Studienberechtigung) bei etwa 80%, wenn mindestens ein Elternteil einen Universitätsabschluss hat, während sie auf etwa 61% sinkt, wenn mindestens ein Elternteil lediglich eine Lehre (oder gar keinen beruflichen Abschluss) beendet hat (ebd.: S. 125, eigene Durchschnittsberechnungen).

1.1.2 Anteile der Ingenieurwissenschaften

Werfen wir nun einen Blick auf die Ingenieurwissenschaften. Im Jahre 2009 lag der Studienanfängeranteil in Deutschland erstmals seit 1993 wieder über 20% (über alle Studienanfänger) und stieg bis zum WS 11/12 weiter an. Der bisher niedrigste Wert wurde 2001 mit gerade einmal 16,6% vermerkt. (ebd.: S. 127). Auch im WS 12/13 haben sich wieder fast 107.000 Studienanfänger (davon 24.801 Frauen) für die Ingenieurwissenschaften entschieden, was einen Anteil von ca. 22% an den Studienanfängerzahlen ausmacht (StBA (2013c), S.14 u. 33, eigene Berechnungen). Insgesamt gesehen kann man