

**Entwicklung, Implementierung und Evaluation
eines Strategietrainings zur Förderung
mechanisch-mathematischer
Modellierungskompetenz von Studierenden
ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge beim
Lösen von Statikaufgaben**

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften,
Abteilung Bauwissenschaften,
Technologie und Didaktik der Technik
der Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Philosophie
– Dr. phil. –

genehmigte Dissertation von

Kristina Lampe, M. Sc.
geboren in Mülheim an der Ruhr

1. Gutachter: Prof. Dr. phil. Dipl.-Ing. Martin Lang
2. Gutachterin: Prof. Dr. phil. nat. Alexandra Dorschu

Tag der mündlichen Prüfung: 22.09.2025

Essen, 2025

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Diese Dissertation wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt und liegt auch als Print-Version vor.

DOI: 10.17185/duepublico/84379

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20251015-074412-2

Alle Rechte vorbehalten.

Danksagung

Diese Dissertation wäre ohne die Unterstützung vieler wunderbarer Menschen nicht möglich gewesen. Für diese Begleitung bin ich sehr dankbar. Besonders danke ich meiner Betreuerin und Gutachterin Prof. Dr. Alexandra Dorschu. Deine fachlichen Impulse und die wertvollen Anregungen, die ich aus unseren Diskussionen mitgenommen habe, haben mich stets weitergebracht und dafür möchte ich dir danken. Vor allem danke ich dir für deine Motivation und deinen Zuspruch über die Jahre. Außerdem möchte ich dir für unseren Zusammenhalt danken.

Mein aufrichtiger Dank gilt ebenso Prof. Dr. Martin Lang. Sie waren immer spontan erreichbar und haben mir inhaltlich konsequent wertvolles Feedback gegeben. Danke für Ihre Rücksicht und Ihre Mühe.

Ein weiterer herzlicher Dank gilt meinem Kollegen Prof. Arne-Rasmus Jost, der mich über Jahre unterstützt hat, die Datenerfassung überhaupt erst durch seine Flexibilität ermöglicht hat und mir mit seiner beeindruckenden akribischen Genauigkeit bis zum Ende mit vollem Tatendrang zur Seite stand. Ich danke dir auch dafür, dass du mich immer aufgebaut hast, wenn ich verzweifelt war.

Eine große Stütze während dieser Zeit war meine Kollegin Angelika Boldys. Danke, dass du immer ein offenes Ohr hattest und mir bei meinen Gedanken zugehört hast. Danke, dass du die Studie so intensiv begleitet hast.

Auch meinen Freunden und meiner Familie möchte ich zutiefst danken. Ihr habt mir zugehört, mich ermutigt und Verständnis gezeigt, wenn ich mit meinen Gedanken mal wieder woanders war. Ein besonderes Dankeschön geht auch an Katja und Melanie für unseren internen Zusammenhalt. Danke für eure fachlichen Impulse, das regelmäßige Aufbauen und die schöne Zeit zusammen.

Ein weiterer unbeschreiblicher Dank geht an meinen Mann und meine Kinder, die mir Tag für Tag ein Lächeln ins Gesicht gezaubert haben, egal, wie frustriert ich war. Ihr habt mich aufgefangen, mir gut zugeredet, mir Zeit verschafft und den Rücken grenzenlos freigehalten. Danke, dass es euch gibt!

Mein letzter, ganz besonderer Dank gilt meinem Vater, der mich all den Ehrgeiz und die Zielstrebigkeit gelehrt hat. Der mir beigebracht hat, wissbegierig zu sein, nicht aufzugeben, viel nachzufragen, und Dinge zuverlässig zu einem Ende zu bringen. Mein letztes Versprechen an dich ist das, was mir immer wieder Kraft gegeben hat. Ich bin mir sicher, dass du mächtig stolz wärst. Diese mühevollen, harten, herausfordernden und gleichzeitig freudigen Arbeit ist dir gewidmet. Danke für alles, Papa.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis	vii
Abkürzungsverzeichnis	ix
1. Einleitung	1
2. Lehre in der Technischen Mechanik	6
2.1 Struktur eines Statik-Kurses	7
2.2 Schwierigkeiten in der Statik.....	10
2.3 Alternative Lehrformate für die Statik.....	12
2.4 Zusammenfassung	15
3. Lösen von Statikaufgaben.....	17
3.1 Lösungsprozess von Statikaufgaben.....	17
3.2 Zusammenfassung	22
4. (Mechanisch-) Mathematische Modellierung	23
4.1 Definition Modellierungskompetenz	23
4.2 Mathematische Modellierung	26
4.3 Unterschied zwischen Modellierung und Problemlösen in der Mechanik	27
4.4 Zusammenfassung	30
5. Interventionsansätze und Theorien zur Förderung von Modellierungsprozessen beim Lösen von Aufgaben in der Lehre.....	31
5.1 Darlegung der Interventionsansätze und Theorien zur Förderung von Modellierungsprozessen beim Lösen von Aufgaben in der Lehre.....	31
5.2 Zusammenfassung	37
6. Forschungsfragen und -hypothesen.....	38
7. Methoden und Design.....	43
7.1 Methodisches Vorgehen	43
7.1.1 Forschungsdesign	43
7.1.2 Methodische Rahmenbedingungen des Kontrollgruppendesigns	46
7.2 Zusammenfassung	48
8. Übungskonzept für die Statik.....	49
8.1 Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung.....	49

8.1.1	Aufbau des Statik-Kurses	49
8.1.2	Aufbau der Übungen im Statik-Kurs.....	50
8.2	Aufbau des Strategietrainings.....	50
8.2.1	Ziele und Elemente des Strategietrainings	50
8.2.2	Struktur und Beschreibung des Strategietrainings	53
8.2.3	Struktur des Lernmaterials für das Strategietraining.....	57
8.3	Klassisches Übungskonzept	61
8.4	Zusammenfassung	63
9.	Anlage der Untersuchung	64
9.1	Voruntersuchung	64
9.2	Hauptuntersuchung.....	65
9.3	Gütekriterien.....	66
9.3.1	Objektivität	66
9.3.2	Validität	67
9.3.3	Reliabilität.....	68
9.4	Testinstrumente	70
9.4.1	Deklaratives Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik.....	72
9.4.1.1	Konstruktion und Beschreibung des Wissenstests.....	72
9.4.1.2	Pilotierung des Wissenstests.....	76
9.4.1.3	Güte des Wissenstests.....	79
9.4.2	Anwendung des Modellierungskreislaufs in Statik im Leistungstest.....	85
9.4.2.1	Konstruktion und Beschreibung des Leistungstests	85
9.4.2.2	Pilotierung des Leistungstests	88
9.4.2.3	Güte des Leistungstests	91
9.4.3	Personenbezogene Daten.....	96
9.5	Datenqualität.....	97
9.5.1	Datenerhebung.....	97
9.5.2	Datenbereinigung	98
9.6	Zusammenfassung	101
10.	Evaluation des Strategietrainings	104
10.1	Statistische Grundlagen	104
10.1.1	Hypothesentests.....	104
10.1.2	Parametrische Tests	105
10.1.2.1	T-Test für unabhängige Stichproben.....	106
10.1.2.2	T-Test für abhängige Stichproben.....	107
10.1.2.3	Effektstärkenmaß Cohens d	107
10.1.3	Nicht-parametrische Tests	108
10.1.3.1	Welch-Test	108
10.1.3.2	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test	109

10.1.3.3	Effektstärkenmaß Pearsons Korrelationskoeffizient r	110
10.2	Auswertung.....	111
10.2.1	Deskriptive Ergebnisse zur Beschreibung der Stichprobe	113
10.2.2	Deklaratives Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik	114
10.2.2.1	Gruppenunterschiede im deklarativen Wissen über den MDK vor der Intervention.....	114
10.2.2.2	Prä-Post-Vergleich des deklarativen Wissens über den MDK über eine Stichprobe.....	118
10.2.2.3	Gruppenvergleich des Lernzuwachses im deklarativen Wissen über den MDK.....	120
10.2.3	Anwendung des Modellierungskreislaufs im Leistungstest	121
10.2.3.1	Gruppenunterschiede in der Anwendung des MDK vor der Intervention	121
10.2.3.2	Prä-Post-Vergleich der Anwendung des MDK in TM1 über eine Stichprobe.....	123
10.2.3.3	Gruppenvergleich des Lernzuwachses in der Anwendung des MDK ..	125
10.3	Beantwortung der Forschungsfragen.....	126
10.3.1	Hypothese 1	126
10.3.2	Hypothese 2	127
11.	Diskussion der Ergebnisse	128
11.1	Diskussion des Studiendesigns.....	128
11.2	Diskussion der ersten Forschungsfrage	130
11.3	Diskussion der zweiten Forschungsfrage	132
11.4	Zusammenfassung	134
12.	Ausblick	135
13.	Zusammenfassung	137
13.1	Zusammenfassung	137
13.2	Abstract.....	138
A.	Beispieldarstellungen der Testaufgaben im Leistungstest.....	139
	Exemplarische Darstellung für den Aufgabenteil „Erstellung eines Freischnitts“ im LT	139
	Beispielhafte Darstellung für den Moodle-Aufbau eines SG-Items im LT	140
	Beispielhafte Aufgabenstellungen je Inhaltsbereich im Leistungstest:	141
	Beispielhafte Darstellung der Eingaben im LT	142
	Quellcode eines Beispielitems aus dem Bereich SG im Leistungstest.....	143
B.	Pilotierungsergebnisse.....	149
	SET WiSe 22/23	149
	SET SoSe 23	151

SET WiSe 23/24 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung.....	152
SET WiSe 23/34 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung.....	153
LT SoSe 23	154
LT WiSe 23/24 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung	155
LT WiSe 23/24 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung	156
C. Ergebnisse Hauptstudie	157
Datenbereinigung.....	157
Gruppenunterschiede hinsichtlich der Studiengänge.....	158
Gruppenunterschied Studiengang im SET zum Prä-MZP	158
Gruppenunterschied Studiengang in den Kontrollvariablen.....	159
Gruppenunterschied Studiengang im LT zum Prä-MZP	160
Gruppenunterschied Studiengang in den Post-Leistungen im Wissens- und Leistungstest	162
Gruppenunterschied Wiederholstatus	162
Weitere Analyseergebnisse.....	165
Literaturverzeichnis	168

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Modellierungsbeispiel nach Müller-Slany (2018).....	20
Abbildung 3-2 Lösungsprozess von Statikaufgaben (eigene Darstellung).....	21
Abbildung 7-1 Prä-Post-Setting im Rahmen der Studie.....	46
Abbildung 9-1 Beispiel-Item aus dem Wissenstest für die erste Kategorie	73
Abbildung 9-2 Beispiel-Item 1 aus dem Wissenstest für die zweite Kategorie (Mehrfachauswahl)	74
Abbildung 9-3 Beispiel-Item 2 aus dem Wissenstest für die zweite Kategorie (Singleauswahl).....	74
Abbildung 9-4 Beispielitem aus dem Wissenstest für die dritte Kategorie.....	75
Abbildung 9-5 Histogramm und Boxplot über die Bearbeitungszeiten im Wissenstest zum Prä-Messzeitpunkt.....	99
Abbildung 9-6 Histogramm und Boxplot über die Bearbeitungszeiten im Wissenstest zum Post-Messzeitpunkt	99
Abbildung 10-1 Übersicht der Auswertungsschritte	112
Abbildung 10-2 Histogramme der Wiederholer und Erstbeleger über den Wissenstest zum Prä-MZP	115
Abbildung 10-3 Histogramme der Wiederholer und Erstbeleger für die Note der Hochschulzugangsberechtigung.....	115
Abbildung 10-4 Histogramme der Wiederholer und Erstbeleger für die Mathematiknote.....	116
Abbildung 10-5 Histogramme beider Gruppen für den Wissenstest zum Prä-MZP	117
Abbildung 10-6 Boxplots beider Gruppen für den Wissenstest zum Prä-MZP	117
Abbildung 10-7 Boxplots der Prä-Post-Differenzen beider Gruppen im Wissenstest zum Prä-MZP	118
Abbildung 10-8 Boxplot über den Lernzuwachs im Wissenstest je Gruppe im Vergleich	120
Abbildung 10-9 Boxplots der Wiederholer und Erstbeleger über den Leistungstest zum Prä-MZP	122
Abbildung 10-10 Histogramme beider Gruppen für den Leistungstest zum Prä-MZP	123
Abbildung 10-11 Prä-Post-Vergleich des Lernzuwachses beider Gruppen im Leistungstest.....	124
Abbildung 10-12 Boxplot über den Lernzuwachs im Leistungstest je Gruppe im Vergleich	125
Abbildung A-1 Exemplarische Darstellung für den Freischnitt im Leistungstest.	139
Abbildung A-2 Beispielhafte Darstellung für den Moodle-Aufbau eines Schnittgrößen-Items im LT	140
Abbildung A-3 Beispielhafte Darstellung der Eingaben im LT	142
Abbildung C-1 Bearbeitungszeiten im Leistungstest zum Prä-Messzeitpunkt	157
Abbildung C-2 Histogramm der Bearbeitungszeiten im Leistungstest zum Post- MZP.....	157

Abbildung C-3 Histogramme Wissenstest zum Prä-MZP je Studiengang	158
Abbildung C-4 Boxplots differenziert nach Studiengang für die Note der HZB sowie die Mathematiknote	159
Abbildung C-5 Histogramme LT zum Prä-MZP je Studiengang	161
Abbildung C-6 Boxplots LT zum Prä-MZP je Studiengang	161
Abbildung C-7 Boxplots je Wiederholstatus für SET zum Prä-MZP	163
Abbildung C-8 Boxplots Leistungstest zum Prä-MZP je Wiederholstatus je Gruppe	164
Abbildung C-9 Histogramme der Prä-Post-Differenzen im Wissenstest je Gruppe	165

Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1: Übersicht der zu untersuchenden Variablen.....	45
Tabelle 8-1 Lernziele des Strategietrainings	51
Tabelle 8-2 Ablauf des Strategietrainings	53
Tabelle 8-3 Strukturvorgabe des Modellierungskreislaufs für den Inhaltsbereich Gleichgewicht am starren Körper (Lehreinheiten Lager & Gelenke)	58
Tabelle 8-4 Struktur der Aufgabenstellung im Strategietraining zur Lehreinheit Lager	59
Tabelle 8-5 Struktur der Musterlösung für eine Aufgabe aus der Lehreinheit Lager	60
Tabelle 8-6 Ablauf der klassischen Übungssitzung mit der Kontrollgruppe.....	61
Tabelle 9-1 Einstufungen der Skalenreliabilität nach Bond et al., 2020	69
Tabelle 9-2 Übersicht der eingesetzten Testinstrumente in der Hauptstudie	71
Tabelle 9-3 Übersicht Überarbeitung des Wissenstests (SET).....	76
Tabelle 9-4 Korrelationen zwischen den Ergebnissen im SET, im LT, der Note der HZB, der Mathematiknote und der Klausur.....	80
Tabelle 9-5 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für SET vor der Überarbeitung.....	81
Tabelle 9-6 Übersicht der Trennschärfen der Items im Wissenstest zum Post-MZP vor der Überarbeitung	82
Tabelle 9-7 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für den Wissenstest nach Überarbeitung	83
Tabelle 9-8 Trennschärfen der verbliebenden Items im Wissenstest	84
Tabelle 9-9 Struktur der Items im Leistungstest.....	86
Tabelle 9-10 Reliabilitätsanalyse Leistungstest im Sommersemester 2023	89
Tabelle 9-11 Übersicht der Überarbeitung des Leistungstests	90
Tabelle 9-12 Interrater-Reliabilität für den Freischnitt im Leistungstest	92
Tabelle 9-13 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für den Leistungstest vor der Überarbeitung	93
Tabelle 9-14 Trennschärfen der Items im Leistungstest zum Post-MZP vor der Überarbeitung.....	94
Tabelle 9-15 Trennschärfen der Items im Leistungstest nach der Überarbeitung..	95
Tabelle 9-16 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für den Leistungstest nach der Überarbeitung	95
Tabelle 9-17 Personenbezogene Daten.....	96
Tabelle 9-18 Datenbereinigung nach Bearbeitungszeit und fehlenden Items	101
Tabelle 10-1 Einteilungsstufen für Pearsons Korrelationskoeffizienten	110
Tabelle 10-2 Deskriptive Ergebnisse der personenbezogenen Daten für den vollständigen Datensatz	113
Tabelle 10-3 Gruppenvergleich der Kontrollvariablen Mathematiknote und Note HZB.....	113
Tabelle 10-4 Gruppenvergleich des Wiederholstatus in den Kontrollvariablen....	116

Tabelle 10-5 Gruppenvergleich der Testergebnisse im Wissenstest zum Prä-MZP	118
Tabelle 10-6 Prä-Post-Mittelwertvergleich pro Gruppe für den Wissenstest.....	119
Tabelle 10-7 Gruppenvergleich des Lernzuwachses im Wissenstest	121
Tabelle 10-8 Gruppenvergleich des Leistungstests zum Prä-Messzeitpunkt	123
Tabelle 10-9 Prä-Post-Vergleich mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Leistungstest pro Gruppe.....	124
Tabelle 10-10 Gruppenvergleich des Lernzuwachses im Leistungstest.....	125
Tabelle A-1 Beispielhafte Aufgabenstellungen je Inhaltsbereich im LT	141
Tabelle B-1 Itemanalyse SET im Wintersemester 2022/2023.....	149
Tabelle B-2 Item-Trennschärfen im SET im Sommersemester 2023.....	151
Tabelle B-3 Item-Trennschärfen im SET im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung	152
Tabelle B-4 Item-Trennschärfen im SET im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung.....	153
Tabelle B-5 Item-Trennschärfen im LT im Sommersemester 2023	154
Tabelle B-6 Item-Trennschärfen im LT im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung	155
Tabelle B-7 Item-Trennschärfen im LT im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung.....	156
Tabelle C-1 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den SET zum Prä-MZP je Studiengang	158
Tabelle C-2 Gruppenvergleich der Studiengänge in den Kontrollvariablen	159
Tabelle C-3 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für die Kontrollvariablen je Studiengang.....	160
Tabelle C-4 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den LT zum Prä-MZP je Studiengang	161
Tabelle C-5 Gruppenvergleich Studiengänge für Lernzuwächse und Post-Leistungen im SET und LT.....	162
Tabelle C-6 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für SET zum Prä-MZP und die Kontrollvariablen je Wiederholstatus.....	162
Tabelle C-7 Gruppenvergleich Wiederholstatus für Lernzuwächse und Post-Leistungen im SET und LT.....	163
Tabelle C-8 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den Leistungstest zum Prä-MZP je Wiederholstatus	164
Tabelle C-9 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für SET zum Prä-MZP je Gruppe.....	165
Tabelle C-10 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für die Prä-Post-Differenzen im Wissenstest je Gruppe.....	165
Tabelle C-11 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den Leistungstest zum Prä-MZP je Gruppe	166
Tabelle C-12 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den Lernzuwachs und die Post-Leistung im Leistungstest je Gruppe	166
Tabelle C-13 Gruppenvergleich der Testergebnisse im Wissenstest zum Post-Messzeitpunkt	167

Abkürzungsverzeichnis

Abb. – Abbildung

ALSTER – Akademisches Lernen und Studienerfolg in der Eingangsphase von naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen

AV – Abhängige Variable

BZ – Bearbeitungszeit

CATS – Concept Assessment Tool for Statics

EG – Experimentalgruppe

FCI – Force Concept Inventory

FF – Forschungsfrage

FH – Forschungshypothese

FW – Fachwerke

Geg. – Gegeben

Ges. – Gesucht

GGW – Gleichgewicht

Gl. – Gleichung

HRW – Hochschule Ruhr West

HZB – Hochschulzugangsberechtigung

KG – Kontrollgruppe

KS – Kräftesysteme

LQ – Lösungsquote

LT – Leistungstest

MB – Maschinenbau

MDK – Modellierungskreislauf

Min. – Minute

PPT – PowerPoint

SET – Schemaerkennungstest (Wissenstest)

SG – Schnittgrößen

SoSe – Sommersemester

ST – Strategietraining

Tab. – Tabelle

TM – Technische Mechanik

TM1 – Statik

UV – Unabhängige Variable

VW – Vorlesungswoche

Wdh. – Wiederholer

WiSe – Wintersemester

1. Einleitung

Im akademischen Kontext der Ingenieurwissenschaften sind hohe Abbruchquoten in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen bekannt (Heublein & Schmelzer, 2018). Hinzu kommt der hohe Fachkräftemangel im Ingenieurwesen (Verein Deutscher Ingenieure [VDI], 2024). Es besteht folglich die Notwendigkeit, den hohen Studienabbruchquoten entgegenzuwirken. Diese Abbruchquoten liegen in den Ingenieurwissenschaften bei 35 % (ebd.), für den Maschinenbau an deutschen Hochschulen bei 37% (Heublein, Hutzsch & Schmelzer, 2022). Die Abbrüche im Maschinenbau sind oft in hohen Durchfallquoten der Grundlagenkurse des Ingenieurstudiums wie der Technischen Mechanik (TM) und daraus folgenden motivationalen Defiziten begründet. Die hohen Durchfallquoten in den Grundlagenkursen wie der TM resultieren aus starken Leistungsproblemen und führen folglich zu Beginn des Studiums schnell zu einem Motivationseinbruch (Heublein, Hutzsch, Sommer, Besuch & Schreiber, 2010; Heublein, 2017; Musekamp, Spöttl, Mehrafza, Heine & Heene, 2014). Die TM1 (Statik) gilt als schwieriges Fach (Goldfinch, Carew & Thomas, 2010; Newcomer & Steif, 2008) im ersten Semester vieler ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge und ermöglicht wenig Anknüpfung an schulisches oder alltägliches Vorwissen (Carew & Dwight, 2006; Direnga, 2021). Die Schwierigkeiten in der Statik liegen oft in dem fehlenden Verständnis der zugrundeliegenden Konzepte und Modelle, da der Fokus in der Lehre auf dem Lernen von Axiomen und schematischen Berechnungsprinzipien liegt (Brose & Kautz, 2011; Direnga, 2021; Ortiz, Heron & Shaffer, 2005; Paton, 2010). Dieser stark prozedurale Charakter der Aufgabenbearbeitung von typischen, vereinfachten Textbuch-Aufgaben in der Lehre wird größtenteils in einem traditionellen Lehrformat eingesetzt, welches oft einen Lehrenden-zentrierten Ansatz verfolgt (Covill, Katz & Morris, 2007; Freeman et al., 2014). Die Leistungsüberprüfung fokussiert ebenfalls auf diesen Berechnungsprozeduren und erfolgt angelehnt an die formulierten Lernziele für den Kurs. Diese Lernziele sind national sowie international ähnlich für die Mechanik formuliert (Direnga, 2021).

In der Statik werden Aufgaben mithilfe der mechanisch-mathematischen Modellierung gelöst, indem Modelle durch Vereinfachungen und Annahmen gebildet und anschließend auf die konkrete Aufgabenstellung angewendet werden. Dieser Modellierungsprozess beinhaltet auch die Reflexion des Ergebnisses und gesamten Lösungsprozesses, um die Ergebnisse in den Kontext einordnen zu können und die zugrunde liegenden Modelle validieren zu können (Carew & Mitchell, 2002; Rowlands, 1997; Wedelin & Adawi, 2014; Wedelin, Adawi, Jahan & Andersson, 2015).

Diese Modellbildung (und -anwendung) und das nötige konzeptionelle Verständnis werden in der Lehre größtenteils aus den Lernzielen und damit der Lehre ausgeklammert (Direnga, 2021; Gross et al., 2011; Steif, 2004), obwohl bereits gezeigt werden konnte, dass die Modellierungsfähigkeit einen nachweisbaren, positiven Einfluss auf die Leistung in TM hat (Dammann & Lang, 2019). Dammann und Lang (2019) identifizierten die fachspezifische Modellierungsfähigkeit, das mathematische Wissen und die Note der Hochschulzugangsberechtigung als Prädiktoren für gute Leistungen in TM. Direnga (2021) zeigte, dass ein explizites Üben mit Aufgaben, die das konzeptionelle Verständnis in TM durch das Aufzeigen und Lösen von Fehlkonzepten in einem Studierenden-zentrierten Lernsetting trainieren, zu besseren Leistungen in TM führt (Direnga, 2021). Auch Strategietrainings, die auf den Lösungsprozess von Aufgaben und der Reflexion des Modellierungsprozesses fokussieren, sind bereits als fördernd für den Aufgabenlösungsprozess eingestuft worden (Paton, 2010; Plicht, 2024; Wedelin et al., 2015; Woitkowski, 2018).

Für angehende Ingenieure¹ ist es essentiell, neben den Prozeduren auch ausreichend tiefgehendes Verständnis für die zugrunde liegenden Modelle und Systeme zu erlangen, um in der Lage zu sein, dieses Wissen auf unbekannte Situationen und Probleme transferieren zu können (Direnga, 2021; Edström, 2012; Wedelin & Adawi, 2014; Wedelin et al., 2015). Als Folge daraus sollte in der Lehre die Modellierungskompetenz, welche diese Reflexionen beinhaltet und den Transfer ermöglicht, explizit gefördert werden.

Die bisherige Forschungslage bestätigt die Herausforderungen in der TM-Lehre und unterstreicht die Notwendigkeit gezielter Maßnahmen zur Unterstützung der Studierenden beim Modellierungsprozess in TM beim Lösen von Statikaufgaben. Um Studierende des Maschinenbaus für die Berufswelt anforderungsgerecht im Rahmen des Studiums auszubilden, sollte eine Neufokussierung der Lehre erfolgen. Dabei sollte ein Format gewählt werden, welches angelehnt an das Constructive Alignment² die Lernziele, die Lehr- und die Prüfungsform gezielt auf das Erreichen eines tieferen Verständnisses und damit das explizite Anwenden des für die Statik spezifischen Modellierungsprozesses beim Lösen von Statikaufgaben anpasst.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung, Implementierung und Evaluation eines neu entwickelten Übungskonzeptes für die Statik-Lehre ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge, dessen Konzeption auf empirischen Befunden zu effektiven Lehr-Lernstrategien im Bereich des (mechanisch-) mathematischen Modellierens basiert und dabei die bisherigen Forschungsbefunde aus dem Forschungsfeld der Ingenieurdidaktik sowie der Mathematik- und Physikdidaktik und allgemeine Lerntheorien berücksichtigt.

¹ Aufgrund der Lesbarkeit wird in der gesamten Arbeit nur die männliche Form für jegliche Ausführungen verwendet, aber alle Personenbezeichnungen gelten für jedes Geschlecht (w/m/d).

² Constructive Alignment beschreibt die Abstimmung zwischen Lernzielen, Lernaktivitäten und der Leistungsüberprüfung (vgl. Biggs (1996)).

Dieses Konzept zielt auf eine signifikante Steigerung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz der Studierenden ab, um ein erfolgreiches Lösen von Statikaufgaben zu erzielen und damit die Durchfallquoten des Kurses zu reduzieren.

Um die Effektivität dieses im Rahmen der Studie entwickelten Lehrkonzeptes empirisch zu prüfen, wird ein Experimental-Kontrollgruppendesign gewählt, welches in einen Prä-Post-Vergleich eingebettet wird, um so auch die Anfangsbedingungen kontrollieren zu können und damit mögliche Störvariablen auszuschließen und folglich einen Gruppenvergleich der Leistungen der Studierenden zu ermöglichen.

Die Leistungen, die hier im Gruppenvergleich untersucht werden sollen, beziehen sich auf die mechanisch-mathematische Modellierungskompetenz beim Lösen von Statikaufgaben. Dabei werden die erfassten Leistungen differenziert nach dem Wissen über den Modellierungskreislauf (MDK) in Statik sowie nach der Anwendung dieses Kreislaufs beim Lösungsprozess von Statikaufgaben betrachtet und mithilfe im Rahmen dieser Arbeit neu entwickelter Testinstrumente erfasst.

Hierzu folgt die Arbeit einer klassischen Struktur. Zunächst wird im Theorieteil die fachdidaktische Sicht auf die Lehre in der Statik dargestellt. Dabei wird die Struktur des Statik-Kurses beschrieben, die Schwierigkeiten, welche sich beim Lösen von Statikaufgaben oft bei Studierenden ergeben, aufgezeigt sowie bisher existierende und teilweise erforschte alternative Lehrkonzepte vorgestellt. Anschließend wird der Lösungsprozess von Statikaufgaben dargestellt und mit der nachfolgenden detailliert beschriebenen mechanisch-mathematischen Modellierung in Beziehung gesetzt. Darauf aufbauend werden derzeitige Interventionsansätze sowie Lerntheorien zur Förderung von Modellierungsprozessen beim Lösen von Aufgaben in der Lehre eruiert.

Die im Rahmen dieser Arbeit zu bearbeitenden Forschungsfragen werden vorgestellt. Die hierzu formulierten Forschungshypothesen sind abgeleitet aus den bisherigen Forschungserkenntnissen aus dem Bereich der Modellierung in der TM sowie aus dem Bereich des Modellierens zur Lösung von Lernaufgaben aus den angrenzenden Disziplinen Physik und Mathematik.

Der zweite Teil der Arbeit stellt den Methodik-Teil dar. Hier werden das Forschungsdesign und die methodischen Rahmenbedingungen vorgestellt. Anschließend wird das entwickelte Übungskonzept für die Statik beschrieben, indem zunächst auf die Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltungen eingegangen wird und ferner die Ziele und Elemente der entwickelten Lehrmethode sowie dessen Struktur beschrieben werden. Das methodische Vorgehen hinsichtlich der Untersuchung wird durch das Erläutern der Vor- und Hauptuntersuchung, die Beschreibung der Testinstrumente sowie deren Gütekriterien und die Darlegung des Datenerhebungsprozesses sowie der Datenbereinigung dargestellt.

Im dritten Teil der Arbeit erfolgt die Evaluation des entwickelten Übungskonzeptes für die Statik, welche zunächst eine Übersicht über die im Rahmen der Arbeit verwendeten statistischen Grundlagen gibt und darauf aufbauend die Analyse der Daten darstellt.

Die Analyse schließt die Beschreibung der Stichprobe und die Auswertung der Testinstrumente mit ein. Anschließend werden die Forschungsfragen durch das Prüfen der Forschungshypothesen beantwortet. Die Arbeit schließt mit der Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich des Studiendesigns sowie der beiden Forschungsfragen ab und gibt einen Ausblick über mögliche Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsarbeiten. Das letzte Kapitel zeigt eine Zusammenfassung der Arbeit sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch.

TEIL I.
THEORIE

2. Lehre in der Technischen Mechanik

Die TM gilt als schwierige Grundlagendisziplin in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen (Berezvai, Köpeczi-Bócz, Sipos & Szilágyi, 2023; Brose & Kautz, 2011; Goldfinch, Carew & McCarthy, 2008). Sie fokussiert sich auf die Anwendung theoretischer Prinzipien und nutzt vereinfachte Modelle und Annahmen, die für die konkrete Aufgabenstellung relevant sind (Mahnken, 2012). Der Fokus in der Mechaniklehre an (deutschen) Hochschulen und Universitäten liegt auf der Berechnung schematischer, stark vereinfachter Aufgaben (Direnga, 2021; Newcomer & Steif, 2008).

An deutschen Hochschulen und Universitäten differenziert sich die Lehre in der TM auf drei Bereiche bzw. Kurse: Statik, Festigkeitslehre und Dynamik (Direnga, 2021). Jeder Kurs ist in der Regel in eine Vorlesung zur Vermittlung des Fachwissens und eine Übung zur Berechnung standardisierter Aufgaben aufgeteilt. In der Übung werden Übungsaufgaben bereitgestellt, die entweder von den Studierenden selbst erarbeitet und dann besprochen oder an der Tafel von der Lehrperson vorgerechnet werden (Heron, 2015; Paton, 2010). Die hohen Durchfallquoten in der Statik (Direnga, 2021; Wedelin et al., 2015) resultieren z. T. aus dem nicht korrekten Ausführen der Berechnungen der Klausuraufgaben. Die Gründe hierfür liegen z. T. in dem fehlenden Verständnis der den Berechnungen zugrundeliegenden Modelle und der daraus resultierenden fehlenden Transfer- sowie Reflexionsleistung der Studierenden (Carew & Dwight, 2006; Goldfinch et al., 2008; Paton, 2010; Wedelin & Adawi, 2014; Wedelin et al., 2015). Diese Schwierigkeiten ergeben sich z. T. daraus, dass dieses Modellverständnis und der Modellierungsprozess beim Lösen von Mechanikaufgaben in der Lehre größtenteils ausgeklammert werden (Direnga, 2021; Gross et al., 2011).

In diesem Kapitel soll zunächst die Struktur eines Statik-Kurses an Hochschulen und Universitäten detaillierter beschrieben werden und anschließend die Schwierigkeiten in der Statik dargelegt werden. Um einen Einblick in die derzeitige, stark standardisierte Lehre in der TM zu erhalten, wird die traditionelle Lehre in der TM kurz dargestellt und mit alternativen Lehrformaten für die Statik kontrastiert. Zuletzt erfolgt eine Zusammenfassung über die derzeitige Situation in TM hinsichtlich der Statik-Kenntnisse der Studierenden in Bezug zum derzeitigen Fokus der Lehre und der Lehrformate sowie der Abgleich zu den sehr einheitlichen Lernzielen des Kurses.

2.1 Struktur eines Statik-Kurses

In vielen Curricula deutscher Hochschulen und Universitäten ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge wird die Mechanik als Grundlage gelehrt. Als erster Kurs wird hier die Statik gelehrt, in der Studierende sich mit ruhenden, festen Körpern und Systemen auseinandersetzen (Dammann, 2016a; Direnga, 2021; Steif, 2004). Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Studie bezieht sich auf die TM1, welche die Lehre über starre Körper im statischen Gleichgewicht (Statik) umfasst. Sie ist oft die Grundlage für die nachfolgenden Mechanik-Kurse wie Festigkeitslehre und Dynamik (Dammann, 2016a; Steif, 2004) und wird als Grunddisziplin für Ingenieure angesehen (Edström, 2012). Viele Basis-Modelle und Konzepte wie der Freischnitt, die Gleichgewichtsbedingungen, das Verständnis über interne sowie externe Kräfte oder die Gewichtskraft werden in der Festigkeitslehre und Dynamik erneut verwendet (Steif, 2004).

Bezogen auf die TM1 beschränkt sich die hier ausgeführte Studie auf die Themenbereiche Kräftesysteme, Gleichgewicht am Punkt und an starren Körpern (Lager und Gelenke), Schnittgrößen und Fachwerke. Das Thema Schwerpunktberechnung eines Körpers oder einer Fläche wird aufgrund des rein mathematischen Bezugs ausgeschlossen. Hier findet keine Erstellung eines physikalischen oder mechanischen Modells statt.

Wie bereits ausgeführt, wird Statik in Deutschland i.d.R. im ersten Semester gelehrt (vgl. z. B. Universität Duisburg-Essen, TU Dortmund, TU Darmstadt oder RWTH Aachen). In den USA hingegen wird Statik entweder im 2. oder 3. Semester gelehrt, da erst die anderen Grundlagen wie Physik, Einführung in das Berufsfeld und wissenschaftliche Arbeiten oder Mathematik gelehrt werden (Steif & Hansen; Steif & Hansen, 2007). Demnach sind auch die nachfolgenden Mechanikkurse etwas später im Studienverlaufsplan integriert. In Deutschland gibt es dahingegen oft Vorkurse in Physik und Mathematik, die einen Teil der Mechanikinhalte wie Definition einer Kraft oder Regeln zur Vektorenrechnung abdecken und von vielen Studierenden besucht werden. In Deutschland ist das übliche Prüfungsformat in Mechanik eine Klausur am Ende des Semesters. Diese Klausur fordert prozedurales Berechnen von offenen Statikaufgaben zu den in den Moduldatenblättern formulierten Inhalten und Lernzielen und prüft weniger das tiefgehende Verständnis der Konzepte und Modelle (Direnga, 2021). Diese Prüfungsform ist aber durch das Konzept des Constructive Alignments nicht verwunderlich, da die Prüfungsform zu den formulierten Lernzielen passen muss und ebenso zu der damit verbundenen Lehrmethode. Da der Fokus auf dem prozeduralen Charakter zum erfolgreichen Berechnen schematischer Textbuchaufgaben liegt, muss die Prüfungsform genau das abdecken.

Bereits 2012 forderte Edström, dass die Lernziele an die Bedarfe der Industrie angepasst werden müssten und somit sowohl Lehrformate als auch Prüfungsformate dahingehend geändert werden sollten, da „[...] *konzeptionelles Verständnis und individuelle Problemlösefähigkeiten notwendige Ergebnisse der Ingenieurausbildung sind* [...]“

(Edström, 2012)

Um hier einen detaillierteren Einblick in die derzeitige Statiklehre zu erhalten, sollen im Folgenden die Lernziele des Statikkurses dargestellt werden. Der Fokus auf die Formulierung der Lernziele je Kurs ist in Deutschland üblich. Die Ausgestaltung der Lehre hinsichtlich dieser Lernziele unterliegt der Freiheit der Lehre, sodass jede Lehrperson seine/ihre Lehre individuell gestalten kann. Auch die Lernziele für den Statikkurs können in Deutschland leicht variieren, da jede Hochschule und Universität frei in der Formulierung ist. Grundlegend wird eine Vergleichbarkeit und ein Standard-Niveau über die (Re-) Akkreditierungsprozesse der bestehenden Studiengänge sichergestellt.

Der Auszug aus dem Modulhandbuch für die Mechanik I (Statik) des Studiengangs Maschinenbau der Hochschule Ruhr West ist im Folgenden dargestellt. Es sind folgende Lernziele gelistet:

„Die Studierenden

- *können Kräfte graphisch und rechnerisch addieren und zerlegen.*
- *können mit Hilfe der Gleichgewichtsbedingungen Reaktionskräfte berechnen.*
- *können aus den äußeren Kräften die inneren Belastungen (Schnittgrößen) in unterschiedlichen Bauteilen berechnen.*
- *können Fachwerke berechnen.*
- *können Schwerpunkte von Körpern berechnen.*
- *kennen die Grundbeanspruchungsarten Zug/Druck, Biegung, Torsion und Schub.“* (Hochschule Ruhr West, 2024)

In deutschen Curricula sind die formulierten Lernziele in den Moduldatenblättern der Statik der unterschiedlichen Universitäten und Hochschulen ähnlich (Dammann, 2016a). Die Lernziele zeigen, dass der Fokus auf den Berechnungen von Aufgaben liegt und die Inhalte sowie Lernziele durch das Fokussieren der Prinzipien und die Anwendung dieser in Berechnungen diesen prozeduralen Charakter unterstreichen. Es wird wenig Wissen über die verwendeten Modelle gelehrt oder geprüft.

Prinzipien in der TM beziehen sich auf konkrete Verfahren, wie beispielweise das Knotenpunktverfahren bei der Stabkraftermittlung bei Fachwerkkonstruktionen oder die Freischnitt-Methode (Meriam, Kraige & Bolton, 2015). Das gängigste Verfahren ist die Freischnitt-Methode, bei der alle relevanten Kräfte und Momente am bereits vorgegebenen physikalischen Modell (oder einem Teilabschnitt davon) eingezeichnet werden (Gross et al., 2011, 2011; Hibbeler, 2016; Meriam et al., 2015).

Der Freischnitt ist das mechanisch zugrundeliegende Modell für die Berechnungen zur Lösung von bestimmten Aufgabenstellungen (Paton, 2010). Er ist eine Repräsentation und Vereinfachung des realen Systems und wird anhand von einigen Annahmen skizziert. Die Berechnungen gelten dann für diese Annahmen und beziehen sich auf das ausgewählte Modell. Somit muss zum Lösen von Aufgaben aus der Statik genau beachtet werden, unter welchen Rahmenbedingungen die Berechnung durchgeführt wird, um die Folgen der Ergebnisse abschätzen zu können. Diese Fähigkeit wird von Ingenieuren in der Berufswelt gefordert und sollte daher explizit gelehrt und geprüft werden (Edström, 2012). Diese Berechnungen können durch das Anwenden des Modellierungskreislaufs in Statik (vgl. Kapitel 3) durchgeführt werden. Dieser Modellierungskreislauf beinhaltet aber nicht nur das Anwenden der Prinzipien in Form von Berechnungen in einem mathematischen Modell, sondern auch das Verständnis und die Reflexion über die verwendeten Modelle. Damit entsteht ein Konflikt zur aktuellen Lehrsituation in der Statik, da die Lehre größtenteils auf die schematischen Berechnungen ohne Reflexion und Interpretation der verwendeten Modelle fokussiert. Gross et al. (2011) betonen, dass die Modellbildung in der Lehre größtenteils ausgeklammert wird, da das Erlernen und Anwenden der Grundgesetze im Fokus steht (vgl. ebd., S.2). Doch zum Verstehen und Lösen schematischer Aufgaben muss die mechanisch-mathematische Modellierung erfolgen, welche das Verstehen sowie Reflektieren der verwendeten Modelle beinhaltet.

Das aktuell gewählte Lehrformat, welches auf das erfolgreiche Lösen von Statikaufgaben mithilfe schematischer Berechnungen abzielt, wird im Folgenden auch als traditionelle Lehre bezeichnet. Die traditionelle Lehre fokussiert sich auf das Vermitteln des prozeduralen Wissens über Prinzipien, Konzepte sowie Axiome durch den Transfer auf sehr schematische Aufgaben, die oft nicht in einen Kontext eingebunden sind. Dadurch entstehen für Studierende Schwierigkeiten in der Übertragbarkeit dieses Wissens auf unbekannte Situationen in realen Kontexten.

Als Lehrformat wird in Deutschland oft eine Kombination aus Vorlesung und Übung gewählt, die Lehre ist meistens eher Lehrenden-zentriert. Bei diesem Ansatz als konservative Lehrmethode in Mechanik erfolgt häufig ein Vermitteln von Wissen über die Theorie mithilfe von Sprache und Text durch eine Frontalvorlesung sowie im Rahmen einer Übung durch das Bearbeiten (-lassen) von Aufgaben (Boylan-Ashraf, Freeman & Shelley, 2014; Brose & Kautz, 2011). Der Lehrende-zentrierte Ansatz hilft den Studierenden nicht beim Überwinden konzeptioneller Schwierigkeiten (Goldfinch, Carew & McCarthy, 2009; Heron, 2015).

Auf Prinzipien basierende regelkonforme und schematische Berechnungen allein sind für den Abschluss und damit den anschließenden Einsatz im Beruf als Ingenieur nicht ausreichend (Boylan-Ashraf et al., 2014; Edström, 2012; Goldfinch et al., 2008). Das Lehren und Prüfen mit alleinigem Fokus auf diesen Berechnungen ist demnach nicht zielführend, um höhere Taxonomiestufen (Krathwohl, 2002) wie das Anwenden des theoretischen Wissens bezogen auf realitätsnahe und kontextbezogene Aufgabenstellungen zu erreichen. Für ein tieferes Verständnis, welches die Transferleistung erst ermöglicht (Direnga, 2021), müsste der Modellierungskreislauf explizit gelehrt und geprüft werden (Paton, 2010; Wedelin & Adawi, 2014; Wedelin et al., 2015).

2.2 Schwierigkeiten in der Statik

Die regulären, traditionellen Lehrkonzepte in Statik führen oft nur zu einem Auswendiglernen und oberflächlichem Lernen, sodass Schwierigkeiten in der Bearbeitung von Statikaufgaben auftreten, die dann zu hohen Durchfallquoten in Statik führen (vgl. Boylan-Ashraf et al., 2014; Goldfinch et al., 2010). Oft bereitet das Abstrahieren des Systems und der Modellbildung (Carew & Dwight, 2006; Paton, 2010) oder die fehlende Mathematikkompetenz Schwierigkeiten, konkret das Lösen von mathematischen Gleichungen bzw. Modellen während des Modellierungsprozesses beim Lösen von Statikaufgaben (Dammann & Lang, 2017; Goldfinch et al., 2010). Nach Brose und Kautz (2011) sowie Steif (2004) haben Studierende in Statik oft Schwierigkeiten bei der Unterscheidung zwischen Momenten und Kräften, dem Verständnis über die Bezugsunabhängigkeit von Kräftepaaren und dem Wirkungsprinzip von Kräften und Momenten (Newcomer & Steif, 2008; Ortiz, Heron, & Shaffer, 2005). Steif (2004) ergänzt noch weitere inhaltliche Verständnislücken. Nach Steif und Hansen (2006) sind typische Fehler die Einbeziehung interner Kräfte, eine unzureichende Unterscheidung zwischen Kraft und Moment, die Gleichsetzung von Momenten mit Kräften, die Ausrichtung der Kraft an Kontaktflächen entsprechend der Richtung sowie die Annahme, dass die Kraftrichtung durch eine aufgebrachte Last beeinflusst wird (Steif & Hansen).

Diese inhaltlichen Schwierigkeiten entstehen oft durch eine unklare Einführung des Konzeptes (Brose & Kautz, 2011) oder durch das fehlende Verständnis der verwendeten Modelle und Konzepte (Carew & Dwight, 2006; Direnga, 2021). Carew und Dwight (2006) berichten, dass falsche Berechnungsergebnisse oft in der Wahl des falschen mechanischen Modells (Freischnitts) begründet oder dem hohen Mathematisierungsgrad in Statikaufgaben geschuldet sind. Bei dem Lösen mechanischer Aufgabenstellungen dient die Mathematik als wesentliches Analysewerkzeug. Dabei betonen Magnus und Müller-Slany (2005, S. 14) die erhöhten Schwierigkeiten für das Lösen einer Mechanikaufgabe, wenn höhere mathematische Fähigkeiten vorausgesetzt werden. Hier ist das Separieren der mathematischen Grundfertigkeiten und der Kompetenz, mechanische Aufgaben zu lösen, teilweise schwer realisierbar, denn es ist immer eine mathematische Komponente als Basis zum Lösen der Mechanikaufgabe vorhanden. Bei diesem Lösungsprozess wird sowohl ein mechanisches als auch ein mathematisches Modell erstellt. Dieser Zusammenhang zwischen Mechanik und Mathematik kann durch die mathematisch-mechanische Modellierung (s. Kapitel 3) beschrieben werden.

Neben den mathematischen Anforderungen liegen weitere Schwierigkeiten in dem letzten Schritt des Modellierungskreislaufs: der Interpretation sowie Reflexion der Ergebnisse. Coller (2008) berichtete bereits, dass die Interpretation von Ergebnissen in der Statik oft problematisch sei (Coller, 2008). Auch Newcomer und Steif (2008) konnten im Rahmen einer qualitativen Studie zeigen, dass Studierende in Statik oft nicht in der Lage seien, ihre Ergebnisse zu reflektieren.

Ein weiteres zu beobachtendes Phänomen im Rahmen des klassischen Übungskonzeptes in TM ist das Auswendiglernen von Musterlösungen oder Algorithmen von Aufgaben, die nicht weiter kommentiert oder aufbereitet sind. Es zeigt sich, dass Studierende dadurch oft eine Verständnisillusion generieren, die eine Transferfähigkeit des Lösungsweges verhindert (Rozenblit & Keil, 2002; Schwartz, 2014).

All diese Aspekte zeigen die Bedeutung des Modellierungsprozesses in TM für Studierende ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge und stellen damit die mechanisch-mathematische Modellierungskompetenz als geeigneten Indikator für die Bewertung des Mechanik-Verständnisses im Rahmen der Lehre dar. Mithilfe des Aufzeigens, Diskutierens und Durchführens der einzelnen Schritte des Modellierungsprozesses werden sowohl die verwendeten Modelle reflektiert, eine Differenzierung zwischen dem mechanischen und dem mathematischen Modell vorgenommen als auch die Reflexion der Ergebnisse und Konzepte bezogen auf die Aufgabenstellung stärker thematisiert.

Zusammenfassend lässt sich anmerken, dass die derzeitige TM-Lehre auf Berechnungen von schematischen Aufgaben fokussiert, diese Berechnungen bei den Studierenden im Rahmen der Leistungsüberprüfung aber oft lückenhaft oder falsch sind. Die Ursachen hierfür liegen z. T. in dem fehlenden Verständnis der zugrundeliegenden Modelle sowie der fehlenden Reflexions- und Interpretationsfähigkeit hinsichtlich der Ergebnisse und des Lösungsprozesses, sodass hier eine Anpassung der Lehre erfolgen sollte. Im folgenden Abschnitt werden alternative Lehrformate für die Statik vorgestellt.

2.3 Alternative Lehrformate für die Statik

In diesem Abschnitt wird der derzeitige Forschungsstand zu Lehrkonzepten in Statik, welche auf den Modellierungsprozess oder das konzeptionelle Verständnis fokussieren, dargestellt. Da die Mechanik für Ingenieure oft einer traditionellen Lehrmethode folgt (s. vorheriger Abschnitt 2.1), sind wenig davon abweichende Lehrkonzepte verbreitet. Entweder sind neu erprobte Lehrkonzepte nicht veröffentlicht oder evaluiert worden oder konfliktbasierte Umstände verhindern, neue Lehrkonzepte zu implementieren (Direnga, 2021).

Aufgrund der hohen Durchfallquoten in der Statik, die oft mit einer mangelnden Modellierungskompetenz zusammenhängen, bedarf es neuer Lehrformate, die den Fokus mehr auf das Verständnis über die verwendeten Modelle und den spezifischen Modellierungsprozess in Statik und weg von rein prozeduralem Wissen bezogen auf schematische Berechnungen legen. Bereits erprobte Lehrkonzepte beinhalten zum Beispiel das Integrieren von (Peer-)Gruppenarbeiten, regelmäßigem Feedback oder gemeinsamen Reflexionen (Coller, 2008; Dollár & Steif, 2006; Goldfinch et al., 2010; Paton, 2010), das Einbinden von physischen Modellen und Simulationen (Covill et al., 2007; Davishahl, Haskell & Singleton; Davishahl, Pearce, Haskell & Clarks; Mejia, Goodridge, Call & Wood) oder die Konzentration auf Verständnis- und Konzeptfragen bspw. in Form speziell konzipierter Tutorien (Brose & Kautz, 2011; Direnga, 2021; Heron, 2015). Dabei ist meistens ein Studierender-zentrierter Ansatz gewählt worden, der sich auf aktive Auseinandersetzungen mit dem Lernmaterial seitens der Studierenden konzentriert. Auch in ähnlichen Fachdisziplinen aus dem MINT-Bereich wurde bereits gezeigt, dass aktive Lernmethoden einen positiven Effekt auf das Verständnis haben können (Deslauriers, McCarty, Miller, Callaghan & Kestin, 2019; Hake, 1998; McDermott, 2001).

Paton (2010) zeigte bereits, dass konzeptionelles Verständnis nötig ist, um Aufgaben in der Statik erfolgreich lösen zu können. Er betont, dass das Lösen von Statikaufgaben nicht nur ein Abarbeiten von Algorithmen beinhaltet, sondern ein ausgeprägtes konzeptionelles Verständnis als Basis erfordert. Studierende zeichnen oft keinen Freischnitt (visuelle Repräsentation), erstellen also kein mechanisches Modell, und verstehen oft die verwendeten Modelle und Konzepte nicht (Carew & Dwight, 2006; Paton, 2010). Paton (2010) beschreibt dazu Folgendes:

„*Finally, investigators have found that students have loosely organized conceptual models in mechanics.*”
(Paton, 2010)

Patons Ansatz liegt in expliziten Instruktionen während des Lösungsprozesses. Dabei setzt er auf *Cognitive Apprenticeship*, welches als schrittweise Unterstützung im Lernprozess der Lernenden und der Sichtbarmachung von Denkprozessen verstanden wird (Collins, Brown & Holum, 1991). Er konnte für die Statik bereits die Effektivität dieses Ansatzes bei einer Stichprobe von 35 Studierenden nachweisen. Dieser Ansatz beinhaltete folgende Kernelemente: Die Denkprozesse von Experten wurden explizit gemacht und schrittweise vermittelt (basierend auf *Cognitive Apprenticeship*), das gegebene System bzw. Modell wurde intensiv analysiert und Studierende mussten ihren eigenen Denkprozess reflektieren (Redish & Burciaga, 2004; Terhart, 2011). Der von Paton (2010) vorgestellte Lösungsprozess für TM wird von ihm als „*G.U.E.S.S.*“-Methode (*Givens, Unknown, Equation, Search, Solve*) beschrieben und den Lernenden als Orientierungshilfe bereitgestellt (Paton, 2010). Dieser Prozess basiert auf Algorithmen und fokussiert auf das Erstellen des mathematischen Modells in Form von korrekten Gleichungen. Mit diesem Lehrkonzept konnten durchschnittlich um 12 % höhere Leistungspunkte in der Leistungsprüfung (zur Problemlösung) mit mittelstarker Effektstärke (Cohens $d = .64$) nachgewiesen werden. Außerdem konnte Paton zeigen, dass die Experimentalgruppe um 31 % häufiger Freikörperbilder anfertigte und durch die systematischere Vorgehensweise beim Lösungsprozess der Aufgaben weniger Fehler generierte. Studierende aus der Experimentalgruppe fokussierten stärker auf die Konzepte und Modelle und sie reflektierten ihre Lösungen kritischer. Paton kritisiert an seiner Studie das Testinstrument zur Erfassung des Konzeptverständnisses und fordert hier für zukünftige Forschungsansätze eine gezieltere Erfassung (der Schritte) des Lösungsprozesses.

Zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses in Statik sind zudem bereits in ersten Versionen etablierte Tutorien von Heron, Shaffer und Ortiz (2005), erweitert durch Brose und Kautz (2011) und schließlich im Detail angepasste und durch Direnga (2021) ausgeführte, beforschte Tutorien, in der Statik eingesetzt worden.

Diese Tutorien basieren auf dem Prinzip, Studierende mit ihren eigenen Fehlkonzepten zu konfrontieren und diese anschließend gemeinsam zu diskutieren und aufzulösen (Brose & Kautz, 2011; Coller, 2008; Heron, Loverude, Shaffer & McDermott, 2003; Self et al., 2008; Wedelin & Adawi, 2014). So wird das konzeptionelle Verständnis gestärkt und die Fehleranfälligkeit beim Transfer dieser Konzepte auf neue, unbekannte Aufgaben reduziert (Direnga, 2021). Direnga (2021) zeigte in ihrer Interventionsstudie, dass Studierende mit ausgeprägtem Vorwissen in TM1 am stärksten von den Tutorien profitierten. Sie hat den Lernzuwachs im konzeptionellen Verständnis in Statik gemessen an der Leistung im Prä-Test (FCI: Force Concept Inventory, (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992) im Vergleich zur Leistung im Post-Test (Steif & Hansen) und im direkten Gruppenvergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe die Effektivität der Tutorien gemessen am Lernzuwachs mit einer Effektstärke Cohens $d = .94$ nachweisen können. Der Lernzuwachs war bei der Experimentalgruppe 34 % höher.

Direngas Forschung basiert auf dem konstruktivistischen Lernansatz, wonach Studierende Wissen selbst konstruieren (Direnga, 2021). In Kombination mit der von McDermott entwickelten Methode *Elicit-Confront-Resolve* (McDermott, 2001) ist das Tutoriums-Konzept von Direnga entstanden.

Eine weitere Methode, mit der das konzeptionelle Verständnis in Statik verbessert werden kann, haben Moore, Williams, North und Johri (2013) vorgestellt. Sie beschreiben die Entwicklung einer adaptiven Konzeptkarte als Advance Organizer, um Studierenden ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Konzepten zu ermöglichen. Eine adaptive Konzeptkarte in Form eines Knoten-Link-Diagramms ist ein dynamisches, visuelles Werkzeug, welches die Beziehungen zwischen verschiedenen Konzepten innerhalb eines Fachgebiets darstellt (Moore et al., 2013).

Im Gegensatz zu statischen Konzeptkarten passt sich eine adaptive Karte den individuellen Bedürfnissen der Lernenden an, indem sie personalisierte Pfade für die Vernetzung der Konzepte ermöglicht. So können die Studierenden ihren eigenen Lernweg gestalten und durch das aktive Suchen von Verbindungen werden die Zusammenhänge für die Studierenden klarer. Die Ergebnisse der Studie von Moore et al. (2013), welche auf einem Kontrollgruppendesign basiert, ergaben keine nachweisbaren signifikanten Gruppenunterschiede. Hier sollte aber berücksichtigt werden, dass die Stichprobe sehr klein war ($N_{EG} = 7, N_{KG} = 6$).

Dollár und Steif (2006) haben inhaltspezifische Lernmodule für Studierende in der Statik entwickelt, die sowohl physische Modelle als auch soziale Interaktionen sowie regelmäßiges Feedback in Form von Zwischenprüfungen beinhalten. Mithilfe der Module haben sie sichergestellt, dass die zentralen Konzepte der Statik isoliert betrachtet und erkannt werden können. Daher wurde die Lehre so gestaltet, dass sie sich auf einzelne Konzepte konzentrierte, in denen alle Kräfte für die Studierenden leicht wahrnehmbar waren.

Die Implementierung dieses Ansatzes nutzte etablierte Methoden des aktiven Lernens, darunter Peer-to-Peer-Kollaboration, die Integration von Bewertung und Feedback in die Lehre sowie den Einsatz von physischen Modellen. Die Lernmodule umfassten Objekte zum Untersuchen sowie PowerPoint-Präsentationen und Konzeptfragen. Die Ergebnisse zeigten, dass diese Methode das Verständnis der Studierenden für statische Konzepte verbessert und das aktive Lernen fördert. Die Lehrmethode ist nur in Kombination der drei Elemente (physische Modelle, interaktive Diskussionen über Fehlvorstellungen und Feedback/Bewertung) eingesetzt und evaluiert worden, sodass keine Aussage über die Effektivität eines einzelnen Elements abgeleitet werden kann. Die Effektivität des Einsatzes von physischen Modellen (auch Hands-On-Material genannt) auf die Modellierungskompetenz und das konzeptionelle Verständnis ist in mehreren Studien bereits untersucht worden, die Ergebnisse sind aber teilweise konträr (Coller, 2008; Davishahl, Pearce et al.; Mejia et al.).

Dieser Abschnitt hat die derzeit etablierten alternativen Lehrkonzepte in Statik dargestellt, welche das Verständnis der verwendeten Modelle und Konzepte in TM fördern sollen. Einige Elemente hiervon sind in die Konzeption des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Übungskonzeptes für TM integriert worden (vgl. Kapitel 8). Im folgenden Kapitel wird der strukturierte Prozess beim Lösen von Statikaufgaben beschrieben.

2.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die fachdidaktische Sicht auf die Lehre in Statik an deutschen Hochschulen und Universitäten dargestellt. Dazu wurde zunächst die Struktur des Statik-Kurses erläutert. Dabei konnte festgehalten werden, dass Statik-Kurse immer gleich aufgebaut sind. Der Kurs unterteilt sich in Vorlesungen zur Vermittlung der Theorie in Form von Frontallehre und in Übungen, welche für die Berechnungen von schematischen Statikaufgaben vorgesehen sind. Der Fokus des Kurses liegt in der Vermittlung von Prinzipien und Verfahren zur Berechnung von Kräften und Momenten.

Anschließend wurden die Schwierigkeiten von Studierenden in Statik dargestellt. Diese Schwierigkeiten beziehen sich auf das Lösen von Statikaufgaben, da oft ein fehlendes Verständnis über die Systeme und zugrundeliegenden Modelle und über die Interpretation der Berechnungsergebnisse vorliegt. Mit der derzeit weit verbreiteten traditionellen Lehrmethode können diese Schwierigkeiten nicht zielführend aufgelöst werden, sodass es neuer Lehr- und Prüfungsformate bedarf.

Im letzten Abschnitt sind alternative Lehrkonzepte, die auf das konzeptionelle Verständnis oder den Modellierungsprozess beim Lösen von Statikaufgaben fokussieren, vorgestellt worden. Diese Alternativen liegen z. B. in dem Verwenden von Konzeptfragen und dem visuellen Darstellen von Lösungsprozessen und werden in einem interaktiven Lernsetting eingebettet, sodass aktives Arbeiten seitens der Studierenden und Peer-Kollaborationen unterstützt und zudem gemeinsame Reflexionen sowie Diskussionen forciert werden können. Neben Verständnisfragen ist dabei die Reflexion der verwendeten Modelle und Konzepte essentiell. Dabei werden Studierende oft mit ihren eigenen Fehlkonzepten und falschen Annahmen konfrontiert, sodass über falsche Lösungen diskutiert werden kann und diese anschließend von den Studierenden korrigiert werden können, um die Fehlkonzepte aktiv und nachhaltig aufzulösen.

3. Lösen von Statikaufgaben

In diesem Kapitel wird ein umfassender Einblick in das strukturierte Lösungsschema für Statikaufgaben gegeben. Dieses Schema wird im Folgenden auch als Modellierungsprozess beim Lösen von Mechanikaufgaben bezeichnet. Der Modellierungsprozess ist für diese Arbeit zentral und wird von Müller-Slany (2018) detailliert beschrieben (vgl. Abbildung 3-1 und 3-2). Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Lehrkonzept basiert auf Müller-Slanys Modellierungsschema zum Lösen von Statikaufgaben. Dieses Kapitel beschreibt zunächst den Lösungsprozess von Statikaufgaben und wird im Kontext der derzeitigen Statiklehre eingeordnet. Anschließend wird im folgenden Kapitel der Bezug zur Modellierung hergestellt. Dabei erfolgt dann die Definition von Modellen und der (mechanisch-) mathematischen Modellierung sowie die Differenzierung zum Problemlösen.

3.1 Lösungsprozess von Statikaufgaben

In verschiedenen Lehrbüchern der Mechanik werden generelle Regeln oder Anleitungen zur Lösung mechanischer Aufgabenstellungen präsentiert (Böge, 2013; Gross et al., 2011; Hibbeler, 2016; Müller-Slany, 2018). Diese Anleitungen zur Ermittlung einer Lösung für eine mechanische Aufgabe haben alle eine Vorgehensweise gemein: In der Aufgabenstellung ist ein System gegeben, welches als physikalisches Modell vorgegeben ist und eine Repräsentation der gegebenen Situation darstellt. Es muss eruiert werden, welche Variablen gesucht sind, daraufhin muss ein Freischnitt mit allen relevanten Kräften und Momenten erstellt werden, daraus werden mathematische Gleichungen (in der Statik sind es meistens Gleichgewichtsbedingungen) abgeleitet, welche die Zusammenhänge zwischen den gegebenen und gesuchten Größen darstellen. Anschließend werden diese Gleichungen nach den gesuchten Größen aufgelöst und sofern in der Aufgabenstellung explizit eine Beurteilung der Ergebnisse gefragt ist, müssen die Lösungen auf die gegebene Situation zurückgeführt und hinsichtlich der Wirkung auf das System interpretiert werden.

Dieser Lösungsprozess wird in den verschiedenen Literaturwerken unterschiedlich detailliert dargestellt. Er basiert auf der mechanisch-mathematischen Modellierung (vgl. Kapitel 4). Müller-Slany (2018) gibt eine detaillierte Übersicht über diesen Modellierungsprozess zum Lösen von Statikaufgaben (vgl. Abbildung 3-2).

Dieser soll im Folgenden beschrieben und anhand eines Beispiels (s. Abbildung 3-1) aufgezeigt werden. Dabei werden die zu erstellenden Modelle (physikalisches, mechanisches und mathematisches Modell) differenziert erläutert und auf den Lösungsprozess von Statikaufgaben bezogen.

Die Aufgabenlösung beginnt dabei mit der Modellbildung. Es werden die bewährten Axiome und Prinzipien als Grundlage zur Modellbildung verwendet. Modelle sind im Rahmen dieser Arbeit Vereinfachungen des Systems und das Festlegen von Annahmen, die geeignete Auswahl von relevanten Zusammenhängen und Verfahren sowie das Erstellen des Freikörperbildes oder das Überführen der Belastungen in mathematische Gleichungen (vgl. Kapitel 4).

Zum Lösen einer mechanischen Aufgabe muss zunächst das physikalische Modell aus der gegebenen realen Situation abgeleitet werden. Hier ist anzumerken, dass in der Lehre oft nicht reale Körper oder technische Systeme mit allen Eigenschaften vorgegeben sind und untersucht werden, sondern bereits physikalische Modelle vorgegeben werden. Diese physikalischen Modelle repräsentieren die für die Aufgabenlösung wesentlichen Merkmale und Strukturen realer Körper oder Systeme (Gross et al., 2011). Bei der Erstellung dieser Repräsentation werden Vereinfachungen bezüglich des realen Körpers oder Systems so vorgenommen, dass sowohl die Geometrie des Systems als auch die Belastungen und Randbedingungen stark vereinfacht dargestellt werden können. Der idealisierte Umgang mit realen Objekten wird gewählt, um die Komplexität der Realität zu reduzieren. Die Lösung einer Aufgabe ist demnach stark von den getroffenen Annahmen abhängig (Moore et al., 2013).

Es wird zwischen dem physikalischen Modell (meistens bereits in der Aufgabenstellung vorgegeben), dem mechanischen und dem mathematischen Modell unterschieden (Borowski, Trump & Massolt, 2016; Carew & Dwight, 2006). In der Literatur ist die Unterscheidung zwischen dem mechanischen und mathematischen Modell nicht konsistent, teilweise wird die Modellbildung dieser beiden Modelle zusammen als ein mathematisches Modell bezeichnet (Müller-Slany, 2018). Dabei ist anzumerken, dass Müller-Slany das Schnittprinzip (also die Erstellung des Freischnitts) der mathematischen Modellbildung zuordnet. Angelehnt an Borowski et al. (2016) folgt aus der Anwendung des Schnittprinzips die Erstellung des mechanischen Modells und anschließend durch das Aufstellen der Gleichgewichtsbedingungen erst das mathematische Modell (Carew & Dwight, 2006). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Modelldifferenzierung in ein mechanisches und ein mathematisches Modell bevorzugt. Das Erstellen des mechanischen Modells erfolgt mithilfe des Freischnitts durch das Freilegen aller nötigen Kräfte und Momente (Carew & Dwight, 2006).

Davon kann folglich das mathematische Modell abgeleitet werden, welches aus linearen Gleichungen besteht und die im Freischnitt identifizierten Kräfte und Momente vektoriell (je Koordinatenachse) in die Gleichungen überführt.

Diese Gleichungen können dann nach der gesuchten Größe umgestellt und gelöst werden, sodass die Ergebnisse folglich im Kontext der Aufgabe reflektiert werden können. Dieser Prozess des Modellierens kann nicht ausschließlich durch mathematische Mittel erfasst werden, sondern muss durch Fachwissen der Mechanik, z. B. die Kenntnis von Kräften und wo und wie sie wirken, sowie durch das Bilden eines auf die nötigen, gesuchten Kerninformationen reduzierten mechanischen Modells ergänzt werden.

Diese systematische Herangehensweise zur Lösung von Aufgaben in der Statik nach Müller-Slany (2018) wird im Folgenden detaillierter beschrieben (vgl. Beispiel in Abbildung 3-1). Der Modellierungsprozess, den Müller-Slany hier präsentiert, beschreibt sowohl die physikalische, die mechanische als auch die mathematische Modellbildung. Zunächst wird die reale technische Situation in ein vereinfachtes physikalisches Modell überführt. Es ist möglich, dass für eine bestimmte Fragestellung verschiedene physikalische Modelle existieren, abhängig von den getroffenen Annahmen. Es ist wichtig, alle getroffenen Vereinfachungen und Annahmen festzuhalten und anhand der Lösungen zu überprüfen.

Der erste Schritt einer Aufgabenlösung besteht aus dem Verstehen der Aufgabenstellung, sodass eine Selektion der gegebenen Informationen erfolgen muss. Hierbei sind Fragen wie „Was ist gegeben?“, „Was ist gesucht?“, „Wie sieht das System aus?“, „Wo sind Idealisierungen zum realen Objekt?“, „Wieso sieht das Modell so aus?“, „Wie muss also vorgegangen werden?“ relevant.

In einem zweiten Schritt wird dieses Modell durch die Anwendung der Schnitt-Methode und der Axiome (Erstellung des mechanischen Modells) in ein mathematisches Modell umgewandelt. Für eine erfolgreiche Lösung ist es entscheidend, dass die Anzahl der (algebraischen oder differentiellen) Gleichungen der Anzahl der Unbekannten entspricht.

Zur Lösung des mathematischen Modells können sowohl analytische als auch numerische Verfahren zum Einsatz kommen. Der Lösungsprozess, der zu quantitativen Ergebnissen führt, erfolgt auf der Ebene dieses mathematischen Modells. Die Übertragung der erzielten Ergebnisse auf die reale Situation erfordert eine Rückführung vom mathematischen Modell zur realen Situation, um die Gültigkeit der Ergebnisse zu bestätigen (Müller-Slany, 2018).

Folgendes konkretes Beispiel für diesen beschriebenen Modellierungsprozess stellt Müller-Slany (2018) für die mechanisch-mathematische Modellierung vor (s. Abbildung 3-1):

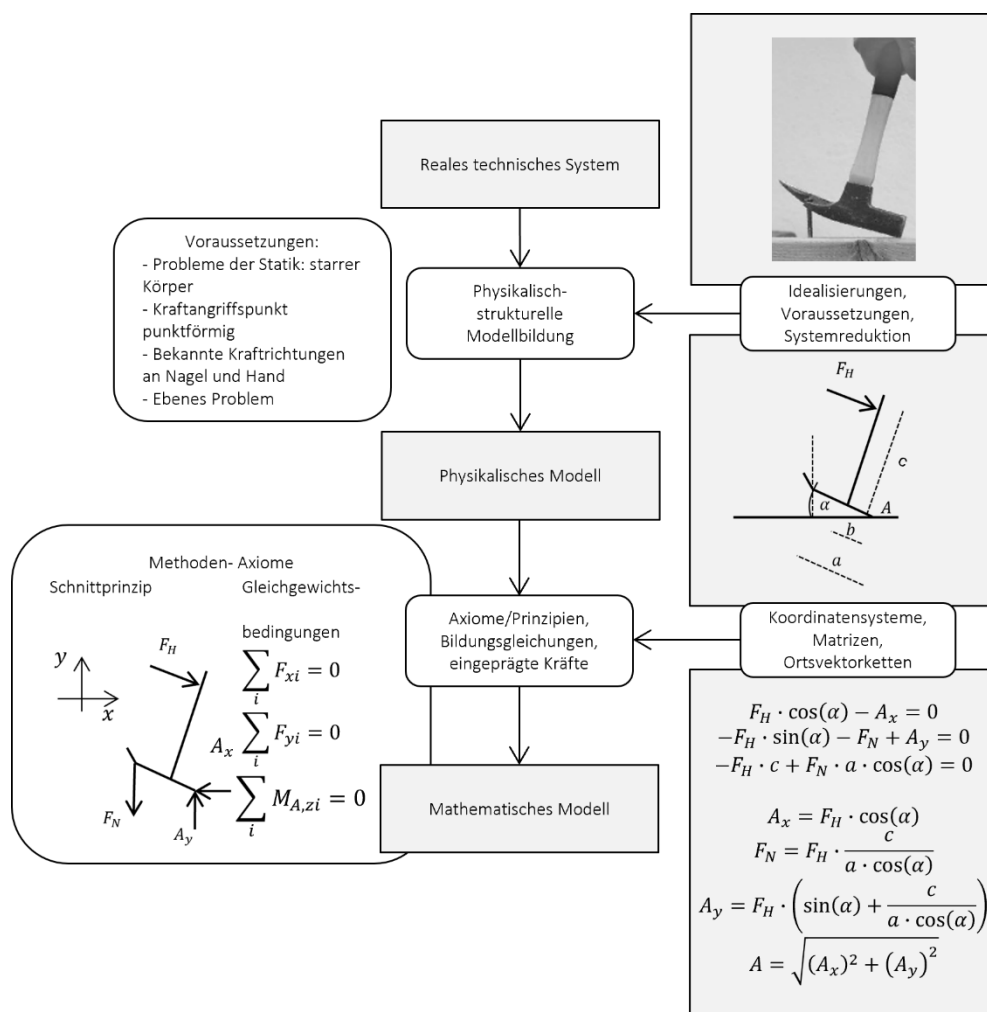


Abbildung 3-1 Modellierungsbeispiel nach Müller-Slany (2018)

Dieses Beispiel zeigt den Modellierungsprozess beim Lösen einer Mechanikaufgabe mit den einzelnen Modellierungsschritten, welche das vorgegebene physikalische Modell sowie das mechanische Modell (Freischnitt) und das mathematische Modell (Gleichungen) anhand einer konkreten Situation darstellen. Zunächst ist das reale System gegeben, in dem ein Hammer durch das Aufbringen der Handkraft das Aushebeln des Nagels erzielen soll.

Das physikalische Modell bildet sich dann mithilfe der Annahmen wie z. B. das System als starren Körper zu verstehen, den Angriffspunkt der flächenverteilten Handkraft auf einen Punkt zu reduzieren, eine Kräfte für die Hand- und Nagelkraft anzunehmen und den Auflagepunkt des Hammers am Holzbrett als Lagepunkt anzunehmen. Außerdem kann dieses räumliche System in ein ebenes System überführt werden. Danach erfolgt nach Müller-Slany die mechanische und mathematische Modellbildung, welche das Erstellen des Freischnitts sowie das Aufstellen der Gleichgewichtsbedingungen beinhaltet.

Durch Einsetzen der gegebenen Kräfte und Momente in die Gleichgewichtsbedingungen entsteht dann letztlich das mathematische Modell zur Lösung einer Aufgabenstellung. Diese Aufgabenstellung könnte beispielweise in der Bestimmung der Nagelkraft sowie der Lagerkräfte an Punkt A liegen. Dafür müssten dann Werte für die Abstände, den Winkel und die Handkraft gegeben werden. In diesem System sind vier Kräfte dargestellt, eine Kraft muss gegeben sein, um die anderen drei Kräfte mithilfe des mathematischen Modells zu lösen. Die Lösung der Aufgabe stellt dann das mathematische Resultat dar, welches anschließend im Rahmen der Aufgabenstellung reflektiert werden muss.

Der für Statik spezifische, übergeordnete Modellierungsprozess zur Lösung von Aufgaben in der Statik-Lehre, der in dieser Arbeit als Grundlage für das entwickelte Strategietraining gilt, ist in Abbildung 3.2 (Gross et al., 2011; Müller-Slany, 2018) dargestellt.

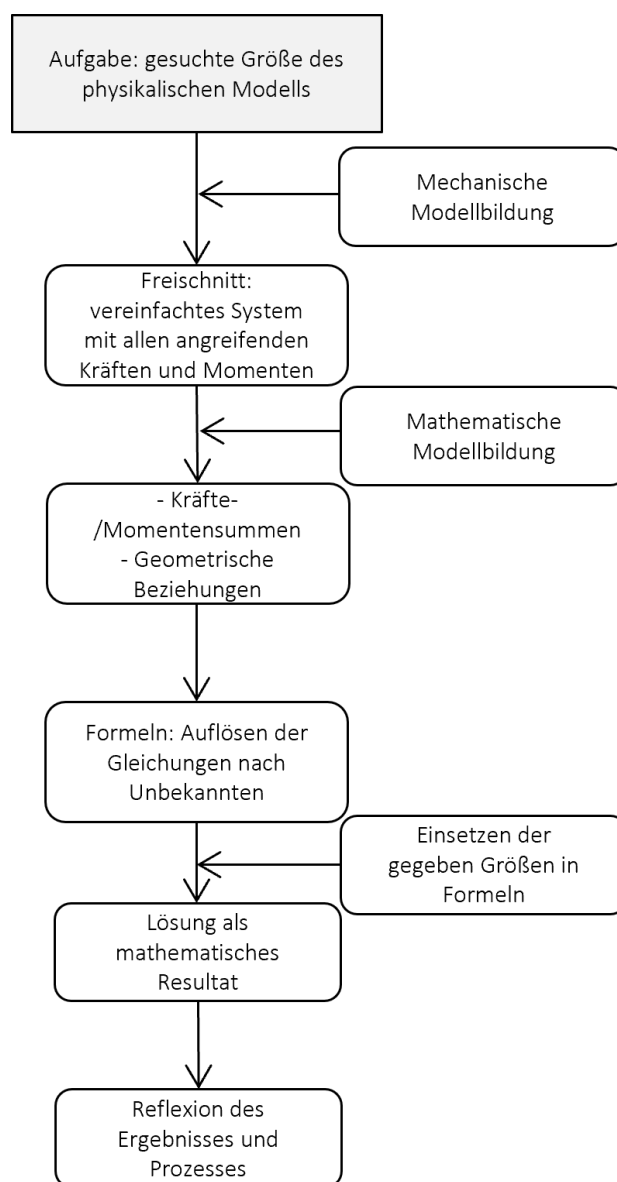


Abbildung 3-2 Lösungsprozess von Statikaufgaben (eigene Darstellung)

Die konkret formulierten Lösungsschritte unterstreichen den prozeduralen Charakter der TM. Wie bereits in Kapitel 2.1 gezeigt, liegt der Fokus in der TM-Lehre auf dem Anwenden von schematischen Prozeduren zur Lösung von Statikaufgaben. Die dafür nötigen Prinzipien sind in den Lernzielen der Moduldatenblätter aller deutschen Hochschulen und Universitäten (Dammann, 2016a) verankert (vgl. Kapitel 2.1). Diese beinhalten oft nicht das explizite Lehren dieses Modellierungsprozesses. Dadurch fehlt das Verständnis über die zugrundeliegenden Modelle. Auch die Interpretation der Ergebnisse und damit die Validierung der Lösung ist für Studierende oft nicht möglich.

Dieser Modellierungsprozess ist der mathematischen Modellierung gleichzusetzen, welche die Erstellung und Lösung eines mathematischen Modells für eine kontextbezogene Aufgabe darstellt (Blum & Leiß, 2007). Im folgenden Kapitel wird der Begriff der mathematischen Modellierung zur Einordnung genauer definiert.

3.2 Zusammenfassung

Dieses Kapitel beschreibt den Lösungsprozess von Statikaufgaben in der Lehre. Das Lösen von Mechanikaufgaben erfolgt nach einem systematischen Modellierungskreislauf, der aus sechs Schritten besteht. Die Aufgabe selbst gibt meistens schon das physikalische Modell vor. Somit beginnt die Aufgabenlösung mit dem Aufstellen eines mechanischen Modells, welches dann in ein mathematisches Modell überführt wird. Anschließend wird das mathematische Modell mithilfe von Gleichungen gelöst, das Resultat als Ergebnis des mathematischen Modells erfasst und letztlich reflektiert, indem die Lösung der gesuchten Größe durch Reflexion auf die Aufgabenstellung zurückgeführt wird, sodass sich ein geschlossener Kreislauf ergibt. Es wird sowohl das gegebene physikalische Modell mit all den getroffenen Annahmen und Idealisierungen als auch der gesamte Lösungsprozess sowie das Ergebnis reflektiert.

4. (Mechanisch-) Mathematische Modellierung

In diesem Kapitel soll zunächst ein Überblick über die Definition von Modellen, gefolgt von der Modellierung und der Modellierungskompetenz gegeben werden. Da die Bearbeitung von Mechanikaufgaben durch die Anwendung des mathematischen Modellierungsprozesses auf die Mechanik-Aufgabenstellung erfolgt (vgl. vorheriges Kapitel), wird hier die mathematische Modellierung kurz definiert. Im Anschluss an die allgemeinen Definitionen und Abgrenzungen wird eine Differenzierung von mechanisch-mathematischer Modellierung und dem Problemlösen in Mechanik beschrieben.

4.1 Definition Modellierungskompetenz

Gemäß der allgemeinen Modelltheorie von Stachowiak (1973) weisen *Modelle* folgende Merkmale auf: *Abbildung, Verkürzung und Pragmatismus*. Diese Merkmale können in unterschiedlichem Maße ausgeprägt sein. Nach Stachowiaks Theorie repräsentieren Modelle stets etwas, sei es in Form von ikonischen, gegenständlichen oder mentalen Darstellungen (*Abbildung*). Ikonische oder gegenständliche Modelle, wie z. B. Nachbildungen eines Zahnrads, werden in weiteren Betrachtungen vernachlässigt, da im Rahmen dieser Arbeit alle theoretischen Konstrukte als Modelle betrachtet werden sollen. Stachowiaks Perspektive betont die Selektivität und Kontextualität von Modellen, indem er darauf hinweist, dass Modelle als Repräsentationen nicht die gesamte Komplexität des Originals erfassen, sondern eine gezielte Reduktion vornehmen (*Verkürzung*), um bestimmte Zwecke zu erfüllen (*Pragmatismus*).

Nach Weitzel (2014) ist „ein Objekt [...] dann ein Modell eines Originals, wenn ein Modellierer beabsichtigt, ein Objekt als Modell für einen bestimmten Zweck zu konstruieren und zu verwenden. Modelle ähneln dem Objekt, aber nur hinsichtlich jener Aspekte, die von einem Modellierer im Modellierungsprozess als relevant eingestuft werden.“

(Weitzel, 2014)

Im Rahmen dieser Arbeit bezieht sich der Modellbegriff auf (Denk-)Modelle als theoretische Konstrukte, unter dessen Verwendung dann Aufgaben aus Lehrbüchern der Statik gelöst werden. Streveler, Brown, Herman und Montfort (2015) beschreiben Modelle wie folgt:

"Mentale Modelle sind Gruppen von bedeutungsvoll miteinander verknüpften Überzeugungen und Konzepten, die es Menschen ermöglichen, Phänomene zu erklären und Vorhersagen zu treffen. Ein Beispiel dafür wäre eine erfahrene Dozentin für Dynamik, die ihr mentales Modell der newtonschen Physik nutzt, um die Bewegung eines Objekts vorherzusagen."

(Streveler et al., 2015)

Damit ist auch die Bedeutung der Konzepte im Rahmen der Modellierung essentiell. Mithilfe der verwendeten Modelle und Konzepte kann bei ausreichend konzeptionellem Verständnis ein erfolgreicher Modellierungsprozess durchlaufen werden. Edström (2012) beschreibt das konzeptionelle Verständnis von Studierenden als die Fähigkeit,

„[...] Sachverhalte mit eigenen Worten zu erklären, Ergebnisse zu interpretieren, Wissen aus verschiedenen Kursen zu integrieren und auf neue Probleme anzuwenden.“

(Edström, 2012)

Der Transfer des Modellierungsprozesses auf andere Kontexte ist nur möglich, wenn die Konzepte und darauf basierenden Modelle verstanden werden (Montfort, Brown & Pollock, 2009).

Der Begriff *Modellierung* ist in der Literatur ebenfalls wie der Begriff *Modell* nicht eindeutig definiert. Einerseits wird darunter die Modellbildung verstanden, also die Schaffung eines Modells. Andererseits umfasst der Begriff *Modellierung* in verschiedenen Disziplinen nicht nur den Prozess der Schaffung eines Modells, sondern den gesamten Lern- oder Verstehensprozess, bei dem Lernende Vorstellungen und Erklärungen von neuen Situationen bilden (Blum & Schukajlow, 2018; Paton, 2010).

Nach Rowlands (1997) umfasst die Modellierung folgenden Prozess:

„The ability to model requires the ability to construct a possible state of affairs as a representation of an actual state of affairs to be investigated. This possible state of affairs may be referred to as idealised abstraction. [...] Idealised abstraction imposes the conditions that determine the parameters within which the actual state of affairs can be spoken of.”

(ebd. S. 92-93)

Modellierung ist also der Prozess der Entwicklung und Anwendung von Modellen, um Phänomene oder Systeme zu verstehen, zu beschreiben, zu analysieren und damit dann folglich unter Verwendung eines mathematischen Modells Aufgaben zu lösen und Ergebnisse auf das gegebene System zu interpretieren (Hamilton, Lesh, Lester & Brilleslyper, 2008).

Um die Modellierungskompetenz, auf die diese Arbeit fokussiert, zu definieren, wird zunächst der Begriff *Kompetenz* erklärt und anschließend mit der Definition der *Modellierung* in Verbindung gesetzt. Weinert (2001) definiert Kompetenzen wie folgt:

„Kompetenzen sind die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“

(Weinert, 2001)

Niss, Blum und Galbraith (2007) beschreiben die Modellierungskompetenz als die Fähigkeit, ein Problem in einer Situation aus der Realität zu identifizieren, dieses Problem in die Mathematik zu transferieren und die Lösung des mathematischen Problems in Bezug auf die gegebene Situation zu interpretieren und zu validieren (ebd., S. 12).

Angelehnt an diese Definitionen umschließt die Modellierungskompetenz im Rahmen dieser Arbeit das Wissen über den Modellierungsprozess sowie die Anwendung dieses Prozesses beim Lösen von Aufgaben. Außerdem zählt die Reflexion des Modellierungsprozesses sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in unbekanntem Situationen zur Problemlösung anzuwenden zu der Modellierungskompetenz (Gainsburg, 2006; Lesh & Fennewald, 2010; Terzer & Upmeier zu Belzen, 2008).

4.2 Mathematische Modellierung

Allgemein ist unter der mathematischen Modellierung ein Prozess zu verstehen, der den Transfer zwischen der realen Welt und der Mathematik widerspiegelt. Ein mathematisches Modell ist eine vereinfachte Darstellung eines Aspekts der realen Welt, die in der Mathematik formalisiert wird. Bei der mathematischen Modellierung liegt der Schwerpunkt auf der Verwendung von mathematischen Konzepten, Gleichungen und Methoden, um Phänomene oder Prozesse in der realen Welt (z. B. aus dem Bereich der Mechanik) abzubilden (Greefrath & Vorhölter, 2016).

Mathematische Modelle basieren aber auch oft auf abstrakten mathematischen Konzepten und können unabhängig von empirischen Daten entwickelt werden. Hier liegt auch der Unterschied zur fachlich-mathematischen Modellierung (Borowski et al., 2016; Carew & Dwight, 2006). Diese Art der Modellierung wird auch innermathematische Modellierung genannt. Sofern das mathematische Modell in einen Kontext oder eine Situation eingebettet wird, um Phänomene zu beschreiben, ist das als außermathematische Modellierung zu bezeichnen (Büchter & Leuders, 2016).

Die Definition der Modellierungskompetenz nach Niss et al. (2007) (s. vorheriger Abschnitt) zeigt, dass die mathematische Modellierung oft der allgemeinen Modellierungskompetenz gleichgesetzt wird. In der Diskussion über mathematisches Modellieren werden verschiedene Modellierungskreisläufe verwendet (Blum & Leiß, 2005; Kaiser & Sri-raman, 2006; Maaß, 2004; Ortlieb, Dresky, Gasser & Günzel, 2009). Diese Kreisläufe bieten Lernenden bei der Bearbeitung von Modellierungsaufgaben Unterstützung, insbesondere im Hinblick auf die Metakognition. Weiterhin bilden sie einen Lerngegenstand an sich, strukturieren Lehrinhalte und dienen als Basis für empirische Studien (Borromeo Ferri, Greefrath & Kaiser, 2013).

Eine genaue Differenzierung der unterschiedlichen Modellierungskreisläufe für die Mathematik findet sich in Borromeo Ferri (2006). Alle Modelle haben folgende Grundmodellierungsschritte gemein: Zunächst erfolgt die Problemidentifikation, anschließend wird die Mathematisierung durchgeführt (das Problem wird in mathematischen Begriffen ausgedrückt), gefolgt von dem Lösen des mathematischen Problems. Zuletzt erfolgt das Interpretieren der Lösung sowie das Validieren des Modells (Hankeln & Greefrath, 2021; Kaiser, 2007; Ortlieb et al., 2009). Die verschiedenen Modellierungskreisläufe unterscheiden sich in der Detailgenauigkeit der Grundmodellierungsschritte bei der Mathematisierung.

Der mathematische Modellierungsprozess dient als Basis für die Modellierung in der Statik und wird dabei bei der Anwendung auf die Statik um die Erstellung eines physikalischen sowie mechanischen Modells ergänzt (vgl. Kapitel 3). Die Ergänzung um das physikalische sowie mechanische Modell im mathematischen Modellierungsprozess führt zur mechanisch-mathematischen Modellierung. Die Mathematik ist bei diesem Modellierungsprozess in der Statik nur ein Hilfsmittel, um mechanische Aufgaben zu lösen. Das Erkennen und Analysieren mechanischer Systeme ist bei der physikalischen sowie mechanischen Modellbildung essentiell und basiert auf der Etablierung von Axiomen und Prinzipien. Die Reflexion des mathematischen Ergebnisses bezogen auf die gegebene Aufgabe stellt dann die Lösung der Aufgabe dar. Dabei erfolgt die Validierung des ausgewählten Modells, für welches diese Rechnung sowie Lösung gilt.

Die Modellierung in der Statik umfasst den Prozess der Erstellung eines geeigneten physikalischen sowie mechanischen Modells durch das Identifizieren aller notwendigen Kräfte und Momente (Rowlands, 1997). Dieser Prozess kann nicht ausschließlich durch mathematische Mittel erfasst werden, sondern muss durch mechanisches Fachwissen, wie das Verständnis von Kräften und deren Wirkungsort und -weise ergänzt werden. Erst aufbauend auf das mechanische Modell wird das mathematische Modell abgeleitet und anschließend gelöst.

4.3 Unterschied zwischen Modellierung und Problemlösen in der Mechanik

In der Literatur liegen teilweise widersprüchliche Definitionen und Abgrenzungen der Begriffe *Modellierung* und *Problemlösen* vor (Cardella & Atman, 2007; Carew & Dwight, 2006; Newcomer & Steif, 2008; Paton, 2010; Rowlands, 1997; Steif, 2004). Für die Mechanik nennt beispielweise Paton (2010) das Lösen der Textbuchaufgaben in der Lehre bereits Problemlösen. Müller-Slany differenziert die beiden Prozesse wie oben bereits beschrieben (vgl. Kapitel 3).

Sobald eine konkrete Fragestellung zugrunde gelegt wird, also ein konkretes Problem wie das Ermitteln einer Nagelkraft gelöst werden muss, wird die Modellierung verwendet, um diese Fragestellung zu lösen. Diesen Prozess beschreibt Müller-Slany dann als Problemlösen mithilfe der Modellierung.

Wedelin et al. (2015) unterscheiden diese beiden Prozesse anhand der Art der Probleme. Sie nennen die Aufgaben im Rahmen der mathematischen Modellierung "*ill-structured problems*" und die zu lösenden Aufgaben im Problemlöseprozess bezeichnen sie als „*real problems*“:

“There has been relatively little research focusing on how engineering students approach ill-structured problems (or non-routine problems in general), or how to improve their ability to deal with such problems (Singer, Nielsen, and Schweingruber 2012). Mathematical modelling problems are often naturally ill-structured.” (Wedelin et al., 2015)

Mit *ill-structured problems* sind Probleme gemeint, die keine klare Fragestellung beinhalten.

Eine weitere Unterscheidung liegt in der Definition für Problemlösen, denn Problemlösen kann sich auf generelle Vorgehensweisen beziehen und muss keine mathematischen Umsetzungen beinhalten (Pólya, 1983). Paton (2010) sieht die mathematische Modellierung als eine spezifische Form des Problemlösens, die sich auf den Umgang mit realweltlichen Problemen mittels Mathematik konzentriert, während Problemlösen allgemeiner ist und auch nicht-mathematische Aspekte umfassen kann. Problemlösen beinhaltet Strategien wie das Verstehen des Problems, das Entwickeln eines Plans, das Ausführen des Plans und die Evaluierung der Lösung (Pólya, 1983). Die mechanisch-mathematische Modellierung erfordert Problemlösungsfähigkeiten, da Studierende Annahmen treffen, Vereinfachungen vornehmen, das mathematische Modell lösen, metakognitive Strategien zur Reflexion einsetzen und verschiedene Modellierungsansätze evaluieren müssen.

Wedelin und Adawi (2014) unterscheiden zwischen mathematischer Modellierung und Problemlösen ähnlich wie Müller-Slany (2018) folgendermaßen: Mathematische Modellierung ist der Prozess, relevante Aspekte der Realität in eine mathematische Repräsentation zu übersetzen. Dieser Prozess umfasst das Vereinfachen und Mathematisieren einer realen Situation, um ein Modell zu erstellen, das zur Analyse des Problems genutzt werden kann. Dieser Prozess ist iterativ und erfordert ein Verständnis für mathematische Repräsentationen und ihre Eigenschaften.

Wedelin und Adawi formulieren es in ihrer Veröffentlichung wie folgt:

“In order to use mathematics to solve a real task, the first step is to translate relevant aspects of reality and the associated task into a mathematical representation, i.e., a model. [...] Throughout the modelling process, problem-solving abilities are required whenever the method for resolving the situation or problem is not known or easy to see.”

(Wedelin & Adawi, 2014)

Eine Unterscheidung der beiden Prozesse Modellierung und Problemlösen für die Physik findet sich in Brandenburger (2017). Im mathematikdidaktischen Kontext wird Problemlösen insbesondere dann erforderlich, wenn für eine gegebene Situation kein bekanntes Lösungsverfahren existiert. Dies verdeutlicht die enge Beziehung zwischen mathematischem Modellieren und Problemlösen. Modellierungsprozesse beinhalten als integralen Bestandteil auch Problemlöseaktivitäten, insbesondere während der innermathematischen Bearbeitung der modellierten Situation. Dabei kann der Begriff des Problemlösens auf das Modellieren im weiteren Sinne übertragen werden, da Modellieren ebenfalls das Erarbeiten geeigneter Lösungsstrategien erfordert (Büchter & Leuders, 2016).

Streng genommen lässt sich jedoch nur der innermathematische Teilprozess innerhalb des Modellierens dem Problemlösen zuordnen (Brandenburger, 2017), wodurch Problemlösen im engeren Sinne als ein Teilprozess des Modellierens betrachtet werden kann (Büchter & Leuders, 2016). Für die physikalische Modellierung unterscheidet Brandenburger (2017) die Prozesse *Modellierung* und *Problemlösen* aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung des Begriffs *Modellierung* im Bereich der Physik im Gegensatz zur Mathematik. Modellierung dient in der Physik allein der Erkenntnisgewinnung (Modellbildung und -validierung) und ist somit nicht dem Problemlösen (Modellanwendung) gleichzusetzen (Brandenburger, 2017).

Um den Unterschied zwischen dem Modellierungsprozess in Mechanik im Vergleich zum Problemlöseprozess in Physik (bezogen auf Aufgaben für die Lehre) zu verstehen, sollen im Folgenden kurz die Unterschiede zwischen Physik und Mechanik dargestellt werden. Obwohl die Physik und die Ingenieurmechanik viele gemeinsame Grundprinzipien teilen, unterscheiden sie sich in ihrer Zielsetzung und Herangehensweise deutlich (Brandenburger, 2017; Newcomer & Steif, 2008). Während die Physik darauf abzielt, physikalische Prinzipien zu entdecken und zu erklären, um beobachtbare Phänomene zu verstehen, ist das Ziel der Ingenieurmechanik, Kräfte und Bewegungen in realen Systemen zu beschreiben und vorherzusagen.

Dabei dienen die physikalischen Prinzipien nicht als Selbstzweck, sondern als Werkzeuge zur Lösung ingenieurwissenschaftlicher Fragestellungen (Direnga, 2021). Ein zentraler Unterschied liegt zudem in der Art der betrachteten Systeme. In der Physik werden diese oft auf Punktmassen vereinfacht, um Momente und Rotationen zu vermeiden (Steif, 2004). Das Gleichgewicht von Kräften und Momenten wird dort häufig getrennt behandelt – zuerst für lineare Bewegungen und erst später für Rotationen.

In der Ingenieurmechanik hingegen müssen reale, oft hochkomplexe Systeme mit mehreren Körpern, Gelenken und verteilten Kräften analysiert werden. Deshalb werden Kraft- und Momentengleichgewicht von Anfang an simultan betrachtet (Newcomer & Steif, 2008).

Das Lösen typischer Statikaufgaben im Rahmen der Lehre basiert auf der mechanisch-mathematischen Modellierung (Modellbildung und -anwendung), die nur bei vorhandenem konzeptionellem Verständnis erfolgreich angewendet werden kann. Komplexere Aufgaben, wie z. B. das Auslegen von Maschinen können als offenes, komplexes Problem definiert werden, zählen aber im Rahmen der Lehre nicht zu den vereinfachten, schematischen Aufgaben.

4.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel ist zunächst der Begriff *Modell* definiert worden, um anschließend nach der Beschreibung des Begriffs *Kompetenz* die *Modellierungskompetenz* zu definieren. Die mechanisch-mathematische Modellierungskompetenz ist im Rahmen dieser Arbeit als das Wissen über den Modellierungsprozess sowie die Anwendung dieses Prozesses beim Lösen definierter Aufgaben zu verstehen. Dabei wird auch die Reflexion des Prozesses und die Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt. Diese Modellierungskompetenz wurde in Beziehung zur *mathematischen Modellierung* gesetzt und anschließend vom *Problemlösen* abgegrenzt.

5. Interventionsansätze und Theorien zur Förderung von Modellierungsprozessen beim Lösen von Aufgaben in der Lehre

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die dem hier entwickelten Lehrkonzept zugrundeliegenden Interventionsansätze und Lehr-/Lerntheorien. Fußend auf den hier dargestellten forschungsbasierten Erkenntnissen zur Förderung der Modellierungskompetenz beim Lösen von Aufgaben wird anschließend das Lehrkonzept entwickelt und in Kapitel 8 beschrieben.

Ansätze, welche sich explizit auf die Statik beziehen, sind bereits in Kapitel 2.3 beschrieben worden. In diesem Kapitel sollen diese Befunde aus angrenzenden Fachdisziplinen wie der Mathematik- und Physikdidaktik ergänzt werden. Die Ingenieurdidaktik ist eine vergleichsweise junge Disziplin, die sich noch in einer Phase der Selbstfindung befindet und dynamisch weiterentwickelt (Dammann, 2016a; Johri & Olds, 2015). Laut Johri und Olds (2013) stützt sich die Forschung im Bereich der Ingenieurdidaktik stark auf theoretische Rahmenmodelle der allgemeinen Bildungsforschung, was als Zeichen für die noch nicht vollständig ausgereifte Eigenständigkeit des Forschungsfeldes gewertet werden kann. Daher ist die Vorgehensweise, für die Ingenieur-Mechanik Analogien zu bereits existierenden Forschungsergebnissen beispielweise aus dem Bereich der Physikdidaktik zu bilden, nicht unüblich (Direnga, 2021).

5.1 Darlegung der Interventionsansätze und Theorien zur Förderung von Modellierungsprozessen beim Lösen von Aufgaben in der Lehre

Aufgrund der hohen Durchfallquoten in Statik, die z. T. durch das fehlende Verständnis der Studierenden bezogen auf die verwendeten Systeme und Modelle beim Lösen von Statikaufgaben zu begründen sind (vgl. Kapitel 2.2), soll ein neues Lehrkonzept zur Förderung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz entwickelt werden. Mithilfe des Modellierungsprozesses können erfolgreich Aufgaben in der Statik gelöst werden (vgl. Kapitel 3). Durch ein neu-akzentuiertes Lehrkonzept, welches auf diesen spezifischen Modellierungsprozess in Statik fokussiert, soll das Ziel verfolgt werden, den Studierenden ein besseres Verständnis über den Modellierungsprozess und damit eine erfolgreichere Anwendung dieses Schemas beim Lösen von Statikaufgaben zu vermitteln.

Derzeit existieren noch wenig empirisch belegte Förderkonzepte für die Lehre, die eine langfristige Verbesserung der Modellierungskompetenz von Studierenden in Statik unterstützt (vgl. Kapitel 2.3). Wie bereits in Kapitel 2.3 gezeigt, gibt es einige wenige Ansätze zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses in der Statik, die sich aber nicht direkt auf die Anwendung des Verständnisses des Modellierungsprozesses bei der Bearbeitung von klassischen (Textbuch-)Statikaufgaben beziehen (Direnga, 2021; Dollár & Steif, 2006). Das konzeptionelle Verständnis ist aber ein indirekter bzw. ergänzender Ansatz, da das Konzeptverständnis als Grundlage für eine erfolgreiche Modellierung angesehen wird (Paton, 2010; Wedelin & Adawi, 2014; Wedelin et al., 2015).

Mit der traditionellen Lehrmethode (vgl. Kapitel 2.1) kann die Modellierungskompetenz nicht ausreichend vermittelt werden, sodass Studierende Probleme beim Lösen von Statikaufgaben aufweisen. Die in der traditionellen Lehre zugrundeliegende Struktur von Frontalunterricht in der Vorlesung und dem Vorrechnen von Übungsaufgaben wird oft aus konstruktivistischer Perspektive kritisiert, da sie zu wenig eigene Auseinandersetzung mit den Inhalten ermöglicht. Ein vertieftes Verständnis der verwendeten Modelle und Konzepte beim Lösen von mechanischen Aufgaben ist entscheidend für den Erfolg beim Lösen der Statikaufgaben in der Lehre (Direnga, 2021; Paton, 2010).

In der Physik- und Mathematikdidaktik sind bereits einige Forschungsergebnisse zur Förderung der mathematischen Modellierungskompetenz zum Lösen von Aufgaben oder Problemen bekannt, welche sich auf die explizite Vermittlung des Modellierungskreislaufs oder der Problemlöseschemata oder einer expliziten Strategie beim Lösen von Aufgaben und Problemen fokussieren (Hankeln & Greefrath, 2021; Maaß, 2004; Plicht, 2024; Schukajlow & Blum, 2018; Tropper, 2019; Woitkowski, 2018). Einige Ansätze dieser Strategien können für die Statik adaptiert werden (vgl. Kapitel 8).

Die zugrundeliegenden Konzepte des hier entwickelten Übungskonzeptes und frühere Forschungsarbeiten zu der Effektivität solcher Lehrkonzepte in den anderen Fachdisziplinen werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Der Fokus beim Modellieren liegt in der Anwendung und dem Transfer des Wissens (Maaß, 2004), dem Verstehen der verwendeten Repräsentationen und Modelle sowie dem Reflektieren der Ergebnisse (Kaiser, 2007; Maaß, 2006). Die Forschung in der Mathematikdidaktik zur mathematischen Modellierungskompetenz zeigt, dass das Verwenden von Lösungsplänen (Schrittanleitungen des Modellierungsprozesses) auch in Form von heuristischen Lösungsbeispielen eine stärkere Nutzung von kognitiven Wiederhol-, Elaboration-, Organisations- und metakognitiven Planungsstrategien zur Folge hat (Maaß, 2004; Reiss & Renkl, 2002; Schukajlow & Blum, 2018; Zöttl, Ufer & Reiss, 2010).

Neben dem expliziten Aufzeigen und Arbeiten mit dem Modellierungsprozess können das Wissen über den Modellierungskreislauf sowie Ansätze zur Förderung der Metakognition die Modellierungskompetenz fördern (Maaß, 2004; Tropper, 2019; Zöttl et al., 2010). Viele Studierende haben Schwierigkeiten, den Modellierungsprozess zu initiieren (Crouch & Haines, 2004). Diese Schwierigkeiten resultieren unter anderem aus einer fehlenden Verbindung zwischen Mathematik und realen Anwendungen sowie aus der Unsicherheit, welche Annahmen getroffen werden müssen, um ein Modell zu formulieren (Rowland & Jovanoski, 2004). Für eine erfolgreiche Anwendung des Modellierungskreislaufs bedarf es folglich strategischer Ansätze zur Modellbildung, wie etwa die Identifikation relevanter Variablen, die Klassifizierung von Größen als bekannt oder unbekannt sowie die Validierung des Modells.

Um die mathematische Modellierungskompetenz zu fördern, sollten didaktische Konzepte stärker auf interaktive Lehrmethoden und eine explizite Vermittlung von Modellierungsstrategien setzen (vgl. Soon et al., 2011). Dazu zählen das explizite Vermitteln des Wissens über den Modellierungskreislauf, um Erinnerungseffekte zu generieren (Galbraith & Clatworthy, 1990; Hankeln & Greefrath, 2021), das Einsetzen von aufbereiteten Musterlösungen strukturiert nach den Modellierungsschritten (Zöttl et al., 2010) sowie das Implementieren strategischer Lösungspläne (Schukajlow, Kolter & Blum, 2015; Schukajlow & Blum, 2018). Strategische Lösungspläne basieren auf den Schritten des Modellierungskreislaufs oder auf Teilkompetenzen. Sie geben einen Überblick über die Bearbeitungsschritte mit konkreten Hinweisen zu den einzelnen Schritten, welche für die Lösung einer Aufgabe relevant sind (Hankeln & Greefrath, 2021).

Maaß (2010) beschreibt neben dem expliziten Aufzeigen des Modellierungsprozesses weitere Interventionen wie die Reflexion der Aufgabenstellung durch die Identifikation der Annahmen mithilfe expliziter Fragen zum gegebenen System oder durch das Wiedergeben der Aufgabenstellung in eigenen Worten seitens der Studierenden. Sie empfiehlt auch das Interpretieren der Ergebnisse und die Reflexion des gesamten Modellierungsprozesses nach der eigenständigen Aufgabebearbeitung. Dabei sollte die Lehrperson Hinweise und Feedback zum individuellen Aufgaben-Lösungsprozess geben. Die Diskussionsphasen können in Gruppenarbeiten integriert werden und es können metakognitive Ansätze wie die Selbstüberwachung und Reflexion des (eigenen) Lösungsweges implementiert werden.

In dem Bereich der Physikdidaktik ist ein spezifisches Lehrkonzept zur Förderung von Modellierungs- und Problemlöseprozessen ein explizites Strategietraining (Plicht, 2024; Woitkowski, 2018). Plicht (2024) entwickelte und evaluierte ein Strategietraining für den Physikkurs der Maschinenbau-Studierenden der Hochschule Ruhr West und konnte in einer Studie mit 52 Studierenden in Form eines Kontrollgruppendesigns zeigen, dass ein explizites Vermitteln und Erarbeiten des Wissens über den Problemlöseprozess inklusive der Konzepte und Heuristiken die Anwendung beim Lösen typischer Physik-Textbuch-Aufgaben³ in der Lehre signifikant verbessert. Es zeigte sich ein deutlich höherer signifikanter Lernzuwachs für die Experimentalgruppe im Problemlösetest, im deklarativen Wissen über die Problemschemata sowie in den Sortieraufgaben zur Problemklassifikation. Das von Plicht (2024) entwickelte Strategietraining umfasst mehrere methodische Elemente, die systematisch aufeinander aufbauen, um die Problemlösekompetenz der Studierenden in Physik zu verbessern. Dabei ist eine Kombination aus strukturierten Übungsaufgaben, heuristischen Methoden und aktiver Reflexion eigener Lösungswege eingesetzt worden.

Im Rahmen der Einführung des Strategietrainings ist eine Sensibilisierung der Studierenden für Problemlösestrategien durch die Reflexion eigener Lösungswege und kognitiver Konflikte erfolgt. Hierbei sind typische Fehlkonzepte identifiziert worden, um für die Studierenden die Notwendigkeit strukturierter Problemlösestrategien aufzuzeigen. Anschließend haben die Studierenden Problemtypen identifiziert und klassifiziert, indem eine Abstraktion von Beispielaufgaben zu übergeordneten Problemklassen erfolgte, die strukturell ähnliche Lösungswege ermöglichen. Darauf aufbauend wurden den Studierenden heuristische Strategien zur Problemlösung aufgezeigt, mit denen der Transfer bereits erarbeiteter Lösungsstrategien auf unbekannte Aufgaben gefördert werden kann. Dabei sind *Worked Examples*⁴ zur Verfügung gestellt und regelmäßiges Feedback an die Studierenden kommuniziert worden. Um den Wissenstransfer sicherzustellen, ist in einer Abschlussitzung die eigenständige Erstellung von neuen Aufgaben für die jeweiligen Problemtypen gefordert worden, welche dann in Peer-Diskussionen besprochen und reflektiert wurden. Das etablierte Strategietraining zielte auf eine schrittweise Entwicklung der Problemlösefähigkeiten ab, indem sowohl konzeptuelles Wissen als auch strategische Fertigkeiten vermittelt wurden (Plicht, 2024).

³ Der Unterschied zur TM hier ist, dass in der Physik mehrere übergeordnete Heuristiken, differenziert nach Problemtyp, existieren.

⁴ Ein Worked Example ist ein Lösungsbeispiel, welches neben der eigentlichen Problemstellung auch einen schrittweise dargestellten Lösungsweg und die Problemlösung darstellt (vgl. Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000).

Woitkowsi (2018) etablierte im Rahmen seiner Lehrmethode *Physikalische Denk- und Arbeitsweisen* das international verwendete ACER-Modell (Activity, Conceptualization, Experimentation und Reflection) zur Aktivierung der mathematischen Werkzeuge, der Konstruktion eines Modells, der Ausführung der mathematischen Lösung und der Reflexion der Ergebnisse (Wilcox, Caballero, Rehn & Pollock, 2013; Woitkowski, 2018). In diesem Modell ist das Kernelement das explizite Aufzeigen der zentralen Schritte bei der Lösung typischer Problemstellungen.

Sands und Marchant (2016) konnte zeigen, dass das konzeptionelle Verständnis gemessen am FCI in Physik durch das Einbinden des Modellierungsprozesses (hier: ACME) mit dem Fokus auf der Modellbildung und der Diskussion sowie der Analyse des Modells, Interaktionen mit Peers und regelmäßigem Feedback verbessert werden konnte. Der strukturierte Prozess umfasst die Schritte *Assess* (Problem analysieren), *Conceptualise (or Construct) the model* (Modell entwickeln) und *Evaluate* (Lösung überprüfen). Mit dieser Lehrmethode konnte bei einer Stichprobe von 42 Studierenden eine Verbesserung des konzeptionellen Verständnisses um einen 16 % erhöhten Mittelwert im FCI erfasst werden.

Übergreifende Theorien zum Lernen, welche im Rahmen des hier entwickelten Strategietrainings Anwendung finden, sind der Konstruktivismus sowie interaktive Lehrmethoden durch den Einsatz aktiver Lernmaterialien. Die Lehrmethode von Wedelin und Adawi (2014) basiert auf *Inquiry-Based Learning* und *Cognitive Apprenticeship*, um Studierende der Ingenieurwissenschaften gezielt auf realistische mathematische Modellierungsprobleme im Ingenieurwesen vorzubereiten. Die wichtigsten Elemente sind: das explizite Aufzeigen des mathematischen Modellierungsprozesses, welcher als iterativer Zyklus verstanden wird, die Vereinfachung und Mathematisierung der Situation, um ein Modell zu erstellen, die mathematische Bearbeitung des Modells und letztlich die Interpretation und Validierung der Ergebnisse. Studierende sollen eigenständig Annahmen treffen, die Struktur der Probleme erkennen und unterschiedliche Strategien ausprobieren. Sie lernen durch authentische Probleme. Der Kurs ist auf 30 realitätsnahe, vielfältige und anspruchsvolle Probleme aus den Ingenieurwissenschaften (aus den Bereichen: dynamische Systeme oder Verkehrsflussmodellierung) ausgerichtet. Die Studierenden arbeiten in Zweiergruppen.

Die Lehrmethode setzt das Cognitive Apprenticeship durch Modellierung (die Lehrperson macht ihre Denkprozesse sichtbar), Coaching (Studierende erhalten Prompts während des Lösungsprozesses), Scaffolding (der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben wird schrittweise erhöht) sowie das Verbalisieren und Reflektieren des Lösungsweges der Studierenden und die Exploration (Studierende werden ermutigt, eigene Aufgaben zu formulieren und zu lösen) um. Der Kurs richtet sich an Studierende im zweiten Jahr des Software-Engineering-Studiengangs an der Chalmers University of Technology (Schweden). Wedelin und Adawi argumentieren, dass dieser praxisnahe, kognitive Ansatz dazu führt, dass Studierende nicht nur Mathematik anwenden, sondern auch verstehen, wie Mathematik zur Lösung realer technischer Probleme eingesetzt wird (Wedelin et al., 2015).

Aktive Lernstrategien tragen nachweislich zur Verbesserung des Verständnisses bei, insbesondere im Vergleich zu traditionellen Lehrmethoden (Smith, Sheppard, Johnson & Johnson, 2005). Obwohl es keine einheitliche Definition gibt, beschreiben Freeman et al. (2014) aktives Lernen als einen Ansatz, bei dem Studierende durch Aktivitäten oder Diskussionen aktiv in den Lernprozess eingebunden werden, anstatt lediglich einer Vorlesung zu folgen. Dabei steht die Förderung höherer Denkprozesse im Mittelpunkt, häufig in Kombination mit Gruppenarbeit. Hake (1998) ergänzt, dass interaktive Lehrmethoden darauf abzielen, konzeptuelles Verständnis durch Feedback in Gruppenarbeiten oder Diskussionen zu fördern. Beide Definitionen heben die drei wesentlichen Aspekte des aktiven Lernens hervor: die Förderung höherer kognitiver Fähigkeiten, den praktischen und diskussionsbasierten Ansatz sowie die soziale Interaktion durch Gruppenarbeit (Direnga, 2021).

Hake (1998) untersuchte über 6000 Studierende in Physikkursen. Dabei zeigte sich, dass interaktive Lehre durchschnittlich doppelt so hohe Lernzuwächse erzielt wie traditionelle Vorlesungen. Eine interaktive Bearbeitung von Aufgaben durch Studierende basiert auf konstruktivistischen Lerntheorien. Diese gehen davon aus, dass Wissen nicht einfach vom Lehrenden auf den Lernenden übertragen werden kann, sondern vom Individuum aktiv konstruiert werden muss, indem die lernende Person auf ihre Erfahrungen zurückgreift und diese mit neuen Informationen verknüpft (Stangl, 1989). Diese aktive Auseinandersetzung mit den Aufgaben umfasst also das Diskutieren und Reflektieren der eigenständig erarbeiteten Aufgaben.

Somit lässt sich als Grundlage für die in dem Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Lehrmethode vermuten, dass die Vermittlung des Modellierungskreislaufs in der Statik, die explizite Reflexion und Diskussion hierüber sowie das selbstständige Erarbeiten von Übungsaufgaben die Modellierungskompetenz der Studierenden beim Lösen von Aufgaben in der Statik fördern.

5.2 Zusammenfassung

Dieses Kapitel stellte forschungsbasierte Interventionsansätze und Theorien zur Förderung von Modellierungsprozessen beim Lösen von Aufgaben in der Lehre dar. Aufgrund der hohen Durchfallquoten in Statik, die aus fehlerhaften Bearbeitungen von Statikaufgaben resultieren und teilweise auf mangelndes Verständnis der Studierenden hinsichtlich der verwendeten Modelle und Systeme zurückzuführen sind, wird die Entwicklung eines neuen Lehrkonzeptes zur Förderung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz angestrebt. Der Modellierungsprozess stellt eine zentrale Fähigkeit dar, um Statik-aufgaben erfolgreich zu lösen, wird jedoch in der traditionellen Lehre unzureichend vermittelt. Insbesondere der Frontalunterricht mit reiner Demonstration von Lösungswegen fördert die eigenständige Anwendung des Modellierungsprozesses nicht ausreichend.

Bisher existieren nur wenige empirisch belegte Konzepte zur langfristigen Verbesserung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz für Statik. Während einige Ansätze das konzeptionelle Verständnis in den Fokus rücken, fehlt es an Konzepten, die explizit die Anwendung des für Statik spezifischen Modellierungsprozesses beim Lösen von Aufgaben unterstützen. Erkenntnisse aus der Mathematik- und Physikdidaktik zeigen, dass die Vermittlung expliziter Modellierungsstrategien sowie der Einsatz heuristischer Lösungspläne, Worked Examples und metakognitiver Strategien die Modellierungskompetenz verbessern können. In der Physikdidaktik haben explizite Strategietrainings signifikante Verbesserungen beim Problemlösen bewirkt. Diese Trainings beinhalten strukturierte Übungen, die Identifikation von Problemtypen sowie die Reflexion eigener Lösungswege und kognitiver Fehlkonzepte.

Lehrkonzepte, die auf konstruktivistischen Prinzipien und interaktiven Lehrmethoden basieren, zeigen über verschiedene Fachdisziplinen hinweg eine signifikante Verbesserung der Lernleistung. Besonders Inquiry-Based Learning und Cognitive Apprenticeship-Ansätze fördern eigenständiges Denken, die Modellbildung und die Reflexion von Lösungswegen. Im Kontext der Statik wird daher erwartet, dass die gezielte Vermittlung des spezifischen Modellierungsprozesses in Statik, die Reflexion und Diskussion darüber sowie das selbstständige Bearbeiten von Übungsaufgaben die Modellierungskompetenz der Studierenden in TM verbessern kann.

6. Forschungsfragen und -hypothesen

Angelehnt an Heublein und Anderen sollten die Abbrecherquoten im Maschinenbau-Studium durch das Reduzieren der Leistungsprobleme in den Grundlagenkursen wie Statik vermindert und damit die Studienmotivation gesteigert werden können (Heublein, 2017).

Die Leistungsprobleme in Statik resultieren z. T. aus fehlendem Verständnis über die verwendeten Modelle und Konzepte, die in der traditionellen Lehre in Statik oft nicht stark genug bearbeitet oder reflektiert werden (Carew & Dwight, 2006; Direnga, 2021; Paton, 2010; Wedelin & Adawi, 2014; Wedelin et al., 2015). Der Fokus in der Lehre liegt auf Prozeduren zur Berechnung schematischer Statikaufgaben (Brose & Kautz, 2011). Dabei wird nicht explizit auf den Modellierungsprozess in Statik eingegangen (vgl. Kapitel 2.1), sodass ein Transfer des Wissens und der Prozeduren auf neue Aufgaben oft nicht möglich ist und somit Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Statikaufgaben entstehen (vgl. Kapitel 2.2).

Da diese Aufgaben durch die korrekt ausgeführte Anwendung des Modellierungsprozesses in Statik erfolgreich gelöst werden können (vgl. Kapitel 3), sollte das Lehrformat dahingehend angepasst werden, sodass die Leistungen der Studierenden im Statik-Kurs an deutschen Hochschulen und Universitäten verbessert werden können. Damit soll die beschriebene Problematik hinsichtlich hoher Durchfallquoten, fehlender Studienmotivation und möglicherweise frühzeitiger Studienabbrüche aufgelöst oder reduziert werden. Eine verbesserte Modellierungskompetenz wirkt sich positiv auf die Klausurleistung in Statik aus (Dammann & Lang, 2017). Um die Modellierungskompetenz beim Lösen von Statikaufgaben gezielt zu fördern, bedarf es eines neuen Lehrkonzeptes, welches das explizite Aufzeigen und Reflektieren des für Statik spezifischen Modellierungsprozesses fokussiert.

Eine systematische Wirksamkeitsüberprüfung solch eines gezielt auf den konkreten Modellierungskreislauf beim Lösen von Statikaufgaben ausgerichteten Lehrkonzeptes hat bisher in der technikdidaktischen Bildungsforschung nicht stattgefunden (vgl. Kapitel 2.3 sowie Kapitel 5).

Das Ziel der Arbeit ist es, die Effekte des hier entwickelten Strategietrainings (vgl. Kapitel 8.2) zur Förderung der Modellierungskompetenz von Studierenden in der TM beim Lösen von Statikaufgaben in Bezug auf das Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik sowie die Anwendung dieses Kreislaufs auf Statikaufgaben (vgl. Kapitel 3) zu untersuchen. Für diese Arbeit werden zwei Forschungsfragen formuliert, die sich auf die Evaluation des Strategietrainings als alternative Lehrmethode für die Statik zur Förderung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz beziehen.

Die Studie ist in ein Kontrollgruppendesign eingebunden (vgl. Kapitel 7), bei dem der Gruppenunterschied zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe in der zur Verfügung gestellten Lehrmethode liegt (klassische Übung versus Strategietraining).

Nach Bloom'scher Taxonomie (Krathwohl, 2002) sowie angelehnt an die Definition des Kompetenzbegriffs nach Weinert (2001) muss zunächst das deklarative Wissen trainiert werden, um dann mit dem vorhandenen Wissen und Verständnis in die nächste Taxonomiestufe – die Anwendung – überzugehen. Das bedeutet, dass für eine erfolgreiche Anwendung des Modellierungskreislaufs zunächst das deklarative Wissen über diesen Modellierungskreislauf vorhanden sein muss, um diesen Kreislauf im nächsten Schritt zur Lösung von Statikaufgaben anwenden zu können. Aufgrund dieser Separation ergibt sich folgende erste Forschungsfrage:

Forschungsfrage 1: Hat ein explizites Strategietraining eine Verbesserung im deklarativen Wissen über den für die Statik spezifischen Modellierungskreislauf zur Folge?

Bisherige Forschungsergebnisse (Direnga, 2021; Hankeln & Greefrath, 2021; Paton, 2010; Plicht, 2024) legen nahe, dass das Strategietraining einen positiven Einfluss auf das deklarative Wissen über die Schritte des Modellierungsprozesses beim Lösungsprozess von Statikaufgaben hat. Bezogen auf den dargestellten Modellierungskreislauf in Statik (vgl. Kapitel 3) existieren keine Forschungsarbeiten, die den Effekt eines Strategietrainings auf dieses explizite Wissen überprüft haben.

Plicht (2024) hat für die Physik gezeigt, dass ein auf Lösungsschemata fokussiertes Strategietraining das Erkennen der Lösungsschemata positiv beeinflussen kann. Somit wird für die Statik ebenfalls davon ausgegangen, dass das Strategietraining, in welchem der Modellierungskreislauf kontinuierlich aufgezeigt und diskutiert wird, einen positiven Einfluss auf das Wissen über diesen Kreislauf hat. Daraus ergibt sich folgende Hypothese:

Hypothese 1: Das Strategietraining verbessert das deklarative Wissen über den für Statik spezifischen Modellierungskreislauf.

Hypothese 1 kann als bestätigt betrachtet werden, wenn bei den Analysen signifikante ($p \leq 0.05$) Gruppenunterschiede in den Lernzuwächsen im Wissenstest (Schemaerkennungstest) zugunsten der Experimentalgruppe ermittelt werden, ansonsten muss die Hypothese verworfen werden.

Neben dem deklarativen Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik stellt sich die Frage, ob der Modellierungskreislauf auf Statikaufgaben erfolgreich angewendet werden kann. Das führt zur zweiten Forschungsfrage:

Forschungsfrage 2: Hat ein explizites Strategietraining eine verbesserte Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben zur Folge?

Derzeit existieren nach aktueller Forschungslage weder national noch international ähnlich aufgebaute Strategietrainings, die explizit auf den für Statik spezifischen Modellierungsprozess beim Lösen von Statikaufgaben ausgerichtet sind. Da zudem bisher kein Testinstrument erforscht wurde, welches die konkreten Schritte des Modellierungsprozesses in Statik zusammenhängend und so explizit erfasst, werden zum Ableiten der zugehörigen Forschungshypothesen Ergebnisse aus ähnlichen Studien herangezogen.

Die Wirkung von Strategietrainings, welche auf Lösungsschemata zum Bearbeiten von Aufgaben in der Lehre fokussieren, ist bereits für Modellierungs- und Problemlöseprozesse in der Physik oder Mathematik bestätigt worden (Hankeln & Greefrath, 2021; Plicht, 2024; Schukajlow et al., 2015; Zöttl et al., 2010).

Direnga (2021) hat ein Übungskonzept mit dem Trainingsfokus auf das konzeptionelle Verständnis in Statik evaluiert. Hier ist anzumerken, dass das konzeptionelle Verständnis essentiell für die mechanisch-mathematische Modellierung ist (Paton, 2010). Direnga (2021) zeigt, dass gezieltes Üben von konzeptionellem Verständnis in Statik mithilfe von Tutorien, die anders als die klassischen Übungen aufgebaut sind und mehr Verständnisaufgaben durch Konfrontation mit Fehlkonzepten sowie den Einsatz von aktiven Lernmaterialien darbieten, eine deutliche Verbesserung der Lösungsquote beim Lösen von Statikaufgaben zur Folge hat.

Auch anhand der Ergebnisse von Dammann und Lang (2017), Müller (2019) sowie Muskamp et al. (2014), welche bestätigen, dass die Modellierfähigkeit einen positiven Einfluss auf die Klausurleistungen in TM zeigt, lässt sich vermuten, dass ein Strategietraining, welches sich auf den Modellierungsprozess beim Lösen von Statikaufgaben fokussiert, die Anwendung des Modellierungskreislaufs positiv beeinflusst.

Zudem konnte bereits der Einfluss von Mathematikkenntnissen auf TM-Leistungen nachgewiesen werden (Dammann & Lang, 2017, 2019; Müller et al., 2018). Davon lässt sich ableiten, dass die Anwendung des Modellierungsprozesses in Statik, welche auch das Erstellen und Lösen eines mathematischen Modells beinhaltet, positiv durch das Trainieren der mathematischen Modellierung beeinflusst wird. Aus diesen Forschungsbefunden wird folgende Hypothese abgeleitet:

Hypothese 2: Das Strategietraining verbessert die Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben.

Hypothese 2 kann als bestätigt angenommen werden, wenn bei den Analysen signifikante ($p \leq 0.05$) Gruppenunterschiede in den Lernzuwächsen im Leistungstest zugunsten der Experimentalgruppe ermittelt werden, ansonsten muss die Hypothese verworfen werden.

TEIL II.
METHODIK &
DURCHFÜHRUNG

7. Methoden und Design

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen vorgestellt, das zur Beantwortung der in Kapitel 6 vorgestellten Forschungsfragen dienen soll. Die Beantwortung der Forschungsfragen erfolgt im Rahmen eines Kontrollgruppendesigns, indem empirisch Gruppeneffekte und Variablenzusammenhänge mithilfe quantitativer und statistischer Verfahren untersucht werden. Damit soll die erste Forschungsfrage beantwortet werden, welche Aufschluss über die Wirksamkeit des Strategietrainings auf das deklarative Wissen über den Modellierungsprozess in Statik gibt. Ergänzend soll die zweite Forschungsfrage beantwortet werden, welche die Wirksamkeit des Strategietrainings auf die Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben untersucht.

Zunächst wird in Abschnitt 7.1 das im Rahmen der Studie verwendete Vorgehen mithilfe des Forschungsdesigns sowie der methodischen Rahmenbedingungen des durchgeführten Kontrollgruppendesigns beschrieben. Es folgt eine kurze Zusammenfassung. Der Methodik-Teil dieser Arbeit schließt mit der Beschreibung der im Rahmen dieser Studie verwendeten Übungskonzepte (klassisch versus neu-entwickelt) in Kapitel 8 ab. Erst anschließend werden in der Anlage der Untersuchung die Methoden zur Datenanalyse und die Rahmenbedingungen zur Vor- und Hauptuntersuchung sowie die Testinstrumente vorgestellt.

7.1 Methodisches Vorgehen

Dieses Kapitel soll einen Überblick über das methodische Vorgehen in dieser Studie geben, indem zu Beginn die Beschreibung des Forschungsdesigns und -settings erfolgt. Dabei werden die zu untersuchenden Variablen vorgestellt. Danach werden die methodischen Rahmenbedingungen des Kontrollgruppendesigns erläutert und Maßnahmen zur Vergleichbarkeit dargestellt.

7.1.1 *Forschungsdesign*

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wird eine Interventionsstudie durchgeführt, die in einem experimentellen Kontrollgruppendesign eingebunden ist und einen Prä-Post-Vergleich inkludiert (Direnga, 2021; Plicht, 2024).

Das neu-entwickelte Übungskonzept soll hinsichtlich der Wirksamkeit zur Förderung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz evaluiert werden. Die Zielgruppe dieser Studie sind Studierende der Ingenieurwissenschaften im ersten Semester, welche den Kurs *Mechanik 1 (Statik)* belegen.

Mithilfe des im Rahmen der Studie entwickelten Lehrkonzeptes soll die bereits in Kapitel 1 beschriebene Ausgangsproblematik aufgegriffen und verbessert werden. Diese Problematik beschreibt, dass große Verständnislücken in Statik bestehen, die zu hohen Durchfallquoten in den TM-Prüfungen und damit zur sinkenden Studienmotivation im ersten Semester führen (s. Kapitel 1). Das klassische Übungskonzept in der aktuellen Statiklehre beinhaltet das Bearbeiten klassischer Übungsaufgaben in TM (vgl. Kapitel 8.3) und wirkt der Problematik nicht ausreichend entgegen (vgl. Kapitel 2.2). Die Entwicklung des neuen Übungskonzeptes orientierte sich an den Erkenntnissen zu Förderansätzen der (mechanisch)-mathematischen Modellierung (vgl. Kapitel 2.3 und 5). Die Modellierungskompetenz der Studierenden soll bei dem hier entwickelten Lehransatz durch die explizite Vermittlung des Modellierungskreislaufs in Statik gefördert werden. Das entwickelte Lehrkonzept, das im Folgenden als Strategietraining bezeichnet wird, wird in Kapitel 8 beschrieben.

Die Evaluation der Forschungsfragen wurde mithilfe des hier verwendeten experimentellen Kontrollgruppendesigns durchgeführt. Dieses Design ermöglicht die Wirksamkeitsprüfung des Strategietrainings, indem Testergebnisse der Experimentalgruppe mit denen der Kontrollgruppe verglichen werden können. Die Teilnehmenden wurden hierzu in zwei Gruppen eingeteilt: eine Kontrollgruppe, die eine Übung basierend auf dem klassischen Lehrkonzept erhielt, und eine Experimentalgruppe, welche das entwickelte Strategietraining erhielt. Entsprechende Maßnahmen zur Vergleichbarkeit der Gruppen durch die Reduzierung von äußeren Störeinflüssen werden in diesem Kapitel eruiert.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen soll evaluiert werden, wie stark das Strategietraining die abhängige Variable *mechanisch-mathematische Modellierungskompetenz* (unterteilt in das Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik sowie die Anwendung dieses Kreislaufs auf Statikaufgaben) beeinflusst. Die Gruppenzugehörigkeit wird als unabhängige Variable festgesetzt.

Zur Verdeutlichung dient folgende Tabelle (s. Tabelle 7-1):

Tabelle 7-1: Übersicht der zu untersuchenden Variablen

Unabhängige Variable: Gruppenzugehörigkeit	
Abhängige Variable: Mechanisch-mathematische Modellierungskompetenz	Strategietraining (Experimentalgruppe) Klassische Übung (Kontrollgruppe)
Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik	Lösen von Statikaufgaben zu den Inhaltsbereichen
Anwendung des Modellierungskreislaufs auf Statik-aufgaben	Kräftesysteme, Gleichgewicht (Lager & Gelenke), Schnittgrößen und Fachwerke

Zudem sind zur Kontrolle der Störeinflüsse die Note der Hochschulzugangsberechtigung (HZB) und die Mathematik-Abschlussnote erfasst worden, um das Anfangsniveau der Studierenden je Gruppe zum Prä-MZP zu erfassen und damit eine Vergleichbarkeit der Gruppen sicherzustellen.

Da bisher keine Testinstrumente existieren, welche das spezifische Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik deklarativ oder die für Statik spezifischen Modellierungsschritte beim Lösen von Statikaufgaben erfassen, sind im Rahmen dieser Studie die Testinstrumente neu entwickelt worden (vgl. Kapitel 9.4).

Diese Testinstrumente zur Bewertung des Lehrkonzeptes werden in der ersten und letzten Vorlesungswoche implementiert, damit ein Prä-Post-Vergleich (vor und nach der Intervention) erfolgen kann. Die Effekte des Strategietrainings sollen folglich nicht nur durch den Gruppenvergleich der Post-Leistungen bewertet, sondern auch gezielter kontrolliert werden. So soll bei validen Testergebnissen zum Prä-Messzeitpunkt der Leistungszuwachs im zeitlichen Verlauf im Rahmen des Prä-Post-Vergleichs erfasst werden, um das Anfangsniveau der Studierenden zu berücksichtigen.

Es gelten dieselben Rahmenbedingungen für beide Gruppen (vgl. Abschnitt 7.1.2 oder auch Kapitel 8.1), um die Vergleichbarkeit der Gruppen sicherzustellen und damit den Lernzuwachs gezielter auf das Strategietraining zurückführen zu können. Eine detaillierte Beschreibung der Testinstrumente und der Datenerhebung wird in Kapitel 9 gegeben.

Das Setting im Prä-Post-Vergleich soll in nachfolgender Abbildung (s. Abb. 7-1) aufgezeigt werden.

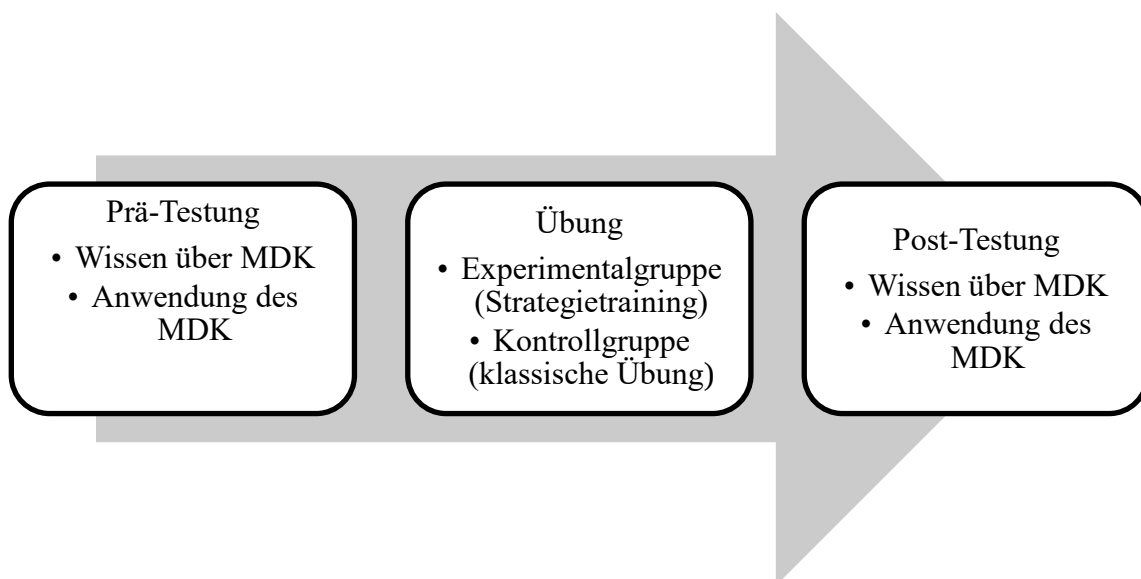


Abbildung 7-1 Prä-Post-Setting im Rahmen der Studie

Die Prä-Tests fanden in der zweiten Vorlesungswoche statt. Anschließend erhielten die Studierenden das jeweilige Übungskonzept in den Übungsgruppen (klassische Übung oder Strategietraining) wöchentlich im Laufe des Semesters und absolvierten die Post-Tests in der letzten Vorlesungswoche.

7.1.2 Methodische Rahmenbedingungen des Kontrollgruppensdesigns

In diesem Kapitel werden die organisatorischen Rahmenbedingungen der Intervention für eine valide Evaluation der Forschungsfragen dargestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einfluss eines Strategietrainings auf die Modellierungskompetenz in der Statik von Studierenden des Studiengangs Maschinenbau an der Hochschule Ruhr West untersucht. Die Hauptstudie erfolgte im Wintersemester 2023/2024. In die Interventionsstudie sind alle Maschinenbaustudierenden, die sich im Wintersemester 2023/2024 für den Kurs *Mechanik I* via Hochschulportal selbstständig angemeldet haben, einbezogen worden. Die Intervention erfolgte über ein gesamtes Semester, die Stichprobe teilte sich in zwei Gruppen (Experimental- und Kontrollgruppe).

Der Kurs bestand aus den Lehrveranstaltungsformaten Vorlesung, Übung und Praktikum. Das Praktikum ist eine gesonderte Prüfungsleistung, die für alle Studierenden gleichermaßen zu absolvieren ist, sodass es in dieser Studie nicht berücksichtigt wird.

Insgesamt existierten neun Übungseinheiten für das Strategietraining. Bei der Durchführung der Übungen ist darauf geachtet worden, dass die wöchentlichen Veranstaltungen synchron abliefen (vgl. Kapitel 8). Da es sich bei der Übung um eine Veranstaltung mit Anwesenheitspflicht handelte, erfolgte eine Überprüfung der Teilnahme an der Übung seitens der Lehrperson durch die Kontrolle der Studierendenausweise zu Anfang der Übung. Damit konnte die eindeutige Differenzierung zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe als gegeben angenommen werden.

Des Weiteren wurden Maßnahmen zur Vergleichbarkeit der Gruppen ergriffen. Es wurde darauf geachtet, dass alle Gruppen eine gleichwertige fachliche Unterstützung erhielten. Diese wurde durch eine gleiche Aufteilung zwischen Interaktionszeit und Selbstbearbeitungszeit sowie durch die Bearbeitung der gleichen Aufgaben in den Gruppen (s. auch Kapitel 8.3 und 8.4) gewährleistet.

Zudem erfolgte eine zufällige Zuweisung der Teilnehmenden zu den Gruppen, um sicherzustellen, dass beide Gruppen zu Beginn der Studie vergleichbar waren und keine systematische Gruppenbildung erfolgte. Hier muss angemerkt werden, dass resultierend aus weniger flexiblen Stundenplänen für duale Studierende ein Großteil der dualen Studierenden in der Experimentalgruppe angemeldet waren. In den nachfolgenden Analysen wird ein möglicher Verzerrungsfaktor im Rahmen dieser Arbeit gesondert mithilfe der Mathematiknote, der Note der Hochschulzugangsberechtigung sowie dem Vorwissen in Mechanik (gemessen an dem Wissens- und dem Leistungstest für den Modellierungsprozess in Statik) kontrolliert. Sofern es keinen statistischen Unterschied in den Kontrollvariablen sowie den Testleistungen zwischen den dualen Studierenden und den regulären Studierenden gibt, verbleiben die dualen Studierenden in der Stichprobe, andernfalls werden sie aus der Stichprobe entfernt. Die Wiederholer des Kurses verteilten sich auf die Gruppen. Der Einfluss des Wiederholstatus wird ebenfalls gleichermaßen kontrolliert.

Ergänzend ist während der Stundenplanung auf ähnliche Übungszeiten und Räume geachtet worden. Zudem konnte aufgrund der gleichen Lehrperson (der Doktorandin) in den Übungsgruppen eine Vermeidung von weiteren Störeinflüssen auf die Intervention wie persönliche Merkmale oder Lehrstil vermieden werden.

7.2 Zusammenfassung

Dieses Kapitel beschrieb das methodische Vorgehen und Forschungsdesign der Studie, welche zur Beantwortung der Forschungsfragen (vgl. Kapitel 6) durchgeführt wurde. Die Studie basierte auf einem experimentellen Kontrollgruppendesign und untersuchte den Einfluss eines neu entwickelten Übungskonzeptes für die Statik (auch als Strategietraining bezeichnet) auf die Modellierungskompetenz von Maschinenbaustudierenden. Die Studierenden wurden in eine Experimentalgruppe (die das neue Strategietraining erhält) und eine Kontrollgruppe (die das klassische Übungskonzept nutzt) unterteilt.

Die Untersuchung fokussiert auf die Verbesserung des deklarativen Wissens über den Modellierungskreislauf in Statik und der Anwendung dieses Modellierungskreislaufs bei der Lösung von Statikaufgaben.

Das methodische Vorgehen umfasst eine Interventionsstudie mit einem Prä-Post-Vergleich, bei dem die Teilnehmenden vor und nach der Intervention mithilfe neu entwickelter Testinstrumente hinsichtlich der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz getestet werden, um den Einfluss des Strategietrainings zu messen. Um die Anfangsbedingungen zu berücksichtigen, werden die Lernzuwächse beider Gruppen mithilfe der Testergebnisse vom Prä- und Post-Messzeitpunkt erfasst und miteinander verglichen. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Gruppen wurden weitere Maßnahmen wie eine zufällige Zuweisung der Studierenden zu den Gruppen und eine gleiche fachliche Unterstützung in beiden Gruppen getroffen. Auch das Einbeziehen ähnlicher Übungszeiten und Räume sowie der gleichen Lehrperson ist berücksichtigt worden. Die methodischen Rahmenbedingungen wurden genau beschrieben. Ein besonderer Fokus wird im Folgenden auf die Validität der Ergebnisse gelegt, um Verzerrungen zu vermeiden und den Einfluss des Strategietrainings präzise zu evaluieren. Im Rahmen der Auswertung werden dabei weitere Verzerrungsfaktoren anhand der erfassten Kontrollvariablen (Note der Hochschulzugangsberechtigung sowie Mathematiknote) und dem Einfluss des Studiengangs (duale Studierende oder reguläre Maschinenbaustudierende) geprüft.

8. Übungskonzept für die Statik

Als zentrales Element dieser Arbeit gilt die Entwicklung eines neuen Übungskonzeptes für die Statik. Dieses Kapitel soll zunächst die Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung darlegen (Kapitel 8.1) und anschließend den Aufbau des neuen Übungskonzeptes aufzeigen (Kapitel 8.2). Letztlich soll das Strategietraining mit dem klassischen Übungskonzept, welches in Kapitel 8.3 erläutert wird, kontrastiert werden.

Mit dem neu entwickelten Übungskonzept für die Statik wird intendiert, die Modellierungskompetenz der Studierenden in der Statik zu fördern. Durch kontinuierliches Aufzeigen sowie Reflektieren des Modellierungskreislaufs zum Lösen von Statikaufgaben und der Verwendung von Lösungsplänen in einer interaktiven Umgebung soll die Modellierungskompetenz verbessert werden.

8.1 Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den Aufbau des Statik-Kurses an der Hochschule Ruhr West, in dem die Untersuchung verortet ist. Anschließend wird der Aufbau der Übung, in der das Kontrollgruppendesign implementiert wurde, erläutert.

8.1.1 Aufbau des Statik-Kurses

Die Studie wurde im Grundlagenkurs Mechanik 1 (Statik) des Studiengangs Maschinenbau an der Hochschule Ruhr West (HRW) durchgeführt. Die Inhalte des Kurses richten sich an die Lernziele (vgl. Kapitel 2.1) und beziehen sich auf die Inhaltsbereiche Kräftesysteme, Gleichgewicht am starren Körper (Lager und Gelenke), Fachwerke und Schnittgrößen. Der Kurs teilt sich auf in zwei Semesterwochenstunden (SWS) Vorlesung und zwei SWS Übung. Zudem zählt eine SWS Praktikum zu diesem Kurs, welches aber unabhängig von der Intervention ist. Die Vorlesung fungiert als Basis für die Übungsaufgaben und dient der Wissensvermittlung über die Inhalte in der Statik. Sie ist für alle Studierenden freiwillig zugänglich, ohne Separierung der Gruppen. Das Vorlesungsmaterial ist unbetroffen von der Intervention und besteht aus Präsentationsfolien. Die Vorlesung orientiert sich an einem klassischen Frontalunterricht mit einzelnen Interaktionselementen wie z. B. das Einbinden der Studierenden bei der Besprechung von exemplarischen Rechenaufgaben. Diese in der Vorlesung eingebundenen Aufgaben werden durch die Lehrperson vorgestellt und dienen der deklarativen Wissensvermittlung.

Die Vorlesungsunterlagen sowie die Übungsblätter sind wöchentlich via Moodle zur Verfügung gestellt worden. Die Übung soll weiterhin als Lehrveranstaltung zur Implementierung eines Übungskonzeptes dienen. Sie fokussiert das Bearbeiten von Übungsaufgaben und schließt neben den Rechnungen auch Fragen und Diskussionen zu diesen Aufgaben ein. Das klassische Übungsformat gestaltet sich häufig so, dass Studierende wöchentlich Übungsaufgaben vorgestellt bekommen und diese dann von den Studierenden erarbeitet und anschließend mit der Lehrperson besprochen werden (Direnga, 2021). Diese Vorgehensweise wurde beibehalten und als Ausgangspunkt für die Intervention verwendet. Die Übungsaufgabenblätter sind für alle Gruppen gleichermaßen zur Verfügung gestellt worden. Das Lernmaterial in der Übung unterscheidet sich in den Gruppen (vgl. Kapitel 8.2.3 und 8.3). Die Vorgehensweise und Darstellung zur Erarbeitung der Übungsaufgaben differenzieren sich ebenfalls in der Kontroll- und Experimentalgruppe (vgl. Kapitel 8.2.3 und 8.3).

8.1.2 Aufbau der Übungen im Statik-Kurs

Die Übung fand i.d.R. wöchentlich in den Seminarräumen der Hochschule Ruhr West statt. Die Übungsdauer betrug 95 Minuten je Sitzung für jede Gruppe. Die Experimentalgruppe erhielt das Strategietraining, bei der Kontrollgruppe ist das klassische Übungskonzept eingesetzt worden. Die Beschreibung des klassischen Übungskonzeptes erfolgt in Kapitel 8.3. Alle Studierenden erhielten dieselben Aufgaben und dieselbe Bearbeitungszeit, um eine Vergleichbarkeit der Gruppen zu realisieren und faire Lernbedingungen zu erreichen (vgl. auch Kapitel 8.2.2 und Kapitel 8.3).

8.2 Aufbau des Strategietrainings

In diesem Kapitel werden zunächst die Ziele und Elemente des hier entwickelten Strategietrainings dargestellt (Kapitel 8.2.1) und anschließend eine Beschreibung des Strategietrainings basierend auf diesen Zielen und Elementen gegeben (Kapitel 8.2.2). Das Kapitel schließt mit der Beschreibung des im Strategietraining verwendeten Lernmaterials (Kapitel 8.2.3) ab.

8.2.1 Ziele und Elemente des Strategietrainings

Entsprechend der Forschungsfragen ist das Ziel der Intervention die Vermittlung einer Modellierungskompetenz in TM beim Lösen von Statikaufgaben (vgl. Kapitel 1 und 6) durch das Erkennen und Ausführen der Schritte des Modellierungskreislaufs in Statik.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein Strategietraining mit dem Fokus auf der Förderung der Modellierungskompetenz beim Bearbeiten von Statikaufgaben entwickelt worden. Folgende Lernziele sollen mit dem Strategietraining erreicht werden (s. Tabelle 8-1):

Tabelle 8-1 Lernziele des Strategietrainings

Lehrinhalte	Lernziele
Thema & Lehrinheit 1: Zentrales Kräftesystem	Die Studierenden können...
Thema & Lehrinheit 2: Gleichgewicht am Punkt	
Thema & Lehrinheit 3: Allgemeines Kräftesystem	
Thema 4: Gleichgewicht am starren Körper	<ul style="list-style-type: none"> • die Modellbildung (Überführung der Aufgabe in zunächst physikalisches und dann mechanisches Modell anhand von Reflexion über das physikalische Modell, die Idealisierungen und damit das Erkennen aller relevanten Größen: Belastungen, Geometrie, Lagerarten) bei Aufgaben jedes Inhaltsbereiches beschreiben und analysieren
Lehrinheit 4: Lager & Momente	
Lehrinheit 5: Gelenke	<ul style="list-style-type: none"> • den Modellierungskreislauf inklusive aller Schritte für den jeweiligen Inhaltsbereich (Lehrinheit [...]) benennen und beschreiben
Thema 5: Schnittgrößen	
Lehrinheit 6: Schnittgrößen 2D	<ul style="list-style-type: none"> • alle Schritte des Modellierungskreislaufs zusammenhängend in dem jeweiligen Inhaltsbereich (Lehrinheit [...]) auf Aufgabenstellungen aus dem Inhaltsbereich anwenden
Lehrinheit 7: Schnittgrößen 3D & Verläufe	
Thema 6: Fachwerke	
Lehrinheit 8: Bildungsgesetze und Knotenpunktverfahren	
Lehrinheit 9: Ritterschnittverfahren & 3D-Fachwerke	

Mithilfe vorgegebener Struktur soll der Ablauf des Lösungsprozesses, also die Schritte des Modellierungskreislaufs, verinnerlicht und anschließend durch das Aneignen dieses methodischen Schemas angewendet werden können. Der erste Schritt besteht in dem Sichtbarmachen des Modellierungskreislaufs und fokussiert das deklarative Wissen.

Hierzu wird der MDK erst für den Inhaltsbereich allgemein vorgestellt und anschließend anhand vorgegebener Aufgabenlösungen reflektiert (vgl. Kapitel 8.2.2). Der nächste Schritt umfasst die Anwendung des Kreislaufs unter Verwendung gegebener Strukturierungshilfen. Dafür sind folgende Elemente, die die Modellierungskompetenz basierend auf bisheriger Theorielage fördern sollen (vgl. Kapitel 2.3 und Kapitel 5), in das Strategietraining implementiert worden: das Wissen über den MDK, visuelle Hilfen als Advance Organizer sowie Strukturierungshilfen für die Strukturierung der Aufgabenlösungen mithilfe des Modellierungskreislaufs. Hierzu sind Lernaufgaben⁵ (Habig, van Vorst & Sumfleth, 2018), welche im Rahmen der Studie auch als strategischer Lösungsplan bezeichnet werden können (Vorgabe der in MDK-Schritten differenzierten, vorstrukturierten Aufgaben mit zugehörigen Teilaufgaben), eingesetzt worden. Zudem sind strukturierte Lösungsbeispiele sowie metakognitive Ansätze wie die Reflexion über den Modellierungsprozess und damit auch der verwendeten Modelle (Analyse der Modelle im ersten Schritt) sowie der Vergleich und die Diskussion der Modellierungskreisläufe zwischen den Inhaltsbereichen in das Strategietraining integriert worden.

Dabei sind des Weiteren Interaktionselemente wie Reflexions- und Verständnisfragen, Coaching, eine aktive selbstständige Bearbeitung der Aufgaben und direktes Feedback entlang des MDK in das Training integriert worden, um eine aktive Auseinandersetzung mit dem Modellierungskreislauf bei der Anwendung dieses Kreislaufs auf Statikaufgaben sicherzustellen.

Diese Elemente können dann für das Aufzeigen des gesamten Kreislaufs anhand der Übungsaufgaben sowie für das Strukturieren der Aufgaben genutzt werden. Durch das kontinuierliche visuelle Aufzeigen sowie Anwenden des Modellierungskreislaufs soll ein Erinnerungseffekt über die gleichbleibenden Schritte des Modellierungskreislaufs entstehen. Mithilfe des dann erinnerten Schemas und des verbesserten Modellverständnisses aufgrund der Reflexion und Diskussion über die gegebenen und erarbeiteten Modelle soll dann eine erfolgreiche Anwendung des MDK mit seiner immer gleichen Struktur auf neue Statikaufgaben erfolgen können.

⁵ Lernaufgaben stellen gestufte Aufgabenstellungen zur Verfügung (in Form von Erarbeitungs- und Transferaufgaben), vgl. Habig, van Vorst und Sumfleth (2018).

8.2.2 Struktur und Beschreibung des Strategietrainings

Die Experimentalgruppe hat insgesamt neun Strategietrainingseinheiten erhalten (zu jeder Lehreinheit, vgl. Tabelle 8-1). Im Folgenden soll der über die Lehreinheiten konstante Aufbau des Strategietrainings aufgezeigt werden (vgl. Tabelle 8-2).

Tabelle 8-2 Ablauf des Strategietrainings

Aufbau einer Lehreinheit im Strategietraining	Zeit [Minuten]
1. Wiederholung Vorlesung/Formeln	5
Einstieg:	
2. Einführung des Modellierungskreislaufs allgemein je Inhaltsbereich	5
3. Vergleich zu vorherigem Modellierungskreislauf	5
4. Reflexion des Modellierungskreislaufs anhand von Beispielaufgabe	10
Durchführung:	
5. Vorgabe Teilaufgaben & Differenzierung in MDK-Schritte Aufgabe 1	20

Selbsterarbeitungsphase Aufgabe 1	
6. Reflexion vorgefertigter Musterlösung nach MDK strukturiert und Abgleich Studierendenlösungen	10
7. Vorgabe Teilaufgaben & Differenzierung in MDK-Schritte Aufgabe 2	20

Selbsterarbeitungsphase Aufgabe 2	
8. Reflexion vorgefertigter Musterlösung nach MDK strukturiert und Abgleich Studierendenlösungen	10
Abschluss:	
9. Abgleich MDK von Aufgabe 1 und 2	5

Zu Beginn der Übung erfolgte die Kontrolle der Studierendenausweise. Dieser Prozess nahm ca. 5 Minuten in Anspruch. Anschließend startete die Übung nach dem oben angegebenen Ablauf. Dieser wird im Folgenden detailliert erläutert.

Zunächst erhielten die Studierenden eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Zusammenhänge aus der Vorlesung (**Schritt 1**). Dieser Schritt ist sowohl in der Experimental- als auch der Kontrollgruppe gleichermaßen erfolgt (vgl. Kapitel 8.3). Das Strategietraining fokussiert sich auf den Modellierungskreislauf zum Lösen von Statikaufgaben, sodass dieser Kreislauf das Basiselement des Trainings ist. Zunächst erfolgt im Rahmen des **2. Schrittes** eine Einführung in den für den Inhaltsbereich allgemeinen Modellierungskreislauf (vgl. Kapitel 8.2.3), welcher die Gemeinsamkeiten für alle zu diesem Inhaltsbereich zugeordneten Aufgabentypen aufzeigt. Nach Besprechung dieses Kreislaufs erfolgt (ab der zweiten Trainingseinheit) der Vergleich zum Modellierungskreislauf des vorherigen Themas (**Schritt 3**). Hier sind Fragen wie „Wo unterscheidet sich dieser MDK zu dem von letzter Woche zum Thema X?“, „Warum unterscheidet sich der Kreislauf an der Stelle?“ gemeinsam im Plenum diskutiert worden.

Der nächste Schritt (**Schritt 4**) des Strategietrainings besteht in der Reflexion des MDK anhand der aufbereiteten, nach MDK-Schritten strukturierten Musterlösung einer eher anspruchsvollen Beispielaufgabe (Dammann, 2016a, 2016c). Hier sind die einzelnen Schritte aufgezeigt sowie deren Lösung differenziert dargestellt. Es wird der gesamte Modellierungsprozess reflektiert. Diese Reflexion startet mit der Analyse der Aufgabenstellung und des gegebenen Systems, also dem gegebenen physikalischen Modell, und damit dem Verstehen der Aufgabenstellung. Die Reflexion dehnt sich über eine Differenzierung zwischen physikalischem, mechanischem und mathematischem Modell bis hin zur Reflexion des Ergebnisses aus. Im Rahmen der Modellanalyse wird das in der Aufgabe gegebene physikalische Modell von der Realität abgegrenzt und im Kontext eingeordnet, um es anschließend in ein mechanisches Modell zu überführen. Dafür sind Idealisierungen und gegebene und gesuchte Größen zu reflektieren. Anschließend erfolgt die Diskussion über das Ableiten des mechanischen Modells in ein mathematisches Modell, welches mathematisch gelöst werden muss, um ein Ergebnis für die gesuchte/n Größe/n zu ermitteln (vgl. Kapitel 3). Eine visuelle Differenzierung zwischen diesen Schritten ist notwendig, um das Erkennen des Modellierungskreislaufs in TM zu unterstützen. Der letzte Teilaspekt ist die Reflexion der Aufgabenlösung, die im Kontext der Aufgabenstellung eingeordnet werden muss.

An die Besprechung der Beispielaufgabe schließt sich die erste Anwendung seitens der Studierenden an (**Schritt 5**). Die erste Aufgabe des Inhaltsbereichs wird mit allen zu bearbeitenden Teilaufgaben, differenziert in die Teilschritte des Modellierungskreislaufs, aufgezeigt und kurz vorgestellt, sodass anschließend die erste Selbsterarbeitungsphase beginnen kann.

Während dieser Phase werden die Studierenden von der Lehrperson in ihrem individuellen Bearbeitungsprozesses unterstützt, indem individuell Hinweise bei Fragen und Feedback zu den jeweiligen Modellierungsschritten gegeben werden. Hierbei ist darauf geachtet worden, dass bei jeder Teilaufgabe bewusst gemacht wurde, welchem Schritt diese zuzuordnen ist und bei jeder Frage diskutiert wurde, was bei welchem Schritt passiert. Das kontinuierliche Bewusstmachen der Schritte ist von der Lehrperson fokussiert worden und es sind schrittweise Hilfestellungen erteilt worden, die immer auf den jeweiligen Lösungsschritt in der vorgegebenen Struktur referenziert haben. Somit erfolgt ein kontinuierliches Verweisen auf die Teilaufgaben, welche während der gesamten Bearbeitung sichtbar waren. Damit konnte sichergestellt werden, dass jeder Schritt des Kreislaufs bewusst durchgeführt wurde und folglich kein Schritt bei der Aufgabenbearbeitung übersprungen wurde.

Im weiteren Verlauf des Strategietrainings (**Schritt 6**) ist eine Reflexion der von der Lehrperson vorab vorgefertigten MDK-Musterlösung im Plenum ähnlich wie bei der Diskussion der Beispielaufgabe erfolgt. Dabei ist ein Abgleich mit den Lösungen der Studierenden durchgeführt worden. Dabei sind folgende Fragen diskutiert worden: „Wo gab es Probleme oder Abweichungen und warum?“, „Wo gibt es Verständnislücken?“, „Wie kann das mit dem MDK und den verwendeten Modellen erklärt werden?“.

Anschließend wiederholen sich im Rahmen von **Schritt 7 und 8** die Schritte 5 und 6 für die zweite Aufgabe. Den **Abschluss** des Strategietrainings bildet der Abgleich zwischen den angewendeten MDKs beider Aufgaben (**Schritt 9**). Hier sind Fragen wie „Wo liegen Unterschiede auf Aufgabenebene im gleichen Themenbereich und wieso?“, „Was können wir demnach für dieses Thema festhalten?“ gemeinsam im Plenum interaktiv diskutiert worden.

Mithilfe dieses gleichbleibenden Ablaufs des Strategietraining über die Semesterwochen wird die stetige Besprechung und Erarbeitung der nach MDK-vorstrukturierten Übungsaufgaben ermöglicht. Für jeden Inhaltsbereich erfolgt der oben vorgegebene Erarbeitungszyklus. Das Strategietraining beinhaltet, wie im Ablauf beschrieben, die oben definierten Elemente (vgl. Abschnitt 8.2.1): Das Wissen über den MDK wird in Schritt 2 und 3 vermittelt, die Darstellung des Kreislaufs als visuelle Orientierungshilfe erfolgt in Tabellenform für die Schritte 4 bis 8, also bei der Darstellung des MDK in der Beispielaufgabe, in den Teilaufgaben-Darstellungen sowie in denen der Musterlösungen. Die strukturierten Lösungsbeispiele sind in Schritt 4, 6 und 8 wiederzufinden, als strategischer Lösungsplan kann hier die Vorgabe der vorstrukturierten Teilaufgaben angesehen werden (Schritt 5 und 7). Das Einbinden metakognitiver Aspekte wie die Reflexion über die Prozesse und auch der Vergleich zwischen den Modellierungskreisläufen wird in Schritt 3,4,6 und 8 integriert.

Anfangs konnten starke mathematische Probleme bei den Studierenden beider Gruppen festgestellt werden, die sich ab durchschnittlich Vorlesungswoche (VW) 6 deutlich in beiden Gruppen reduziert haben. Da die Mathematikleistung stark mit der Leistung in TM korreliert (vgl. Dammann & Lang, 2017), führen die überwiegend zu Beginn des Semesters auftretenden mathematischen Wissenslücken bei den Studierenden zu Problemen in der Mechanik. Das Verständnis sowie die Anwendung des MDK in TM werden bei mathematischen Defiziten stark beeinträchtigt. Durch ständiges Aufzeigen und die sichtbare Differenzierung zwischen Mathematikinhalten und Mechanikinhalten sowie durch das ständige Auffordern des Nachholens der Mathematik-Wissenslücken konnten hier schnell Verbesserungen erzielt werden. Die Lehrperson wies mehrfach darauf hin, dass das erfolgreiche Bearbeiten von Mechanikaufgaben nur mit den gängigen mathematischen Methoden möglich sei. Des Weiteren hat die Lehrperson im Moodlekurs Links zu weiteren Übungsaufgaben aus dem MathWeb zu den beobachteten mathematischen Problemen (Trigonometrie und Gleichungssysteme) bereitgestellt und beworben.

Es wurde wöchentlich fortlaufend sichergestellt, ob der Detaillierungsgrad der Vorstrukturierung der Aufgaben zu dem Leistungsstand der Studierenden passt. Ein Feedback zum Strategietraining wurde zwischenzeitlich über Gespräche und Diskussionen mit Studierenden und durch Beobachtungen formativ eingeholt. Die Anpassung des Trainings ist demnach individuell während des Semesters durch intensivere Beratung der leistungsschwächeren Studierenden, anwenderorientiertes Feedback, vermehrtes konstruktives Anleiten der leistungsschwächeren Studierenden und das flexible Reduzieren der Struktur erfolgt. Aufgrund ansteigender Komplexität der Inhalte ist diese Reduzierung der Anzahl der Teilaufgaben je Modellierungsschritt erst ab dem letzten Thema umgesetzt worden.

Letztlich ist es wichtig, dass auch ohne die Vorgabe der Teilaufgaben (die sich an den Modellierungsschritten orientieren) neue Statikaufgaben eigenständig gelöst werden können. Daher soll ein sogenannter Scaffolding-Ansatz verfolgt werden (Schukajlow et al., 2015; Woitkowski, 2018), der es ermöglicht, nach längerfristiger Einübung des Modellierungskreislaufs diese Struktur schrittweise wieder aufzulösen. Aufgrund der ansteigenden Komplexität der Inhalte über die Semesterwochen ist eine Reduktion der Struktur in den vorgegebenen Übungsaufgaben erst in den letzten zwei Vorlesungswochen möglich gewesen.

8.2.3 Struktur des Lernmaterials für das Strategietraining

Basierend auf den in Dammann (2016) dargestellten Schwierigkeitsniveaus sind sowohl die Übungs- als auch Testaufgaben konstruiert worden. Die verwendeten Aufgaben im Rahmen der Intervention sind iterativ über mehrere Semester eingesetzt und optimiert worden, um die Aufgaben passend zu den Inhaltsbereichen und Schwierigkeitsniveaus fehlerfrei zur Verfügung stellen zu können. Die für beide Gruppen identischen Übungsaufgabenblätter wurden den Studierenden online zur Verfügung gestellt.

Für die Übungsaufgaben in der Experimentalgruppe, die im Rahmen des Strategietrainings verwendet wurden, soll im Folgenden die Struktur des Lernmaterials aufgezeigt werden. Das Lernmaterial diene der Umsetzung des Strategietrainings unter Berücksichtigung der beschriebenen Elemente (s. Abschnitt 8.2.1).

Der in Kapitel 3 dargestellte Modellierungskreislaufs in TM ist gänzlich in die Konzeption der Übungsaufgaben für das Strategietraining integriert worden, da alle Aufgaben und Musterlösungen nach diesem Kreislauf strukturiert wurden. Hierbei sind alle Aufgabenstellungen und Musterlösungen in die Schritte des Modellierungskreislaufs untergliedert worden. Diese Schritte sind nummeriert, visuell voneinander getrennt und somit eindeutig zuzuordnen (vgl. Tabelle 8-5). Bei jeder Teilaufgabe ist die Zuordnung zu den jeweiligen Schritten des Modellierungskreislaufs mithilfe einer Tabelle dargestellt worden. Mithilfe dieser Tabelle als visuelles und strukturelles Element soll das schrittweise Lösen der Aufgabe durch das Separieren in Teilaufgaben als Orientierungs- und Strukturhilfe unterstützt werden.

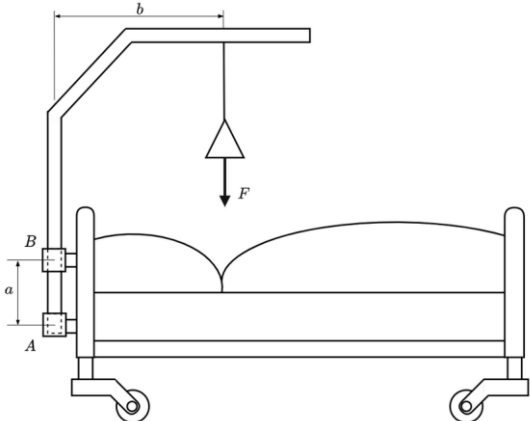
Zunächst wird exemplarisch für die Lehreinheit Gleichgewicht am starren Körper die Strukturvorgabe des für den Inhaltsbereich allgemeinen Modellierungskreislaufs (Schritt 2 des Ablaufs s. 8-2) dargestellt (s. Tabelle 8-3):

Tabelle 8-3 Strukturvorgabe des Modellierungskreislaufs für den Inhaltsbereich Gleichgewicht am starren Körper (Lehreinheiten Lager & Gelenke)

Modellierungsschritt	Inhalt
1. Aufgabe	Aufgabenstellung: Lager- und Gelenkkräfte gesucht, evtl. fehlende Einzelkraft gesucht
2. Freischnitt	Mechanisches Modell als Skizze mit Kräften, Komponentenzerlegung, Winkelangabe, Momenten, Lagerkräften, Teilsysteme mit Gelenkkräften
3. Kräfte- und/ Momentensummen	Kräfte- und Momentensumme: $\sum F_{x,i} = 0, \sum F_{y,i} = 0, \sum M_i = 0$
4. Mathematisches Modell/ Formeln	$A_x = \dots, A_y = \dots B_x = \dots, B_y = \dots,$ $G_x = \dots, G_y = \dots$
5. Lösung	Werte für $A_x, A_y, B_x, B_y, G_x, G_y \dots$
6. Reflexion	Begründung des Ergebnisses: z. B. Summe aller äußeren Kräfte müssen von den Lagern in Summe aufgenommen werden. Vorzeichen und Richtung zu gegebenen Eingangsgrößen abgleichen.

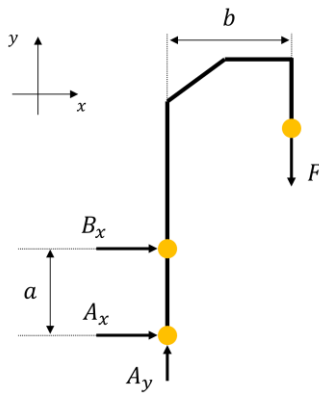
Anschließend soll in Tabelle 8-4 eine Strukturübersicht über die vorgegebenen Aufgabenstellungen, die im Strategietraining in **Schritt 5** und **7** verwendet wurden, gegeben werden.

Tabelle 8-4 Struktur der Aufgabenstellung im Strategietraining zur Lehrinheit Lager

Modellierungsschritt	Inhalt
1. Aufgabe mit gegebenem physikalischem Modell	<p>An einem Krankenhausbett ist, wie skizziert, ein Rahmen zum Festhalten der Patienten befestigt.</p>  <p>Bestimmen Sie die Auflagerkräfte in den Lagern A und B. Vernachlässigen Sie das Eigengewicht des Bettes inklusive aller Komponenten.</p> <p>Gegeben sind folgende Werte: $F = 600 \text{ N}$; $a = 300 \text{ mm}$; $b = 500 \text{ mm}$</p>
2. Mechanisches Modell (Freischnitt)	<ul style="list-style-type: none"> - Markieren Sie alle Kraftangriffspunkte und den Drehpunkt. - Zeichnen Sie die Lagerkräfte ein.
3. Kräftebilanz/ Momentensumme	<p>Stellen Sie die Kräfte- und Momentensummen auf:</p> $\sum F_{x,i} = 0, \sum F_{y,i} = 0, \sum M_{B/A} = 0$
4. Mathematisches Modell (Formeln)	<p>Stellen Sie die Summen jeweils nach den gesuchten Größen B_x, A_x, A_y um:</p> $\sum M_A \Rightarrow B_x = \dots, \sum F_{x,i} \Rightarrow A_x = \dots \sum F_{y,i} \Rightarrow A_y = \dots$
5. Lösung	<p>Berechnen Sie durch Einsetzen der geg. Werte die gesuchten Lagerreaktionen B_x, A_x, A_y.</p>
6. Reflexion	<p>Reflektieren Sie Ihr Ergebnis: Vergleichen Sie z. B. die äußeren Belastungen mit den Lagerreaktionen</p>

Letztlich wird ein Einblick in Tabelle 8-5 in die Struktur der Musterlösungen, die im Strategietraining in **Schritt 4,6** und **8** verwendet wurden, gegeben.

Tabelle 8-5 Struktur der Musterlösung für eine Aufgabe aus der Lehrinheit Lager

Modellierungsschritt	Inhalt
1. Aufgabe mit gegebenem physikalischem Modell	Gesucht: $B_x, A_x, A_y \Rightarrow$ Erkennen der Lagerung (A: Festlager, B: Loslager) als Modellverständnis Analyse der geg. Werte: Gleichgewicht \Rightarrow keine Bewegung, GGW-Bedingungen, äußere Kraft: $F, F_G = 0$. Reflexion Modell: abgewinkeltes Balkensystem, die Kraft F muss in A und B aufgenommen werden.
2. Mechanisches Modell (Freischnitt)	
3. Kräftebilanz/ Momentensumme	$\mathcal{U}_A: -B_x \cdot a - F \cdot b = 0$ $\rightarrow: B_x + A_x = 0$ $\uparrow: A_y - F = 0$
4. Mathematisches Modell (Formeln)	$(\mathcal{U}_A): B_x = \frac{-F \cdot b}{a}$ $(\rightarrow): A_x = -B_x$ $(\uparrow): A_y = F$
5. Lösung	$A_y = 600 \text{ N}, A_x = 1.00 \text{ kN}, B_x = -1.00 \text{ kN}$
6. Reflexion	A und B nehmen die Kraft F und das aus der Kraft resultierende Moment auf. Die x-Komponente von B ist falsch herum angenommen worden und zeigt eigentlich nach links, um der Drehbewegung entgegenzuwirken.

Mithilfe dieser tabellarischen Strukturvorgaben ist eine klare Differenzierung der MDK-Schritte intendiert worden. Diese visuell identische Aufbereitung der Übersicht über den themenspezifischen allgemeinen Modellierungskreislauf, über die Beispielaufgaben, die Aufgabenstellungen bis zu den Musterlösungen sollte eine optische Hilfe bieten, solch einen Erinnerungseffekt dieser Struktur zu unterstützen (vgl. Kapitel 5).

8.3 Klassisches Übungskonzept

In diesem Abschnitt soll zunächst die Durchführung des klassischen Übungskonzeptes für die Statik, welches die Kontrollgruppe erhalten hat, anhand des Ablaufs beschrieben (vgl. Tabelle 8-6) und anschließend das verwendete Lernmaterial kurz erläutert werden.

Im klassischen Übungskonzept sind dieselben Übungsaufgaben unter den gleichen Rahmenbedingungen wie Zeit, Ort oder Gruppengröße (s. Kapitel 7.1.2) besprochen und von den Studierenden erarbeitet worden. Das Bearbeiten von klassischen Übungsaufgaben mit Vorrechen- und Selbstrechenanteilen ist Fokus dieses Konzeptes. Der Ablauf einer klassischen, wöchentlich gleichbleibender Übungssitzung mit der Kontrollgruppe ist in Tabelle 8-6 dargestellt:

Tabelle 8-6 Ablauf der klassischen Übungssitzung mit der Kontrollgruppe

Aufbau Übungseinheit in der Kontrollgruppe	Zeit [Minuten)
1. Wiederholung Vorlesung/Formeln	5
Einstieg:	5
2. Formelzusammenfassung des Inhaltsbereichs	
3. Vorstellung einer Beispielaufgabe	15
Durchführung:	20
4. Selbsterarbeitungsphase Aufgabe 1	
5. Reflexion des Ergebnisses im Kontext der Aufgabe, Reflexion der Aufgabenstellung	10
6. Selbsterarbeitungsphase Aufgabe 2	20
7. Reflexion des Ergebnisses im Kontext der Aufgabe, Reflexion der Aufgabenstellung	10
Abschluss:	5
8. Zusammenfassung des Inhaltsbereichs	

Das reguläre Übungskonzept umfasst ebenfalls eine kurze Wiederholung der Vorlesungsinhalte, das Anschreiben relevanter Inhalte und Formeln an die Tafel, das Vorstellen einer Beispielaufgabe mit Lösung (ohne das explizite Nennen oder Aufzeigen des Modellierungskreislaufs) und je Aufgabe eine kurze mündliche Erläuterung zum Vorgehen der weiteren Aufgaben.

Auch hier wurde die Lösung der Aufgaben im Plenum besprochen und gemeinsam das Ergebnis der Aufgaben im Rahmen der Aufgabenstellung reflektiert, aber nicht explizit der Lösungsprozess selbst. Die Lehrperson hat während der Bearbeitungszeit der Aufgaben aktiv und individuell Fragen zum Vorgehen gestellt und Feedback zur Korrektheit der Aufgabebearbeitung gegeben.

Es ist anzumerken, dass der Anteil zwischen Vorstellung seitens der Lehrperson und Selbsterarbeitung durch die Studierenden auch hier gleich zur Experimentalgruppe gehalten wurde. Auch der Umfang des Feedbacks und der Korrektur beim Lösen der Aufgaben ist identisch zur Experimentalgruppe. Der Unterschied zwischen den Gruppenkonzepten liegt darin, dass in der Kontrollgruppe nicht explizit auf das Modellierungsschema oder die einzelnen Schritte verwiesen wurde. Auch die Reflexionsansätze sind von der Lehrperson vorgestellt worden, diese sind aber nicht explizit einem Schritt als Teil des Lösungsprozesses einer Aufgabe zugeordnet worden.

Das verwendete Lernmaterial besteht aus Übungsaufgabenblättern. Die Aufgabenstellungen sind wie folgt aufgebaut:

- Beschreibung des Systems,
- Skizze des Systems (Vorgabe des physikalischen Modells),
- Explizite Fragestellung nach der gesuchten Größe (direkt oder im Kontext) mit der Vorgabe, einen Freischnitt und Gleichgewichtsbedingungen zur Lösung zu verwenden,
- Angabe der gegebenen Werte.

Diese Übungsaufgaben werden zur gleichen Zeit für alle Studierenden via Moodle wöchentlich vor Veranstaltungsbeginn hochgeladen. Während der Übung werden die Aufgaben an die Wand projiziert.

8.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel sind die beiden unterschiedlichen Lehrkonzepte (klassisch sowie Strategietraining) zur Bearbeitung von Übungsaufgaben in der Statik miteinander verglichen worden. Hier ist zunächst die Lehrveranstaltung, in welcher die Intervention eingebunden wurde, dargestellt (Abschnitt 8.1) und anschließend das neu entwickelte Strategietraining mit den Lernzielen und Elementen des Trainings beschrieben worden, der Ablauf einer Übungseinheit in diesem Training aufgezeigt und das Lernmaterial (Abschnitt 8.2) dargestellt worden. Letztlich wurde dieses Konzept mit dem klassischen Übungskonzept (Abschnitt 8.3) kontrastiert.

9. Anlage der Untersuchung

Dieses Kapitel widmet sich der Beschreibung der empirischen Gestaltung der Studie. Zunächst werden die Rahmenbedingungen der Voruntersuchungen (siehe Abschnitt 9.1) sowie der Hauptuntersuchung (siehe Abschnitt 9.2) erläutert, in deren Verlauf die Datenerhebung stattgefunden hat. Anschließend werden zentrale Gütekriterien vorgestellt (siehe Abschnitt 9.3), die als Grundlage für die Bewertung der Datenerhebung und der eingesetzten Testverfahren dienen. Danach folgt eine detaillierte Darstellung der verwendeten Testinstrumente (siehe Abschnitt 9.4). Abschließend wird beschrieben, wie die erhobenen Daten aufbereitet wurden, um die Datenqualität zu gewährleisten (siehe Abschnitt 9.5). Die Ergebnisse der Untersuchung werden im darauffolgenden Kapitel im Rahmen der Evaluation vorgestellt.

9.1 Voruntersuchung

Die Voruntersuchungen für die vorliegende Studie sind bereits im Wintersemester 2018/2019 mit einer ersten Aufgabenanalyse gestartet, indem Studierende Feedback zu der Struktur der Modellierungsaufgaben und der Anzahl der Teilaufgaben gegeben haben (Lampe, Dorschu & Lang, 2020). Daraus wurde ein Konzept für die visuelle und inhaltliche Darstellung der Aufgaben entwickelt. Im Wintersemester 2020/2021 sind die Aufgaben in der Lehre im Maschinenbau-Studiengang eingesetzt worden, um die inhaltliche Richtigkeit der Aufgaben und die Schwierigkeiten beim Bearbeiten der Aufgaben erfassen zu können. An die durchgeführten Verbesserungen anschließend wurden weitere Voruntersuchungen hinsichtlich des Wissenstests (Testinstrument zur Erhebung des deklarativen Wissens über den Modellierungskreislauf in Statik) seit dem Wintersemester 2019/2020 kontinuierlich je Wintersemester und für das Strategietraining im Wintersemester 2022/2023 sowie für den Leistungstest im Rahmen einer Pilotierung im Sommersemester 2023 durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte erst ab dem Sommersemester 2023 gänzlich digital, da bei der Pilotierung der ersten Variante des Leistungstests in analoger Form zu viele Nachteile hinsichtlich des Aufgaben- und Zeitumfangs sowie der Auswertung im Wintersemester 2022/2023 wahrgenommen wurden. Die Ergebnisse der Pilotierungen der Testinstrumente werden im Rahmen der jeweiligen Beschreibung der Testinstrumente näher erläutert (siehe Abschnitt 9.5). Das Strategietraining kam erstmals im Wintersemester 2022/2023 im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau zum Einsatz und wurde seither optimiert. Dabei sind Rückmeldungen aus den wöchentlichen Übungssitzungen direkt in die Weiterentwicklung integriert worden.

Der Schwerpunkt lag dabei auf der Anpassung der Struktur an die spezifischen Anforderungen der Zielgruppe sowie auf der Optimierung der organisatorischen Abläufe. Dabei wurde erkannt, dass für die Hauptstudie die Teilnahme an der Übung verpflichtend werden sollte.

9.2 Hauptuntersuchung

Die Hauptstudie wurde im Wintersemester 2023/24 an der Hochschule Ruhr West in Mülheim an der Ruhr im Studiengang Maschinenbau durchgeführt. Die Intervention fand im Rahmen des Kurses *Mechanik I* (Statik) statt, welcher für den Studiengang Maschinenbau im ersten Semester angeboten wird. Von den ursprünglich 91 eingeschriebenen Teilnehmenden zu Beginn des Semesters schlossen 59 Studierende die Studie mit der letzten Testung ab (siehe Übersicht in Abschnitt 9.5).

Teilnahmeberechtigt für die gesamte Studie waren alle Studierenden, die sich für den Kurs angemeldet hatten, höchstens zwei versäumte verpflichtende Übungstermine im Semester aufwiesen und die vollständige Bearbeitung aller Testinstrumente vor und nach dem Semester durchführten. Diese Bedingungen wurden durch ein Prüfungsportfolio sichergestellt, in dem die Teilnahme an den Tests sowie an der Übung jeweils als Prüfungsteilleistung deklariert wurde und einzeln bestanden werden musste. Zum Post-MZP musste eine mindestens 30 %-ige Lösungsquote in den beiden Tests erreicht werden, um den Anreiz einer sachgerechten Bearbeitung zu erhöhen. Sofern eine Portfolioleistung nicht bestanden wurde, ist der Kurs mit der Note 5.0 bewertet worden. Das war der Fall, wenn an den Tests nicht teilgenommen wurde, Studierende mehr als zweimal oder unentschuldig in der Übung fehlten oder die erreichte Lösungsquote in den Tests der letzten Vorlesungswoche unter 30 % lag. Diese Anforderungen waren zu Semesterbeginn als Prüfungsbedingungen kommuniziert worden.

Studierende, die den Kurs bereits in einem vorherigen Semester belegt hatten, wurden als Wiederholer klassifiziert ($N = 16$, zum Semesterende). Für diese Gruppe galten die gleichen Voraussetzungen für eine aktive Teilnahme. Diese Personengruppe könnte bei Studienbeginn über zusätzliche Erfahrungen sowohl durch die vorherige Teilnahme an der Veranstaltung als auch durch fachlich verwandte Kurse und ihre allgemeine Studienerfahrung verfügen, sodass diese Störeinflüsse im Rahmen der Auswertung kontrolliert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Stichprobe unter Berücksichtigung personenbezogener Merkmale (vgl. Abschnitt 9.4.3) erfolgt im nächsten Kapitel (Abschnitt 10.2.1) zur Darstellung der Studienergebnisse. Im Folgenden werden die angewendeten Gütekriterien sowie die verwendeten Testinstrumente näher erläutert.

9.3 Gütekriterien

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen für die statistischen Analyseverfahren, welche für die Auswertung im folgenden Kapitel relevant sind, erläutert. Der Fokus liegt dabei auf den Gütekriterien, die bei der Datenerhebung berücksichtigt wurden und insbesondere zur Bewertung der eingesetzten Testinstrumente dienen (siehe Kapitel 9.4).

Nach Döring und Bortz (2016) repräsentieren diese Gütekriterien die methodische Strenge einer wissenschaftlichen Untersuchung. Zu den zentralen Aspekten zählen hierbei die Objektivität, Reliabilität und Validität, die im Folgenden genauer definiert werden. Neben der Definition dieser Begriffe wird auch die Prüfung dieser Kriterien nachfolgend vorgestellt.

9.3.1 Objektivität

Die Objektivität eines Tests bezieht sich auf die Unabhängigkeit von der Person, die ihn durchführt (Moosbrugger, 2012). Ein wichtiger Indikator für die Objektivität ist die Interrater-Reliabilität, welche die Übereinstimmung zwischen verschiedenen Beurteilenden misst. Beurteilende bewerten oder kategorisieren dazu Antworten basierend auf vorher festgelegten Kriterien.

Um die Übereinstimmung zwischen zwei Beurteilenden zu überprüfen, kann Cohens Kappa als Maß verwendet werden (Greve & Wentura, 1997). Die Formel lautet (s. Gleichung 9.1):

$$\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (9.1)$$

Dabei ist p_o die beobachtete Übereinstimmung, also der Anteil der Fälle, bei denen sich die Beurteilenden tatsächlich einig sind, und p_e die erwartete Übereinstimmung durch den Zufall, also der Anteil der Übereinstimmungen, der zufällig zu erwarten wäre (Cohen, 1960). Die beobachtete Übereinstimmung p_o wird berechnet, indem die Häufigkeiten der identischen Bewertungen beider Beurteiler durch die Gesamtanzahl der Bewertungen geteilt werden (s. Gleichung 9.2).

$$p_o = \sum_{i=1}^k \frac{h_{ii}}{N} \quad (9.2)$$

Die erwartete Übereinstimmung p_e wird wie folgt berechnet (s. Gleichung 9.3):

$$p_e = \sum_{i=1}^k \left(\frac{h_{i.}}{N} \cdot \frac{h_{.i}}{N} \right) \quad (9.3)$$

Dabei ist N die Gesamtzahl der bewerteten Objekte, k die Anzahl der Kategorien und h_{ii} die Anzahl der Objekte, die von beiden Beurteilern der Kategorie i zugeordnet wurden. Diese Objekte sind die Einträge auf der Hauptdiagonalen der Kontingenztafel. $h_{i.}$ ist die Gesamtzahl der Objekte, die vom ersten Beurteiler der Kategorie i zugeordnet wurden (Zeilensumme), und $h_{.i}$ stellt die Gesamtzahl der Objekte, die von dem zweiten Beurteiler der Kategorie i zugeordnet wurden, (Spaltensumme) dar (vgl. Cohen, 1960).

Ein Wert von $\kappa = 1$ bedeutet eine ausnahmslose Übereinstimmung, während $\kappa = 0$ auf keine bessere Übereinstimmung als zufällig hinweist. Die Werte von Kappa liegen zwischen -1 und 1 . Für eine genauere Einschätzung dieser Größe lässt sich nach Fleiss (1981) folgende Einteilung festhalten (Greve & Wentura, 1997):

$\kappa > 0.75$:	hervorragende Übereinstimmung
$0.40 < \kappa \leq 0.75$:	gute bis befriedigende Übereinstimmung
$\kappa < 0.40$:	schlechte Übereinstimmung

9.3.2 Validität

Die Validität wird in vier zentrale Aspekte gegliedert: Konstruktvalidität, interne Validität, externe Validität und statistische Validität (Döring, 2023). Im Folgenden werden diese unterschiedlichen Formen der Validität kurz erläutert.

Die *Konstruktvalidität* bezieht sich auf die Übereinstimmung der im Testverfahren erfassten Variablen mit dem theoretischen Konzept, das diesen Variablen zugrundeliegt (vgl. ebd.). Damit die empirischen Daten als Indikatoren für die zugrundeliegenden Konstrukte interpretiert werden können, müssen sowohl die Testinstrumente als auch die Untersuchungsbedingungen das theoretische Modell präzise abbilden. Die Konstruktvalidität bildet das grundlegende Gütekriterium, das die Aussagekraft einer Studie maßgeblich beeinflusst. Ein Mangel an Konstruktvalidität kann insbesondere durch eine unzureichende Operationalisierung der Messinstrumente oder Untersuchungsbedingungen entstehen.

Die *interne Validität* gibt Aufschluss darüber, ob die kausalen Schlussfolgerungen einer Studie gerechtfertigt sind (Döring, 2023). Um eine hohe interne Validität sicherzustellen, ist die Kontrolle potenzieller Störvariablen von entscheidender Bedeutung. Diese Kontrolle umfasst sowohl die Durchführung der Untersuchung als auch den Prozess der Datenerhebung.

Die *externe Validität* beschreibt die Generalisierbarkeit der Studienergebnisse auf andere Kontexte (Döring, 2023). Dieses Gütekriterium wird maßgeblich durch die spezifischen Bedingungen der Untersuchung beeinflusst. Dabei müssen mögliche Interaktionseffekte zwischen dem untersuchten kausalen Effekt und den Rahmenbedingungen des Studiendesigns berücksichtigt werden. Unterschiede in den Ergebnissen anderer Studien können etwa auf Variationen in den untersuchten Stichproben oder den Interventionsbedingungen zurückgeführt werden.

Die *statistische Validität* bezieht sich auf die korrekte Durchführung inferenzstatistischer Analysen in einer quantitativ-empirischen Untersuchung. Dafür ist der Einsatz geeigneter, hypothesengeleiteter statistischer Verfahren erforderlich (Döring, 2023). Die statistische Validität kann beispielweise gefährdet sein, wenn eine zu geringe Teststärke oder eine Verletzung von Testvoraussetzungen vorhanden ist. Die Teststärke, die das Verhältnis zwischen Stichprobengröße und Effektgröße beschreibt, ist ein wesentlicher Faktor für die Güte einer Hypothesenprüfung. Sie sollte idealerweise durch eine sorgfältige Planung im Vorfeld oder durch eine nachträgliche Teststärkenanalyse berücksichtigt werden.

9.3.3 Reliabilität

Die Reliabilität ist ein weiteres Gütekriterium, anhand dessen die Testinstrumente bewertet werden können. Zur Prüfung der Reliabilität eines Messinstruments wird die interne Konsistenz als Skalenreliabilität, gemessen mit Cronbachs α , berechnet (vgl. Gl. 9.3). Die Reliabilität quantifiziert die Messgenauigkeit. Sie wird allgemein als Verhältnis der Varianz des tatsächlichen Wertes τ zur Varianz der Messung x angegeben (Moosbrugger, 2012). Das Prüfen der internen Konsistenz erfolgt mittels Cronbachs α nach Gleichung 9.4 (Moosbrugger, 2012):

$$Rel = \alpha = \frac{m}{m-1} \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}{\sigma_x^2}\right) \quad (9.4)$$

Dabei ist m die Anzahl der Items im Test, σ_i^2 die Varianz des i -ten Items und σ_x^2 die Varianz der gesamten Testwerte über alle Items. Diese Formel quantifiziert, wie gut verschiedene Items das gleiche Konstrukt messen. Ein höherer Wert von Cronbachs Alpha weist auf eine höhere interne Konsistenz hin.

Der Reliabilitätskoeffizient kann Werte zwischen 0 (misst reinen Fehler) und 1 (misst reine wahre Leistung) annehmen. Aus der Literatur (Bond, Yan & Heene, 2020) sind folgende Einstufungen für die Skalenreliabilität bekannt (s. Tabelle 9-1):

Tabelle 9-1 Einstufungen der Skalenreliabilität nach Bond et al., 2020

Cronbachs Alpha	Interpretation
≥ .90	sehr gut
≥ .80	gut
≥ .70	akzeptabel
≥ .60	fragwürdig
≥ .50	schlecht
< .50	inakzeptabel

Gute Reliabilitäten gelten ab 0.8 und sehr gute liegen bei 0.9 und größer. Nicht akzeptabel sind Reliabilitätswerte kleiner 0.5 (ebd.). Für die Bewertung von Lehrmethoden sind moderate Reliabilitätskoeffizienten von 0.70 ausreichend (Direnga, 2021).

Cronbachs α reagiert sensitiv auf die Anzahl der Items, eine Erhöhung der Itemanzahl steigert α , selbst wenn einzelne Items fremde Konstrukte messen. Tests sollten daher nur so lang sein, wie es für die erforderliche interne Konsistenz nötig ist, und Items, die keine definitive Steigerung der inneren Konsistenz erbringen, sollten entfernt werden. Auch aus testökonomischer Sicht sollte das Zeitlimit und die damit einhergehende schwindende Motivation bei ansteigender Testzeit aufgrund einer zu hohen Anzahl an Items berücksichtigt werden.

Ergänzend zur Skalenreliabilität wird nach der klassischen Testtheorie die Trennschärfe der Testitems bewertet. Die Trennschärfe beschreibt, wie gut ein Item dazu in der Lage ist, zwischen Teilnehmenden mit hohen und niedrigen Testleistungen zu unterscheiden (Moosbrugger, 2012). Die Trennschärfen der Items werden bei SPSS im Rahmen der Reliabilitätsanalyse anhand der korrigierten Item-Skala-Korrelationen angegeben. Die Trennschärfe sollte mindestens einen Wert von 0.3 aufweisen, um eine ausreichende Differenzierung zwischen den Personen gewährleisten zu können (Field, 2009).

Bei zu geringer Trennschärfe korreliert das Item nicht gut mit der Testskala und sollte daher ausgeschlossen werden, sofern die interne Konsistenz nach Cronbachs Alpha durch den Ausschluss dieser kritischen Items verbessert würde.

9.4 Testinstrumente

Dieses Unterkapitel gibt einen Überblick über die verwendeten Testinstrumente, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens neu entwickelt wurden. Der Grund für die Neuentwicklung der Testinstrumente liegt in dem Fehlen geeigneter Testformate, welche sich auf den in Statik spezifischen Modellierungsprozess ganzheitlich beziehen.

Oft werden standardisierte Testinstrumente für das Erfassen eines Effekts einer Lehrmethode in STEM als Prä-Post-Messung verwendet (Bernhard, 2000; Hake, 1998), für den spezifischen Modellierungskreislauf in Statik (s. Kapitel 3) sind noch keine Testinstrumente vorhanden.

Es existiert bereits ein Test zur Erfassung der Modellierfähigkeit in TM von Dammann aus dem Projekt ALSTER (2016). Dieser basiert auf einem Multiple-Choice-Format und stellt unterschiedliche Probleme der Statik dar. Diese Probleme sollen dann bezüglich einzelner Modellierungsschritte anhand der Angabe der richtigen Lösung für den jeweils einzelnen Modellierungsschritt über eine korrekte Auswahl von vier möglichen Antworten bewertet werden. Dieses Testinstrument ist für das Vorhaben im Rahmen der hier durchgeführten Studie nicht verwendbar, da dieser Test zum einen nicht das deklarative Wissen der Modellierungsschritte (zusammenhängend) für Statik erfasst und zum anderen die Anwendung nur bedingt erfasst, da lediglich nur ein Modellierungsschritt je Item abgefragt wird. Im Fokus dieser Arbeit steht die Anwendung des gesamten Modellierungsprozesses beim vollständigen Lösen von Statikaufgaben, sodass der vollständige Modellierungsprozess mit allen Modellierungsschritten aufeinander aufbauend je Item erfasst werden sollte.

Aus diesem Grund eignen sich auch nicht der etablierte und ursprünglich von Steif (2004) entwickelte *Concept Assessment Tool for Statics (CATS)* oder der von Hestenes und Anderen (Hestenes et al., 1992) entwickelte *Force Concept Inventory (FCI)* als Testinstrument. Der CATS misst, ebenfalls als Multiple-Choice-Test, das konzeptionelle Verständnis in Mechanik an unterschiedlich dargestellten Problemen aus der Statik. Hier liegt der Fokus auf dem Verständnis der physikalischen Modelle. Dieser stark vereinfachte Test besteht aus 30 Multiple-Choice-Fragen für die einzelnen Konzepte in der Statik.

Die Items sind vor allem auf das Verstehen der einzelnen grundlegenden Prinzipien und Axiome ausgelegt. Ähnliches gilt für den FCI, der als am meisten verwendete Test zum Erfassen des Vorwissens in Mechanik und Physik gilt (Evans, et al., 2002). Dieser Test beinhaltet sechs Schlüsselkonzepte der Newtonschen Mechanik und ist mit 29 Multiple-Choice-Fragen vorgesehen. Er ist auf das Wissen über Kräfte und Gesetze ausgelegt (Direnga, 2021; Steif, Dollar & Dantzer, 2005), erfasst aber keine Modellierungsprozesse, sodass er nicht als Test im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden kann.

Da die Modellierungskompetenz beinhaltet, die Modellierungsschritte beim Lösen von Statikaufgaben ganzheitlich zu (er-) kennen und aufeinander aufbauend anzuwenden, müssen Testinstrumente für das deklarative Wissen über den spezifischen Modellierungskreislauf zum Lösen von Statikaufgaben sowie für die Anwendung dieses Kreislaufs entwickelt werden. Dabei ist wichtig, die einzelnen Modellierungsschritte je Aufgabe zu erfassen und zugleich eine abhängige Schrittfolge zur Erarbeitung einer Aufgabe ganzheitlich zu ermöglichen.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Testinstrumente müssen zunächst bezüglich ihrer Testgüte evaluiert werden, um die Datenqualität sicherzustellen. Hierzu werden die Testinstrumente auf ihre interne Konsistenz überprüft. Zudem werden die Trennschärfen der verwendeten Items je Test erfasst und die Items anschließend qualitativ geprüft, sodass eine Anpassung der Tests daraufhin erfolgen kann. Die entsprechenden Ergebnisse werden im Folgenden erläutert. Ergänzende Analyseergebnisse sind zur Übersicht im Anhang bereitgestellt.

Eine Übersicht aller eingesetzten Testinstrumente ist in Tabelle 9-2 dargestellt. Personenbezogene Daten wurden ausschließlich zum Zeitpunkt der Prä-Messung erhoben. Dagegen wurden die beiden anderen Testinstrumente sowohl in der Prä- als auch in der Post-Messung eingesetzt.

Tabelle 9-2 Übersicht der eingesetzten Testinstrumente in der Hauptstudie

Variable	Testinstrument	Bearbeitungszeit [min]
Deklaratives Wissen über den Modellierungskreislauf	Wissenstest (SET)	75
Anwendung des Modellierungskreislaufs	Leistungstest (LT)	90
Personenbezogene Daten und Noten	Online-Fragebogen zu den personenbezogenen Daten	15

Zunächst folgen detaillierte Beschreibungen der Testinstrumente sowie die Überprüfung der Testgütekriterien der einzelnen Tests. Für jeden Test wird zunächst die Konstruktion und der Aufbau des Tests erläutert, es folgen die Darstellung der Pilotierung der Testinstrumente und eine anschließende Bewertung der Testgütekriterien Objektivität, Validität sowie Reliabilität für die in der Hauptstudie eingesetzten Tests.

9.4.1 Deklaratives Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wird ein Testinstrument benötigt, welches das deklarative Wissen über den Modellierungskreislauf in TM1 erfasst, um die erste Hypothese bewerten zu können. Diese besteht darin, dass das eingesetzte Strategietraining ein erhöhtes deklaratives Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik zur Folge hat.

Die Entwicklung eines Messinstruments, welches sowohl die deklarative als auch die prozedurale Wissens Ebene bei dem mechanisch-mathematischen Modellierungsprozess erfassen soll, ist nötig, um die Modellierungskompetenz bezogen auf das deskriptive Wissen und Verständnis über den Modellierungskreislauf in Statik gezielt messen zu können. Der Modellierungskreislauf in Statik ist fachbezogen. Da noch kein Wissenstest über diesen individuellen Modellierungskreislauf für Statik existiert, der die spezifischen Modellierungsschritte (vgl. Kapitel 3) explizit berücksichtigt, muss dieses Messinstrument neu entwickelt werden. Die Konstruktion und Beschreibung dieses Wissenstests werden im nächsten Abschnitt dargestellt. Anschließend daran wird in den nächsten Abschnitten die Pilotierung dieses Tests beschrieben und schließlich die Testgüte des Wissenstest, der im Rahmen der Hauptstudie eingesetzt wurde, berichtet.

9.4.1.1 Konstruktion und Beschreibung des Wissenstests

Das Fachwissen in Statik und das Wissen über den Modellierungsprozess sollen gemeinsam betrachtet werden, indem das Wissen über den Kreislauf mit Aufgaben(-lösungen) aus der Statik verknüpft werden soll. Bei der Erfassung des Wissens über den Modellierungskreislauf soll nicht nur deskriptiv der Kreislauf und seine Schritte beschrieben, sondern auch eine inhaltliche Differenzierung zwischen den Schritten abgefragt werden können. Mithilfe des Testinstruments soll inhaltlich das Verständnis des Modellierungsprozesses bezogen auf Statikaufgaben überprüft werden. Dazu zählen sowohl die Beschreibung und Zuordnung der allgemeinen Modellierungsschritte in Statikaufgaben (1) (vgl. Abbildung 9-1), die inhaltliche Zuordnung der Schritte durch eine inhaltliche Analyse von einzelnen Modellierungsschritten für eine klare inhaltliche Differenzierung dieser Schritte (2) (vgl. Abbildungen 9-2 und 9-3) als auch das Erkennen der durchgeführten Modellierungsschritte in (lückenhaften) Musterlösungen von Statikaufgaben von allen Inhaltsbereichen auf prozeduraler Ebene (3) (vgl. Abbildung 9-4).

Bei der Formulierung der Items wurde auf eine Variation der vier Inhaltsbereiche *Kräfte-systeme, Gleichgewicht am starren Körper (Lager und Gelenke), Schnittgrößen* und *Fachwerke* geachtet.

Im Folgenden wird für jede Kategorie mindestens ein Beispiel-Item dargestellt. Abbildung 9-1 zeigt ein Item aus der Kategorie *Beschreiben und Zuordnen der Schritte* (1).

Ordnen Sie via Drag and Drop die einzelnen Schritte des Modellierungskreislaufs zum Lösen einer Mechanikaufgabe an der richtigen Stelle der Lösung jeweils zu.

Ein Spannhebelverschluss wird mit der Kraft F belastet und dadurch geschlossen. Ermitteln Sie die notwendige Kraft F_z in dem Zugstab sowie die Komponenten der Lagerkraft in A. Geg.: F, l_1, l_2, l_3, α

Die Kraft F_z hält den Spannhebelverschluss im Gleichgewicht, sodass die Belastung auf den Verschluss ausgeglichen wird. Die Richtung der Lagerkraft A_x wurde richtig angenommen, was anhand des positiven Vorzeichens zu erkennen ist. Demnach wurde A_y falsch herum angenommen.

$\rightarrow: A_x = F_z \cdot \sin(\beta) \quad A_y = -F_z \cdot \cos(\beta) + F$
 $F_z = \frac{F \cdot l_2}{-\sin(\beta) \cdot l_1 + \cos(\beta) \cdot (l_2 - l_3)}$

$\rightarrow: A_x - F_z \cdot \sin(\beta) = 0$
 $\uparrow: A_y + F_z \cdot \cos(\beta) - F = 0$
 $\circlearrowleft_A: -F_z \cdot \sin(\beta) \cdot l_1 + F_z \cdot \cos(\beta) \cdot (l_2 - l_3) - F \cdot l_2 = 0$

$A_x = \frac{F \cdot l_2}{-\sin(\beta) \cdot l_1 + \cos(\beta) \cdot (l_2 - l_3)} \cdot \sin(\beta)$
 $A_y = \frac{F \cdot l_2}{-\sin(\beta) \cdot l_1 + \cos(\beta) \cdot (l_2 - l_3)} \cdot \cos(\beta) + F$
 $F_z = \frac{F \cdot l_2}{-\sin(\beta) \cdot l_1 + \cos(\beta) \cdot (l_2 - l_3)}$

$\beta = \alpha - 90^\circ$
 $F_{z,x} = F_z \cdot \sin(\beta)$
 $F_{z,y} = F_z \cdot \cos(\beta)$

Formel

Gleichgewichtsbedingungen

Reflexion

Freischnitt

Lösung

Aufgabe/Problem

Abbildung 9-1 Beispiel-Item aus dem Wissenstest für die erste Kategorie

Für das inhaltliche Verständnis der einzelnen Schritte (2) sind Multiple-Choice-Fragen mit einer Mehrfachauswahl zum Prüfen der Vollständigkeit der Teilaufgaben eines Schrittes oder einer Single-Auswahl zur Überprüfung einer möglichen Teilaufgabe des Schrittes gewählt worden, um die Schritte *Freischnitt, Kräfte-/Momentenbilanz* sowie *Formeln* des Kreislaufs inhaltlich erfassen zu können.

Exemplarisch ist eine solche Frage in Abbildung 9-2 für das Format Mehrfachauswahl und in Abbildung 9-3 für das Format Singleauswahl dargestellt.

Was zählt alles zu einem vollständigen und korrekten Freischnitt?

Geben Sie die fünf richtigen Antworten an.

- Die Kraftkomponenten der schräg angreifenden Kräfte ergeben in Summe null.
- Es erfolgt eine rechnerische Komponentenerlegung inkl. der Winkelberechnung, die hierfür notwendig ist.
- Alle Kräfte werden vektoriell mit entsprechenden Angriffspunkten und Bezeichnungen an das System gezeichnet.
- Es erfolgt eine zeichnerische Komponentenerlegung.
- Für schräg angreifende Kräfte gilt: es werden die resultierenden Kräfte eingezeichnet, nicht die jeweiligen Komponenten.
- Es werden alle Hebellängen zu den Lagern von den Angriffspunkten der Kräfte aus angegeben.
- Ein schematisches Ersatzmodell aus Linienkonturen mit Koordinatensystem wird erstellt.

Abbildung 9-2 Beispiel-Item 1 aus dem Wissenstest für die zweite Kategorie (Mehrfachauswahl)

Welche Beschreibung trifft inhaltlich korrekt und vollständig auf den Schritt 3 des Lösungsschemas (Kräfte- und Momentensummen) zu?

Wählen Sie eine Antwort:

- Ein System, das sich im Gleichgewicht befindet, hat eine resultierende Kraftwirkung. Die resultierende Kraft ist ungleich null.
- Die Resultierende mehrerer Kräfte in einem System wird über die Gleichgewichtsbedingung berechnet, d.h. das System bewegt sich nicht.
- Es werden alle Kräfte in den jeweiligen Summen je Koordinatenachse summiert. Bei einem zentralen Kräftesystem mit resultierender Kraftwirkung ist die Summe der Kraftwirkung gleich null.
- Es werden alle Kräfte und Momente in den jeweiligen Summen je Koordinatenachse oder Drehpunkt summiert. Sofern das System im Gleichgewicht ist, wird jede Summe gleich null gesetzt.
- Eine Kraft, die am Drehpunkt wirkt, muss in die Momentenbilanz mit aufgenommen werden, um anschließend das Momentengleichgewicht um diesen Drehpunkt ermitteln zu können.

Abbildung 9-3 Beispiel-Item 2 aus dem Wissenstest für die zweite Kategorie (Singleauswahl)

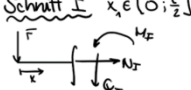
Nach 12 Items aus den ersten beiden Kategorien, die durch Zuordnungsaufgaben oder Multiple-Choice-Fragen, wie oben beschrieben, die jeweiligen Schritte des Modellierungskreislaufs charakterisieren und beschreiben lassen, folgen anschließend 20 Items (vier Inhaltsbereiche mal fünf Schritte – ohne Schritt 1) der gleichen Struktur zur Bewertung des prozeduralen Charakters der Schritte anhand vorgegebener (teilweise unvollständiger) Musterlösungen.

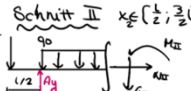
Dabei handelt es sich um Multiple-Choice-Fragen, welche die Angabe der vollständig ausgeführten Lösungsschritte in einer vorgegebenen dargestellten Lösung einer Aufgabe erfordern (s. Abbildung 9-4).

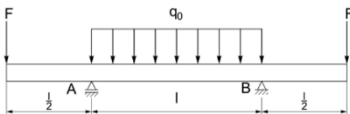
Welche Lösungsschritte sind in der vorgerechneten Lösung vorhanden?

Modellierungsschritt	Beschreibung
1	Aufgabe/Problem
2	Freischnitt
3	Kräfte-/ Momentensumme(n)
4	Formeln
5	Lösung
6	Reflexion

$\rightarrow: B_x = 0$
 $\uparrow: -F + A_y - F_{q0} + B_y - F = 0$
 $\odot_A: F \cdot \frac{l}{2} - F_{q0} \cdot \frac{l}{2} + B_y \cdot l - F \cdot \frac{3}{2}l = 0$

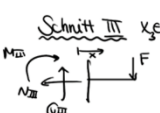
Schnitt I $x_1 \in [0; \frac{l}{2}]$

 $\odot_I: M_I + F \cdot x_1 = 0$ $\odot_I: M_I = -F \cdot x_1$
 $\downarrow: F + Q_I = 0$ $\downarrow: -F = Q_I$

Schnitt II $x_2 \in [\frac{l}{2}; \frac{3}{2}l]$

 $\odot_{II}: M_{II} + F \cdot x_2 + q_0 \cdot \frac{(x_2 - \frac{l}{2})^2}{2} - A_y \cdot (x_2 - \frac{l}{2}) = 0$
 $\Rightarrow M_{II} = -F \cdot x_2 - q_0 \cdot \frac{(x_2 - \frac{l}{2})^2}{2} + A_y \cdot (x_2 - \frac{l}{2})$
 $\Rightarrow M_{II} = -q_0 \cdot \frac{(x_2 - \frac{l}{2})^2}{2} + \frac{q_0 \cdot l}{2} \cdot (x_2 - \frac{l}{2}) - F \cdot l/2$
 $\downarrow: F + Q_{II} + q_0 \cdot (x_2 - \frac{l}{2}) - A_y = 0 \Rightarrow Q_{II} = -F - q_0 \cdot (x_2 - \frac{l}{2}) + A_y$
 $\Rightarrow Q_{II} = q_0 \cdot (-x_2 + l)$



Ein Balken wird durch zwei Kräfte F und eine Streckenlast q_0 belastet. Bestimmen Sie Schnittgrößen (Q, M). $\rightarrow: B_x = 0$
 Gegeben: F, q_0, l

$\odot_A: B_y = F + \frac{q_0 \cdot l}{2}$ $F_{q0} = q_0 \cdot l$
 $\uparrow: A_y = F + \frac{q_0 \cdot l}{2}$ $x_{q0} = \frac{l}{2} + \frac{l}{2} = l$

Schnitt III $x_3 \in [\frac{3}{2}l; 2l]$

 $\odot_{III}: -M_{III} - F \cdot (2l - x_3) = 0 \Rightarrow M_{III} = -F \cdot (2l - x_3)$
 $\downarrow: F - Q_{III} = 0 \Rightarrow Q_{III} = F$

In jedem Schnitt ist keine Normalkraft vorhanden, da keine Last in axiale Richtung wirkt. Aufgrund der Kräfte quer zur Schwerpunktschwerachse sind Querkräfte und Biegemomente vorhanden. Es handelt sich um ein symmetrisches System.

Wählen Sie die richtige Antwort:

- 1-2
- 1-3
- 1-4
- 1-5
- 1-6

Abbildung 9-4 Beispielitem aus dem Wissenstest für die dritte Kategorie

Neben den 26 Multiple-Choice-Fragen mit Single-Auswahl sind auch drei Multiple-Choice-Fragen mit Mehrfachauswahl sowie drei Zuordnungsaufgaben eingesetzt worden, die via Moodle-Testfragen implementiert wurden. Damit diese Aufgaben nicht zur Unterforderung führen, werden alle Items in der Fragenanordnung individuell randomisiert gemischt im Test zur Verfügung gestellt. Zudem sind die Musterlösungen mit bestimmten Elementen aufbereitet worden, um die Schwierigkeit dieses Aufgabentyps zu erhöhen.

Zu diesen Elementen zählen das Integrieren eines Antwortsatzes bei jeder Aufgabe, damit zwischen Wiederholung oder Reflexion differenziert werden kann, eine variable Anordnung der Lösungsschritte kontinuierlich über die Items hinweg und nicht chronologisch und letztlich das Einfügen von Variablen als gegebene Größen. Mit dem letzten Element soll das Nachdenken bei der Angabe der Schritte 4 (*Formel*) und 5 (*Lösung*: also Einsetzen der gegebenen Werte in die Formel und zusammenfassen) angeregt werden. Der entwickelte Wissenstest wird im Folgenden auch als Schemaerkennungstest (SET) bezeichnet. Im nächsten Abschnitt wird nun die Pilotierung des Wissenstests, welche sich im Detail über zwei Semester erstreckte, dargestellt.

9.4.1.2 Pilotierung des Wissenstests

Der Wissenstest ist zweimal vor Einsatz in der Hauptstudie pilotiert und überarbeitet worden. Die erste Pilotierung erfolgte im Wintersemester 2022/2023, die zweite Pilotierung fand im Sommersemester 2023 statt. Folgende Übersicht soll zunächst für die Überarbeitung des Wissenstests gegeben werden (s. Tabelle 9-3).

Tabelle 9-3 Übersicht Überarbeitung des Wissenstests (SET)

Zeitpunkt der Überarbeitung	Gleiche Items	Geänderte Items	Gestrichene Items	Neu konstruierte Items	Verbleibende Items
WiSe22/23		–	–	28	28
SoSe 2023	22	4	2	6	32
WiSe23/24	23	9	–	–	32

Im Folgenden werden diese Überarbeitungsschritte kurz erläutert.

Zunächst wurde im Wintersemester 2022/2023 der Wissenstest im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau im Kurs Technische Mechanik I (Statik) implementiert. Die Stichprobe umfasste 66 Teilnehmende ($w = 10, m = 56, d = 0$). Der Test wurde mit insgesamt 28 Items, aber je Testvariante durch Ankeritems mit 18 Items in einer Testzeit von zunächst 90 Minuten eingesetzt. Dabei sind 8 Items in allen Testheften eingesetzt worden. Die in den Testvarianten variierenden Items ($N = 20$) sind funktional identische Aufgaben, welche zur Bewertung des prozeduralen Charakters der Schritte anhand vorgegebener (teilweise unvollständiger) Musterlösungen dienen (vgl. Abb. 9-4). Es sollte die Angabe der vollständig ausgeführten Lösungsschritte in einer vorgegebenen Musterlösung erfolgen.

Diese Items mit dem gleichen Aufgabenstamm differenzieren sich je Testheft über die Inhaltsbereiche. Im ersten Testheft sind die Themen Kräftesysteme und Lager, im zweiten Testheft die Inhaltsbereiche Lager und Schnittgrößen und im dritten Testheft die Inhaltsbereiche Schnittgrößen und Fachwerke abgebildet worden.

Aufgrund der hohen Lösungsquote in den deklarativen Items (die ersten acht Items), welche zwischen 86 % und 97 % lag, sind diese Items kritisch analysiert worden und anschließend vier von diesen acht Items (Lösungsquote über 90 %) überarbeitet worden. Die Items zielten sowohl auf die Zuordnung der allgemeinen Aufgabeninhalte je Schritt zu den vorgegebenen Schritten des Modellierungskreislaufs ab, als auch auf das Angeben der ausgeführten oder als nächstes auszuführenden Schritte einer vorgegebenen, unvollständigen Musterlösung. Zudem waren im Test zwei Items integriert, welche die korrekte Reihenfolge und die Namen der Schritte forderten.

Diese waren zu einfach und nicht auf Aufgabeninhalte bezogen, sodass diese beiden Items aus dem Test entfernt wurden. Aus diesem eher deklarativen Teil des Wissenstests sind folglich nur zwei Items unverändert übernommen worden (Kategorie 1). Ergänzend sind sechs neue Items konstruiert worden, welche für jeden Schritt eine oder mehrere richtige inhaltliche Aussage/n aus sechs möglichen konkret ausgeführten Teilaufgaben auswählen ließen (vgl. Kategorie 2, Abb. 9-2 und Abb. 9-3).

Die in den deklarativen Items allgemeine Beschreibung der Modellierungsschritte und Zuordnungen sind bei der Überarbeitung auch durch Bezugnehmen auf fachliche (Beispiel-)Aussagen angepasst worden. Es ist also die Anzahl der eher deklarativen Items bei der Überarbeitung von vorher acht Items, auf 12 Items für das SoSe 2023 erhöht worden, um das Verständnis der Modellierungsschritte auf inhaltlicher Ebene für die Statik besser und umfassender zu erfassen.

Für den prozeduralen Aufgabenteil des Wissenstests (vgl. Kategorie 3, Abbildung 9-4) sind alle 20 Items beibehalten worden, lediglich die optische Darstellung der Items hat sich geändert. Die Musterlösungen wurden nicht mehr als händische Rechnungen dargestellt, sondern als Gleichungen und Werte mithilfe des Formeleditors. Auch die Reihenfolge der einzelnen Modellierungsschritte in den (teilweise unvollständigen) Musterlösungen ist bewusst variiert worden, sodass keine chronologische Analyse bezüglich der Angabe der Schritte mehr erfolgen konnte.

Die Analyseergebnisse der Items aus dem im WiSe 22/23 implementierten Wissenstest sind im Anhang durch die Angabe der Trennschärfen und Mittelwerte gegeben. Es lässt sich festhalten, dass zehn Items eine Trennschärfe unter 0.3 aufwiesen, sodass zwei dieser zehn Items entfernt und die anderen acht durch das variable Anordnen der Schritte in der Musterlösung und das digitale Darstellen der Formeln, dem Einbinden eines Mix aus gegebenen Variablen und Werten, etc., wie im oberen Abschnitt beschrieben, überarbeitet wurden.

Zudem konnte festgestellt werden, dass die Bearbeitungszeit von 90 Minuten deutlich zu hoch angesetzt war, da alle Studierenden den Test nach spätestens 55 Minuten beendet hatten. Somit wurde ab dem Sommersemester 2023 die Testzeit unter Berücksichtigung einer größeren Stichprobe auf 75 Minuten reduziert.

Die Pilotierung des Wissenstests im Sommersemester 2023 (Lampe, Lang & Dorschu, 2023) erfolgte mit einer Stichprobe von 15 Personen ($w = 4, m = 11, d = 0$). Die Stichprobe setzte sich aus Studierenden des Maschinenbaus zusammen. Der Test ist am Ende des Semesters im Kurs Mechanik I auf freiwilliger Basis durchgeführt worden, die Testzeit betrug 75 Minuten. Als Anreiz sind Bonuspunkte vergeben worden. Hier ist anzumerken, dass im Sommersemester 2023 kein Strategietraining durchgeführt wurde, sondern eine reguläre Lehre stattfand, die den Modellierungskreislauf nicht so stark thematisierte.

Seit SoSe 23 ist der SET so aufgebaut, dass kein Testheft-Design über Anker-Items erfolgen musste, da nur noch eine gleiche Testversion für alle zu jedem Messzeitpunkt vorhanden war. Die Bearbeitungszeit konnte in der Prä-Pilotierungsphase als ausreichend anerkannt werden, der Ermüdungsfaktor ist aufgrund der zufälligen Anordnung der Fragen im Test als gering angesehen worden. Somit ergaben sich für den SET im SoSe 23 (sowie im WiSe 23/24) 32 Items.

Es konnten nur 30 Items in die Testanalyse einbezogen werden (s. Anhang), da ein Item eine 100 %-ige Lösungsquote und ein Item eine 0 %-ige Lösungsquote (falsche Antwort im System hinterlegt) aufwies, sodass diese beiden Items als Ausreißer angesehen und aus der Analyse entfernt wurden.

Die interne Konsistenz des Tests im SoSe 23 lag bei Cronbachs $\alpha = .757$. Die Ergebnisse der Itemanalyse des SET im SoSe 23 sind im Anhang hinterlegt. Die Analyse zeigt, dass 17 Items eine zu geringe Trennschärfe (< 0.3) aufwiesen. Die deutlich schlechteren Trennschärfen in dieser Pilotierungsphase im Vergleich zur Prä-Pilotierung könnten auch darin begründet liegen, dass den Studierenden der Modellierungskreislauf im SoSe 23 nicht explizit gelehrt wurde. Zusätzlich sollte hier die geringe Stichprobe von nur 15 Personen berücksichtigt werden.

Es erfolgte eine inhaltliche Analyse dieser als kritisch zu definierenden Items. Dabei sind im Rahmen der Überarbeitung für die Hauptstudie keine Items entfernt und neun Items geändert worden. Einige deklarative Items ($N = 4$) waren sehr einfach für die Studierenden gewesen (Lösungsquote zwischen 87 % und 93 %) und erforderten z. B. die Auswahl einer korrekten Antwort auf die Frage „Welche Beschreibung trifft inhaltlich korrekt auf Schritt x des Lösungsschemas zu?“ Die Antwortmöglichkeiten sind in der Formulierung bei zwei Items insofern angepasst worden, als sie die falsche Information präziser je Aussage markieren und zudem keine verneinten Aussagen beinhalten.

Die beiden aus der Präpilotierungsphase in die Pilotierungsphase zuvor unverändert übernommenen eher deklarativen Items sind nun für die Hauptstudie angepasst worden, indem auch hier die vorgegebenen Musterlösungen hinsichtlich des Layouts angepasst und zudem die Modellierungsschritte in diesen Musterlösungen nicht mehr chronologisch angeordnet wurden. Außerdem sind die gegebenen Größen von Werten zu Variablen verändert worden, sodass die Items damit in der Schwierigkeit ansteigen sollten.

Des Weiteren sind zwei fehlerhafte Items korrigiert worden. Letztlich sind die sehr einfachen Items der dritten Kategorie ($N = 3$), welche eine Lösungsquote über 0.8 aufwiesen, erneut von der Struktur angepasst worden, wie z. B. durch eine neue Anordnung der Aufgabenelemente beim Erkennen eines Freischnitt-Items.

Die Itemanalyse zur Erfassung der Testgüte des Wissenstests, der in der Hauptstudie eingesetzt wurde, erfolgt im nächsten Abschnitt.

9.4.1.3 Güte des Wissenstests

In diesem Abschnitt sollen die in Kapitel 9.3 theoretisch dargestellten Gütekriterien zur Überprüfung des Wissenstests dienen. Dafür wird zunächst die Objektivität beurteilt, anschließend die Validität geprüft und letztlich die Reliabilität bestimmt.

Objektivität. Die Objektivität der Auswertung wurde durch die digitale Umsetzung des Multiple-Choice-Formats in Moodle sichergestellt. Die automatische Bewertung der Antworten ermöglichte eine standardisierte Auswertung mit einer 1-0-Kodierung. Falsche Antworten wurden mit 0 kodiert, die richtige Antwort wurde mit 1 kodiert. Items mit einer Mehrfachauswahl an richtigen Antworten sind mit 1 kodiert worden, wenn alle richtigen Aussagen angekreuzt wurden. Sofern zusätzlich eine falsche Antwort angekreuzt wurde oder bei der Auswahl eine korrekte Antwort fehlte, wurde das Item mit 0 kodiert. Da die richtigen Antwortoptionen vorab hinterlegt wurden, waren keine individuellen Entscheidungen während der Auswertung erforderlich, wodurch der Prozess unabhängig von der bewertenden Person blieb.

Validität. Da es sich bei dem Wissenstest um ein neu entwickeltes Testinstrument handelt, wurde die Konstruktvalidität überprüft. Für die konvergente Validierung standen jedoch keine Instrumente zur Verfügung, die das gleiche Konstrukt messen. Daher wurde untersucht, ob die erwarteten Zusammenhänge zwischen verwandten Konstrukten und den eingesetzten Testinstrumenten bestehen. Zu diesem Zweck wurden die Korrelationen nach Pearson zwischen dem Wissenstest, dem Leistungstest, der Mathematiknote sowie der Note der HZB und der Klausur berechnet (s. Tab. 9-4), da es sich jeweils um metrische Variablen handelt. Es wurde angenommen, dass zwischen den Aufgaben im Wissenstest und dem Leistungstest ein Zusammenhang besteht, da beide Instrumente Teilaspekte der Modellierungskompetenz (Wissen und Anwendung) messen.

Auch der Zusammenhang zwischen dem Leistungstest und der Klausur, in der offene Statikaufgaben durch Anwendung des Modellierungskreislaufs gelöst werden müssen, wird als hoch erwartet.

Die Konstruktvalidität wird anhand der Post-Daten der Hauptstudie mit dem vollständigen Datensatz mit den nach der Reliabilitätsanalyse überarbeiteten Testinstrumenten bewertet.

Tabelle 9-4 Korrelationen zwischen den Ergebnissen im SET, im LT, der Note der HZB, der Mathematiknote und der Klausur

Testinstrument	Leistungstest	Klausur	Note HZB	Mathematiknote
Wissenstest	.635***	-.572***	-.524***	-.348**
Leistungstest	–	-.808***	-.565***	-.455***
Klausur		–	.439**	.387**
Note HZB			–	.635***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Die Korrelationen mit den Noten sind negativ, da eine niedrigere Note eine bessere Leistung beschreibt, genau wie eine höhere Punktezahl.

Es zeigen sich, wie erwartet, hohe Korrelationen zwischen dem Wissens- sowie dem Leistungstest. Die Note der HZB korreliert ebenfalls hoch mit dem Wissens- und Leistungstest. Die Mathematiknote zeigt einen moderaten Zusammenhang mit dem Wissenstest sowie Leistungstest. Da die erwarteten Korrelationen zwischen dem deklarativen Wissen über den Modellierungskreislauf und den anderen konstruktnahen Testinstrumenten bestätigt werden können, kann von einer zufriedenstellenden Konstruktvalidität ausgegangen werden.

Im Rahmen der Sicherstellung der internen Validität ist der Testerrinerungseffekt hier auszuschließen, da der Test viele Aufgaben und eine unbekannte Struktur beinhaltete. Die Studierenden wussten zudem nicht, dass der Test wiederholt werden würde.

Reliabilität. Nun soll anhand der internen Konsistenz sowie der Trennschärfe der Items die Reliabilität des Wissenstests im Rahmen der Hauptstudie ermittelt werden. Dazu werden anfangs Ergebnisse vor der Überarbeitung des Tests dargestellt und anschließend mit den Ergebnissen nach der Anpassung des Tests kontrastiert.

Tabelle 9-5 zeigt die Werte für Cronbachs Alpha zu beiden Messzeitpunkten sowie die Anzahl der Items mit unzureichender Trennschärfe für den Wissenstest in der Hauptstudie.

Tabelle 9-5 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für SET vor der Überarbeitung

Messzeitpunkt	Cronbachs Alpha	Anzahl Items mit Trennschärfe unter . 30
Prä	. 611	26
Post	. 758	15

Die vorliegenden Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse zeigen grundsätzlich Verbesserungspotential auf. Der Wissenstest zeigt zum Post-MZP eine akzeptable interne Konsistenz nach Cronbachs Alpha mit $\geq .700$ (Blanz, 2021). Die Anzahl der Items mit unscharfer Trennschärfe ist hoch, sodass hier eine Überarbeitung des Testinstruments erfolgen muss. Da das abgefragte Wissen in diesem Test durch den Bezug zum Modellierungskreislauf in Statik einen stark spezialisierten Charakter aufweist, ist davon auszugehen, dass die Studierenden zu Beginn des Semesters über geringe Vorkenntnisse verfügen. Da es sich bei diesem Testinstrument um Items im Multiple-Choice-Format handelt, könnten aufgrund einer erhöhten Ratewahrscheinlichkeit sowohl die niedrigen Trennschärfen der Items als auch die geringe interne Konsistenz erklärt werden.

Hinsichtlich der Testgüte wurden die Items aus dem Test ausgeschlossen, welche eine Trennschärfe unter .30 (Field, 2009) aufwiesen (vgl. Tabelle 9-6).

Tabelle 9-6 Übersicht der Trennschärfen der Items im Wissenstest zum Post-MZP vor der Überarbeitung

Itemname	Trennschärfe der Items	Inhaltsbereich	Itemkategorie
Item 1	.525	Allgemein	II Deklarativ
Item 2	.317	Allgemein	II Deklarativ
Item 3	-.035	Allgemein	II Deklarativ
Item 4	-.042	Allgemein	II Deklarativ
Item 5	.507	Allgemein	II Deklarativ
Item 6	.643	Allgemein	II Deklarativ
Item 7	-.054	Allgemein	II Deklarativ
Item 8	.629	Allgemein	II Deklarativ
Item 9	.320	Allgemein	II Deklarativ
Item 10	.430	Lager & Kräftesysteme	II Deklarativ
Item 11	-.203	Kräftesystem	I Deklarativ
Item 12	-.007	Lager	I Deklarativ
Item 13	.437	Lager	III Prozedural
Item 14	-.010	Lager	III Prozedural
Item 15	.383	Lager	III Prozedural
Item 16	-.207	Lager	III Prozedural
Item 17	-.211	Lager	III Prozedural
Item 18	.432	Schnittgrößen	III Prozedural
Item 19	-.208	Schnittgrößen	III Prozedural
Item 20	-.159	Schnittgrößen	III Prozedural
Item 21	-.219	Schnittgrößen	III Prozedural
Item 22	-.073	Schnittgrößen	III Prozedural
Item 23	.421	Fachwerke	III Prozedural
Item 24	.473	Fachwerke	III Prozedural

Item 25	.345	Fachwerke	III Prozedural
Item 26	-.015	Fachwerke	III Prozedural
Item 27	.359	Fachwerke	III Prozedural
Item 28	.397	Kräfte- system	III Prozedural
Item 29	.672	Kräfte- system	III Prozedural
Item 30	-.003	Kräfte- system	III Prozedural
Item 31	-.260	Kräfte- system	III Prozedural
Item 32	.366	Kräfte- system	III Prozedural

Damit ergibt sich nach Entfernen der Items mit unzureichender Trennschärfe eine Testvariante mit 17 zu erhaltenden Items (s. Tabelle 9-8). Damit verbleiben nach dieser Überarbeitung keine Items mehr mit unzureichender Trennschärfe. Da die ausgeschlossenen Items sowohl unterschiedliche Schritte abbilden, als auch unterschiedlichen Inhaltsbereichen zugeordnet sind und dennoch für jeden Inhaltsbereich mindestens ein Item im Test vorhanden ist, soll der Test für die Hauptstudie so eingesetzt werden.

Mit den verbleibenden Items weist der Wissenstest zum Post-Messzeitpunkt eine hohe Reliabilität mit einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .842$ auf (s. Tabelle 9-7).

Tabelle 9-7 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für den Wissenstest nach Überarbeitung

Messzeitpunkt	Cronbachs Alpha	Anzahl Items mit Trennschärfe unter .30
Prä	.676	9
Post	.842	—

Nach der Überarbeitung des Wissenstests zum Post-Messzeitpunkt durch Ausschluss der oben definierten kritischen Items (durchgestrichen in Tabelle 9.6, da die Trennschärfe unter .30 liegt) ergeben sich folgende finale 17 Items mit Angabe der zugehörigen Trennschärfen im Wissenstest (vgl. Tabelle 9-8).

Tabelle 9-8 Trennschärpen der verbliebenden Items im Wissenstest

Itemname	Inhaltsbereich	Trennschärfe
Item1	Allgemein	.530
Item2	Allgemein	.313
Item5	Allgemein	.493
Item6	Allgemein	.668
Item8	Allgemein	.602
Item9	Allgemein	.358
Item10	Lager & Kräftesystem	.379
Item13	Lager	.384
Item15	Lager	.378
Item18	Schnittgrößen	.534
Item23	Fachwerke	.471
Item24	Fachwerke	.500
Item25	Fachwerke	.304
Item27	Fachwerke	.392
Item28	Kräftesystem	.500
Item29	Kräftesystem	.684
Item32	Kräftesystem	.378

Die nachfolgenden Analysen werden für den Wissenstests mit der Summe der Punkte aus diesen 17 Items durchgeführt.

9.4.2 Anwendung des Modellierungskreislaufs in Statik im Leistungstest

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wird ein Testinstrument benötigt, welches die Anwendung des Modellierungskreislaufs in Statik erfasst, um die zweite Forschungshypothese prüfen zu können. Die zugehörige Forschungshypothese besteht darin, dass das eingesetzte Strategietraining eine verbesserte Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben zur Folge hat.

Die Messung von Modellierungskompetenzen in der Statik sollte gemäß der Definition von Kompetenz (vgl. Kapitel 4.1) demnach darauf abzielen, nicht nur das Wissen der Lernenden in Statik über den Modellierungskreislauf (vgl. Abschnitt 9.4.1) bewerten zu können, sondern auch die Fähigkeit, dieses Wissen beim Lösen von Aufgaben anzuwenden, also die einzelnen Modellierungsschritte des Modellierungskreislaufs korrekt und in Abhängigkeit voneinander ausführen zu können. Da ein solches Testinstrument für den spezifischen Modellierungsprozess in TM1 nicht existiert, muss ein neues Testinstrument entwickelt werden (vgl. obiger Abschnitt). Die Entwicklung eines Messinstruments, welches die Anwendung des mechanisch-mathematischen Modellierungsprozesses mit der Erfassung der vollständigen aufeinander aufbauenden Modellierungsschritte beim Lösen von Statikaufgaben erfassen soll, wird im Folgenden beschrieben. Dazu wird die Konstruktion und Beschreibung dieses Leistungstests im nächsten Abschnitt erläutert. Anschließend daran wird in den nächsten Abschnitten die Pilotierung des Leistungstests dargestellt und schließlich die Testgüte dieses Testinstruments, welches im Rahmen der Hauptstudie eingesetzt wurde, berichtet.

9.4.2.1 Konstruktion und Beschreibung des Leistungstests

Das Erfassen des gesamten Modellierungsprozesses in Statik je Item wird als sinnvoll erachtet, da die zur Lösung von mechanischen Aufgaben notwendige Modellierung eine ganzheitliche Anwendung der Modellierungsschritte beinhaltet. Daher wird es als wichtig erachtet, dass die Items nicht einzelne, unabhängige Modellierungsschritte erfassen, sondern eine vollständige Vernetzung dieser Schritte innerhalb eines Items erfolgt. Da der Modellierungskreislauf im Detail je Inhaltsbereich leicht variiert und angepasst werden muss (vgl. Kapitel 8.2.2), sollen Items aus allen vier Inhaltsbereichen (vgl. Themen in Tabelle 8-1) vorhanden sein. Um auch Items mit guter Trennschärfe im Test zu generieren, müssen unterschiedlich schwierige Items bei der Entwicklung des Tests integriert werden. Dabei wurde sich an den Schwierigkeitsniveaus von Dammann (2016), die er anhand einer Niveaumodellierung durch das Beschreiben der Aufgabenmerkmale abgeleitet hat, orientiert (vgl. Kapitel 8.2.3) und auch die Erfahrung aus den bereits erprobten Aufgaben berücksichtigt (vgl. Kapitel 9.1). Schwierigkeitserzeugende Aufgabenmerkmale sind nach Dammann bspw. die Art des Tragwerks sowie die Art und Anzahl der Lasten (Dammann, 2016a).

Im folgenden Abschnitt wird die finale Anzahl der Items im Leistungstest, der in der Hauptstudie eingesetzt wurde, nach erfolgten Anpassungen im Rahmen der Pilotierung beschrieben. Die Umsetzung des Leistungstests als digitale Testvariante über Moodle-Fragen bietet einige Vorteile. Es können in gleicher Zeit mehr Modellierungsaufgaben als in einer klassischen Klausur implementiert werden, da durch die Anforderung, dass alle Modellierungsschritte beim Lösen der Aufgabe im System erfasst und dann bewertet werden sollen, eine Strukturvorgabe unvermeidbar ist und somit eine Strukturhilfe durch das Anzeigen der Eingabefelder vorliegt. Darin ist auch eine Grenze begründet, die im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 11) eingeordnet wird. Zudem kann eine objektive Auswertung anhand automatischer Bewertungen der einzelnen Modellierungsschritte je Item erfolgen, sodass keine Bewerterabhängigkeit vorliegt. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Bearbeitungszeit digital erfasst werden kann und so die Auseinandersetzung mit den Items einfacher zu interpretieren ist.

Folgende Itemstruktur ist für die Items im Leistungstest konstant eingehalten worden (s. Tabelle 9-9).

Tabelle 9-9 Struktur der Items im Leistungstest

Teilaufgaben	Beschreibung
1. Aufgaben-/Systembeschreibung	Das vorgegebene physikalische Modell wurde beschrieben (z. B. Beschreibungen der Belastungen am Balkensystem, Ausführen des Kontexts).
2. Systemskizze	Die Skizze des physikalischen Modells ist vorgegeben worden (Abbildung eines Systems).
3. Handlungsaufforderung	Die eigentliche Aufgabenstellung ist als Frage oder Aufforderung formuliert worden (z. B. „Bestimmen Sie die Schnittgrößen Q und M_B am negativen Schnittufer“).
4. Angabe gegebener Größen	Es wurden Werte oder Variablen für das gegebene physikalische Modell vorgegeben (z. B. Kräfte und Abstände).

5. Inputfelder

Eintragen der Gleichungen

- a. Kräftesumme x
- b. Kräftesumme y
- c. Momentensumme

Umstellen der Gleichungen

- d. Umstellung Kräftesumme x
- e. Umstellung Kräftesumme y
- f. Umstellung Momentensumme

Lösungswerte für die gesuchten Größen

Lösungswert für d

Lösungswert für e

Lösungswert für f

6. Reflexionsfrage

7. Power-Point-Datei für Freischnitt

Es wurden Eingabefelder für Gleichungen und Zahlen separiert nach den Modellierungsschritten mit konkreter Formulierung und Hinweisen für die Eingabeart vorgegeben (z. B. „*Stellen Sie die Gleichgewichtsbedingungen für die Schnittgrößen bezüglich des geg. Koordinatensystems auf.*“).

oder im nächsten Schritt: („*Geben Sie die Gleichungen für die Schnittgrößen in Abhängigkeit der geg. Größen an. Hier soll eine Gleichung der Form $Q = \dots$ und $M_B = \dots$ eingegeben werden.*“).

oder im nächsten Schritt: („*Geben Sie die Lösungsfunktionen für die Schnittgrößen in Abhängigkeit der geg. Größen an. Hier soll KEINE Gleichung eingegeben werden. Die Funktion soll ohne Einheiten eingetragen werden.*“).

Hier ist via Multiple-Choice nach einer inhaltlich korrekten Aussage, die eine Reflexion des Aufgabenergebnisses darstellt, gefragt.

Der Freischnitt für die jeweilige Aufgabe muss separat in der PPT-Datei via Drag-and-Drop erstellt werden.

Die hier dargestellte Itemstruktur ist je Item mithilfe einer zusammenhängenden Kombination aus Moodle-Multiple-Choice-Fragen sowie dem STACK-Aufgabentyp in Moodle umgesetzt worden (vgl. Anhang A). Im Anhang A befinden sich Beispieldarstellungen der Aufgaben aus dem Leistungstest. Im folgenden Abschnitt wird die Pilotierung des Leistungstests beschrieben und anschließend die Testgütekriterien für den Leistungstest der Hauptstudie dargestellt.

9.4.2.2 Pilotierung des Leistungstests

Im Sommersemester 2023 erfolgte die Pilotierung des Leistungstests in den Studiengängen Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau und Maschinenbau mit 25 Studierenden. Die Studierenden hatten eine Bearbeitungszeit von 90 Minuten zur Verfügung. Der Test fand während der letzten Vorlesungswoche statt und ist als freiwilliges Angebot mit der Möglichkeit zehn Bonuspunkte auf die bestandene Klausur angerechnet zu bekommen, implementiert worden. Der Leistungstest bestand aus ursprünglich 28 Items, die sich aus 7 Items je Themenbereich (Kräftesysteme, Gleichgewicht am starren Körper, Schnittgrößen und Fachwerke) zusammensetzten. Da ein Item im Rahmen der Pilotierung von keinem Studierenden bearbeitet wurde, ist dieses aus den Analysen ausgeschlossen worden und nur noch 27 Items im Test verblieben.

Die Pilotierungsphase für den Leistungstest sollte nicht nur eine erste Bewertung der Items hinsichtlich Trennschärfe und interner Konsistenz des Testinstruments ermöglichen, sondern zudem dazu dienen, eine angemessene Anzahl an Aufgaben, die in einer Bearbeitungszeit von 90 Minuten in diesem E-Testformat bearbeitet werden kann, für die Hauptstudie einschätzen und festlegen zu können. Damit ist der Leistungstest im Sommersemester 2023 mit 28 Items zeitlich zunächst als sehr anspruchsvoll einzuschätzen, da diese Anzahl an Items in der gegebenen Bearbeitungszeit sehr hoch ist. Im Vergleich werden i.d.R. fünf ähnliche Aufgaben in der Klausur in einem Bearbeitungszeitraum von 120 Minuten eingesetzt, dann aber im Papierformat. Durch das Umstellen des Formats auf die Moodle-Fragen werden Teilaufgaben, strukturiert nach den Schritten des Modellierungskreislaufs, vorgegeben, um die Eingabefelder zu definieren und alle Modellierungsschritte im System erfassen und damit je Item prüfen zu können. Damit ist eine schnellere Bearbeitung der Aufgaben angedacht, da die kognitive Belastung reduziert wird, indem eine Struktur vorgegeben wird.

Die Ergebnisse des Leistungstest sind als Lösungsquote je Item angegeben worden (Quotient aus erreichten Punkten und der Anzahl der maximal möglichen Punkte je Item), um die Items mit unterschiedlicher Anzahl an maximal möglichen Punkten gleichwertig analysieren und miteinander vergleichen zu können.

In der nachfolgenden Tabelle 9-10 sind die Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse des im SoSe 23 eingesetzten Leistungstest dargestellt. Die fehlenden Werte sind mit "0" ersetzt worden, da davon ausgegangen wird, dass das Wissen zur Bearbeitung der entsprechenden Items fehlte.

Tabelle 9-10 Reliabilitätsanalyse Leistungstest im Sommersemester 2023

Messzeitpunkt	Anzahl Test-Items	Cronbachs α	Anzahl Items mit einer Trennschärfe unter .30
SoSe 23	27	.657	15

Die interne Konsistenz ist mit einem Cronbachs Alpha von .657 als fragwürdig ($< .70$) einzuschätzen. Insgesamt weisen 15 von 27 Items eine unzureichende Trennschärfe von unter .30 auf. Hier ist aber anzumerken, dass die Anzahl der Items in der vorgegebenen Bearbeitungszeit deutlich zu hoch war und damit die Annahme des fehlenden Wissens bei nicht-bearbeiteten Items beeinflusst wird. Leistungsstarke Studierende konnten durchschnittlich 67 % der Items vollständig bearbeiten, sodass eine Anpassung der Itemanzahl auf 17 für die Hauptstudie als realistisch eingeschätzt wird.

Die Studierenden haben im Anschluss an den Test zudem das Feedback gegeben, dass der Freischnitt als Multiple-Choice-Format mit der Angabe fünf falscher Antwortmöglichkeiten verwirrend war und die Studierenden für das Bearbeiten der weiteren Teilaufgaben verunsichert hat. Daher wurde das Format zur Erstellung des Freischnitts für die Hauptstudie geändert, indem dieser nach der Überarbeitung des Testinstruments in einer parallel zur Verfügung gestellten Power-Point-Datei via Drag and Drop der relevanten Elemente und Symbole je Item erfolgen musste. Es ist eine Vielzahl an Elementen (Pfeile, Balken, Bezeichnungen, Winkel, etc.) zur Verfügung gestellt worden, sodass die Lösung nicht anhand der gegebenen Elemente zu antizipieren war. Weitere Ausführungen zum Testaufbau wie Darstellungen von Beispielaufgaben und ein Beispiel-Quellcode für eine Moodle-Aufgabe aus dem Leistungstest sind im Anhang A dargestellt.

Letztlich sollte die Pilotierungsphase dazu dienen, die Sinnhaftigkeit der teilweise eingesetzten Reflexionsfrage als letzte Teilaufgabe eines Items anhand einer Multiple-Choice-Frage zu prüfen. Es sind vier Reflexionsfragen im Test eingebunden worden, jeweils in einem Item aus einem der vier Inhaltsbereiche.

Hier ist im Rahmen der Auswertung kein systematischer Unterschied in den Ergebnissen oder Schwierigkeiten dieser Items festgestellt worden, sodass davon ausgegangen wird, dass die Reflexion im Rahmen der Bearbeitung der Aufgaben iterativ umgesetzt wird und direkt in Änderungen der Berechnungen transferiert wird.

Dennoch sollte exemplarisch je Inhaltsbereich eine Reflexionsfrage erhalten bleiben, um den gesamten Modellierungsprozess an einigen Beispielen abzubilden. Die Reflexionsfrage des Items aus dem Inhaltsbereich *Fachwerke* lässt nach qualitativer Analyse der Antworten auf eine hohe Ratewahrscheinlichkeit schließen, daher ist diese aus dem Test entfernt worden und es verbleiben für die Hauptstudie drei integrierte Reflexionsfragen.

Zur Übersicht der durchgeführten Überarbeitung des Leistungstests soll folgende Tabelle dienen (vgl. Tabelle 9-11)

Tabelle 9-11 Übersicht der Überarbeitung des Leistungstests

Zeitpunkt der Überarbeitung	Gleiche Items	Geänderte Items	Gestrichene Items	Neu konstruierte Items	Verbleibende Items
SoSe 23	–	–	–	28	28
WiSe 23/24	7	10	11	–	17

Es sind in Summe zehn Items überarbeitet worden. Dabei sind die vier verbleibenden Items aus dem Inhaltsbereich *Schnittgrößen* in der Formulierung der Aufgabenstellung leicht angepasst worden und sechs weitere Items sind inhaltlich angepasst bzw. korrigiert worden, da beispielweise ein Abstand oder eine Kraft in der vorgegebenen Skizze nicht zur hinterlegten Musterlösung passte. Eine weitere Überarbeitung lag in der expliziteren Formulierung einer Aufgabe aus dem Bereich *Kräfte-System*, da hier nach einer resultierenden Wirkung und nicht einer Gleichgewichtsbedingung gefragt wurde („Stellen Sie die Kräftesumme $\sum F_{y,i}$ bezüglich des gegebenen Koordinatensystems auf. Schreiben Sie hier als Gleichung $F_R = \dots$ “).

Ausgeschlossen worden sind Items mit geringen Trennschärfen oder einer zu ähnlichen Aufgabenstellung, da die Anzahl der Items, wie bereits ausgeführt, bewusst reduziert werden sollte. Auf die Analyse der Testergebnisse in der Hauptstudie wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

9.4.2.3 Güte des Leistungstests

Um im Rahmen dieser Studie eine Prä-Post-Leistungsmessung durchzuführen und damit den Lernzuwachs der Studierenden aufzeigen zu können, müssen auch die Prä-Tests auf ihre Validität überprüft werden. Eine Anwendung des für Statik spezifischen Modellierungsprozesses bedarf expliziten Vorwissens über die Statik und den Modellierungsprozess selbst. Ein solcher Test ist ohne diese Vorkenntnisse in diesem Fach kaum mit guten Testgütekriterien realisierbar, da dieses Fachwissen der TM nicht im Alltag oder in der Schule aufgebaut werden kann.

Daher werden die Gütekriterien des Leistungstests hauptsächlich an den Daten aus dem Post-Messzeitpunkt bewertet, aber auch zum Prä-MZP müssen valide Daten vorliegen, damit der Vergleich des Lernzuwachses möglich ist. Im Folgenden werden die Gütekriterien Objektivität, Validität und Reliabilität für den Leistungstest im Rahmen der Hauptstudie geprüft.

Objektivität. Die Bewertung der Items im Leistungstest erfolgt automatisch durch das System. Je vollständig korrekter Teilaufgabe, gemessen an der hinterlegten Lösung je Teilaufgabe, ist ein Punkt vergeben worden. Da die Items in der Anzahl der Teilaufgaben variieren, ergeben sich verschiedene Gesamtpunktzahlen je Item. So wurde für die Auswertung die Lösungsquote je Item über das Verhältnis der erreichten Punkte und der maximal für das Item möglichen Punkte berechnet, um hier eine skalierbare Vergleichbarkeit zu erreichen.

Da die Lösungen der einzelnen Aufgaben in Moodle direkt hinterlegt sind und das System automatisch über einen Abgleich der Eingaben mit den definierten Lösungen die Aufgaben bewertet, ist die Objektivität der Bewertung im Leistungstest gemäß Moosbrugger und Kelava (2020a) sichergestellt. Lediglich der Freischnitt wird analog korrigiert, sodass hier eine Interrater-Reliabilität berechnet werden muss. Die Kodierung für diese Bewertung ist binär, das bedeutet, dass nur ein vollständig korrekter Freischnitt mit allen zu bearbeitenden Elementen (Meriam & Kraige, 2008) als richtig bewertet wird.

Diese Elemente sind folgende:

- Alle inneren und äußeren Kräfte und Momente sind korrekt (Länge, Richtung) und vollständig an den richtigen Angriffspunkten eingezeichnet.
- Jede schräg angreifende Kraft ist korrekt und vollständig rechnerisch (via Trigonometrie) und zeichnerisch in ihre Komponenten zerlegt.
- Falls nötig: Die Formel zur Berechnung des/der nötigen Winkel ist/sind richtig angegeben.
- Falls nötig: Die Formel zur Berechnung der Resultierenden der Streckenlast ist richtig angegeben.
- Alle Hebellängen sind korrekt und vollständig angegeben.
- Bei Schnittgrößen: Das Intervall der Laufvariablen ist korrekt und vollständig angegeben.
- Alle Bezeichnungen der Belastungen sind vollständig und korrekt angegeben.
- Die Angabe des Koordinatensystems, falls nicht vorgegeben, ist erfolgt.

Folgende Tabelle zeigt die Interraterreliabilität für die Freischnitte im Leistungstest (s. Tabelle 9-12).

Tabelle 9-12 Interrater-Reliabilität für den Freischnitt im Leistungstest

Messzeitpunkt	Cohens κ	Signifikanz p
Prä	.99	<.001***
Post	.96	<.001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Die zweite Beurteilerin hat eine Schulung mit den hier aufgeführten Kodierungsaspekten erhalten. Die Interrater-Reliabilität für die Bewertung der Freischnitte des Post-Leistungstestes nach Cohens Kappa liegt bei 0.96 (vgl. Tabelle 9-12) und ist somit nahezu perfekt, sodass eine sehr hohe Übereinstimmung der zwei Beurteilerin vorliegt und die Messfehler hier gering sind. Die hohe Übereinstimmung lässt sich mit der einfachen Bewertung begründen, die wenig fehleranfällig ist.

Die Interrater-Reliabilität für die Freischnitte im Prä-Leistungstest liegt bei .99, da aufgrund des fehlenden Vorwissens kaum Freischnitte erfolgt sind und die überwiegende Kodierung der Freischnitte mit „0“ demnach kaum fehleranfällig war.

Validität. Im Hinblick auf die Konstruktvalidität wurden mittlere bis hohe Korrelationen zwischen den einzelnen Testinstrumenten erwartet. Diese Erwartungen wurden bestätigt (siehe Tab. 9-4). So zeigt das Testinstrument zur Anwendung des Modellierungskreislaufs eine hohe Korrelation zum deklarativen Wissen über den Modellierungskreislauf ($r = .635^{***}$) und auch eine hohe Korrelation zur Klausur ($r = -.808^{***}$).

Im Rahmen der Sicherstellung der internen Validität ist der Testerinnerungseffekt hier auszuschließen, da zu Beginn der Testreihe noch keine Fachkenntnisse vorhanden waren und daher der Test mit vielen Aufgaben und wenig Vorwissen kaum bearbeitet werden konnte. Die Studierenden wussten zudem nicht, dass der Test wiederholt werden könnte.

Reliabilität. Im Rahmen der Reliabilitätsanalyse für den Leistungstest der Hauptstudie sind die fehlenden Werte mit null kodiert worden, da bei fehlender Bearbeitung von fehlendem Wissen für diese Items ausgegangen wurde. Es werden zunächst die Ergebnisse der ursprünglich eingesetzten Testvariante mit 17 Items jeweils zum Prä- und Post-Messzeitpunkt dargestellt. Anschließend erfolgt die Überarbeitung des Tests durch das Entfernen von Items mit unzureichender Trennschärfe und es werden erneut die Reliabilitätsanalyse-Ergebnisse für die finale Version berichtet.

Mit einer Stichprobe von 77 Personen zum Prä-Messzeitpunkt bei einer Itemanzahl von 17 und einer Stichprobe von 59 Personen zum Post-Messzeitpunkt sind folgende Ergebnisse (vgl. Tabelle 9-13 und 9-14) zu berichten:

Tabelle 9-13 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für den Leistungstest vor der Überarbeitung

Messzeitpunkt	Cronbachs Alpha	Anzahl Items mit Trennschärfe unter .300
Prä	.788	5
Post	.844	3

Tabelle 9-14 Trennschärfen der Items im Leistungstest zum Post-MZP vor der Überarbeitung

Itemname	Inhaltsbereich	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 3.1	Schnittgrößen	.60	.83
Item 3.3	Schnittgrößen	.41	.84
Item 3.5	Schnittgrößen	.41	.84
Item 3.6	Schnittgrößen	.43	.84
Item 1.2	Kräfteysteme	.30	.84
Item 1.5	Kräfteysteme	-.27	.84
Item 1.6	Kräfteysteme	-.22	.85
Item 1.7	Kräfteysteme	.35	.84
Item 4.0	Fachwerke	.70	.82
Item 4.1	Fachwerke	.59	.83
Item 4.3	Fachwerke	.75	.82
Item 4.4	Fachwerke	.45	.84
Item 4.6	Fachwerke	.65	.82
Item 2.1	Gleichgewicht am starren Körper	.54	.83
Item 2.3	Gleichgewicht am starren Körper	-.29	.84
Item 2.5	Gleichgewicht am starren Körper	.34	.84
Item 2.7	Gleichgewicht am starren Körper	.35	.84

Der Leistungstest zeigt vor der Überarbeitung zum Prä-Messzeitpunkt eine akzeptable und zum Post-Messzeitpunkt eine hohe interne Konsistenz nach Cronbachs Alpha. Dabei zeigen sich zum Post-Messzeitpunkt zwei Items aus dem Inhaltsbereich *Kräfteysteme* und ein Item aus dem Inhaltsbereich *Gleichgewicht am starren Körper* mit unzureichender Trennschärfe (s. Tabelle 9-14).

Entfernt man iterativ weitere Items mit einer Trennschärfe unter .30 dann ergibt sich eine finale Testvariante, welche sich aus 12 Items zusammensetzt. Damit ergibt sich folgende Tabelle 9-15 nach der Überarbeitung des Leistungstests, welche zu einer internen Konsistenz von $\alpha = .855$ und keinen Items mehr mit unzureichender Trennschärfe führt (vgl. Tabelle 9-16).

Tabelle 9-15 Trennschärften der Items im Leistungstest nach der Überarbeitung

Itemname	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 3.1	.46	.85
Item 3.3	.32	.86
Item 3.5	.31	.86
Item 3.6	.31	.86
Item 4.0	.78	.82
Item 4.1	.71	.83
Item 4.3	.80	.82
Item 4.4	.55	.85
Item 4.6	.69	.83
Item 2.1	.59	.84
Item 2.5	.41	.85
Item 2.7	.34	.85

Die Items aus dem Inhaltsbereich *Kräfteysteme* werden gänzlich aus dem Test ausgeschlossen. Eine naheliegende Erklärung liegt möglicherweise darin, dass diese ausgeschlossenen Items sich vom Aufgabentyp von den Items anderer Themenbereiche insofern unterscheiden, als sie nicht ein System im Gleichgewicht – wie in der Statik üblich – behandeln, sondern das Zusammenfassen von Kräften und Momenten beinhalten. Der Ausschluss der Items dieses Themenbereiches aus dem Leistungstest wird in Kapitel 11 diskutiert.

Folgende Werte für die interne Konsistenz des Leistungstests sind nach der Überarbeitung des Testinstruments ($N_{Item} = 12$) zu den jeweiligen Messzeitpunkten zu erfassen (vgl. Tabelle 9-16):

Tabelle 9-16 Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärften für den Leistungstest nach der Überarbeitung

Messzeitpunkt	Cronbachs Alpha	Anzahl Items mit Trennschärfe unter .300
Prä	.773	3
Post	.855	—

Nach der Überarbeitung zeigt sich weiterhin eine akzeptable interne Konsistenz zum Prä-Messzeitpunkt und eine hohe interne Konsistenz zum Post-Messzeitpunkt. Damit kann die Analyse zur Bewertung des Lernzuwachses hinsichtlich der Anwendung des Modellierungskreislaufs im Folgenden anhand des überarbeiteten Leistungstests erfolgen.

9.4.3 *Personenbezogene Daten*

Um die Stichprobe als Grundlage für die Auswertung deskriptiv beschreiben zu können und Kontrollvariablen zu untersuchen, wurden vor der Intervention personenbezogene Daten wie Alter, Geschlecht, Studiengang und Noten wie die Note der Hochschulzugangsberechtigung oder die Mathematiknote mithilfe einer Moodle-Umfrage direkt vor dem Wissenstest zum Prä-MZP vor Ort digital unter Aufsicht im Prüfungsraum erfasst (vgl. Tabelle 9-17).

Tabelle 9-17 Personenbezogene Daten

Erfragte Daten	Antwortoptionen
Alter	Auswahlmenü 17 bis 60
Geschlecht	männlich, weiblich, divers
Studiengang	Maschinenbau, Maschinenbau-dual
Note HZB	Freie Eingabe
Mathematik-Abschlussnote	Freie Eingabe
Kurswiederholer	Ja, Nein

9.5 Datenqualität

Die Datenqualität ist ein zentrales Gütekriterium, das sowohl die methodische Strenge der Datenerhebung als auch der Datenaufbereitung berücksichtigt. Eine hohe Datenqualität wird neben dem Einsatz objektiver, reliabler und valider Messinstrumente durch eine sorgfältige Durchführung der Erhebungsmethoden erreicht (Döring & Bortz, 2016). Eine systematische und dokumentierte Datenbereinigung der Rohdaten ist essenziell, um plausible Werte zu generieren und fehlende Werte angemessen zu behandeln (ebd.). Durch diesen Prozess wird sichergestellt, dass die Daten für die Analyse belastbar sind. Im Folgenden wird der Prozess der Datenerhebung beschrieben, indem die Rahmenbedingungen der Testung ausgeführt werden. Anschließend erfolgt die Datenbereinigung je Testinstrument, die sich auf die Analyse von Ausreißern hinsichtlich Bearbeitungszeit sowie fehlender Werte konzentriert.

9.5.1 Datenerhebung

Im Rahmen der Datenerhebung muss sichergestellt werden, dass keine Störfaktoren die Intervention beeinflussen. Hierzu sind kontrollierbare Bedingungen eingeführt worden, indem sowohl die Übung als auch die Testbearbeitung zum Prä- sowie Post-Messzeitpunkt mit Anwesenheitspflicht vor Ort und unter Aufsicht stattfand. Alle Studierenden erhielten dieselben Informationen zur Testbearbeitung, zum Ablauf und zu den Rahmenbedingungen der Testdurchführung. Die Testbearbeitung fand in den E-Learning-Räumen der Hochschule unter Aufsicht von Institutsmitarbeitenden statt, die Testzeit betrug für den Leistungstest 90 Minuten, für die personenbezogenen Daten 15 Minuten und für den Wissenstest 75 Minuten. Den Studierenden ist der Zweck der Datenerfassung zunächst in der ersten Vorlesung und ergänzend bei der Datenaufnahme mitgeteilt worden. Vor der ersten Testung haben die Studierenden sowohl digital als auch in der Pflichtübung Instruktionen hinsichtlich korrekter Systemeingaben sowie hinsichtlich des Ablaufs und Formats der Tests erhalten, sodass vor Beginn der Prä-Testung bereits alle Fragen geklärt werden konnten. Die Durchführung der Tests erfolgte in Moodle und ohne Zwischenfälle. Die Aufgaben bzw. Aufgabenformate sind bereits im Rahmen der Pilotierungen getestet worden, sodass hier kein Klärungsbedarf bestand (vgl. Kapitel 9.4). Alle Tests fanden unter einheitlichen Testbedingungen statt und es waren bis auf einen nicht-programmierbaren Taschenrechner keine weiteren Hilfsmittel erlaubt. Die Daten wurden anschließend anonymisiert ausgewertet.

Um die Objektivität der Testergebnisse zu sichern, ist für beide Tests eine automatisierte Bewertung der Fragen hinsichtlich in Moodle richtig hinterlegter Antworten und zugeordneter Anzahl an Punkten erfolgt (vgl. Kapitel 9.4).

9.5.2 Datenbereinigung

Die Datenbereinigung der Rohdaten soll sicherstellen, dass Ausreißer, welche die Ergebnisse verzerren könnten, im Datensatz identifiziert und anschließend aus dem Datensatz entfernt werden können. Dabei muss darauf geachtet werden, dass nur stark auffällige Ausreißer entfernt werden, da sonst auch eine Verzerrung der Daten erfolgen würde. Aufgrund des Untersuchungsdesigns, welches an die Prüfungen des Statik-Kurses gebunden war, ist zunächst von einer korrekt intendierten Bearbeitung der Tests auszugehen. Da nicht nur das reine Bearbeiten als Obligation galt, sondern zum Post-Messzeitpunkt auch eine mindestens zu erreichende Lösungsquote von 30 % im Rahmen des Prüfungsportfolios gefordert war, konnte eine sachgerechte Auseinandersetzung mit den Testinstrumenten unterstützt werden.

Zur Sicherung der Datenqualität wurden die Bearbeitungszeiten der Testinstrumente sowie die Bearbeitungsmuster geprüft. Dabei soll die Anzahl der nicht-bearbeiteten Items analysiert werden. Bearbeitungen, die deutlich unterhalb der durchschnittlichen Bearbeitungszeit lagen oder die deutlich über der durchschnittlichen Anzahl der nicht-bearbeiteten Items lagen, wurden ausgeschlossen, da von einer unzureichenden Auseinandersetzung mit dem Test auszugehen war.

Für die Bearbeitungszeit ist zur Bestimmung von Ausreißern im Wissenstest je Messzeitpunkt ein Boxplot erstellt worden. Als Ausreißer gelten hier Personen, die unterhalb des 1.5-fachen Interquartilbereichs liegen. Alle Bearbeitungen der Probanden, die eine kürzere Bearbeitungszeit aufwiesen, sind qualitativ untersucht worden und bei unzureichender Auseinandersetzung mit den Testitems aus dem Datensatz entfernt worden.

Da im LT zum Prä-MZP bei diesem offenen Testformat keine Bearbeitung ohne das spezifische Modellierungswissen für Statik möglich war, welches bei allen Erstbelegern des Kurses nicht ausreichend für die Testbearbeitung vorhanden sein konnte, können die Ausreißer hinsichtlich Bearbeitungszeit (vgl. Anhang C) oder fehlender Items nicht analog zum Wissenstest oder dem Leistungstest zum Post-MZP bewertet werden. Hier wurden die Daten qualitativ begutachtet und es sind keine Ausreißer in Form fehlender Motivation zur Testbearbeitung identifiziert worden.

Da im Leistungstest zum Post-MZP die begrenzte Testzeit von 90 Minuten fast ausschließlich gänzlich genutzt wurde, bis die automatische Absendung der Testergebnisse erfolgte und damit der Test geschlossen wurde (vgl. Anhang C), ist hier nur ein Ausreißer mit einer Bearbeitungszeit von 36 Minuten vorhanden. Bei Durchsicht der Testbearbeitung dieser Person ist keine Auffälligkeit identifiziert worden, da die Items alle jeweils über zwei Minuten geöffnet wurden, sodass dieser Ausreißer in den Daten erhalten blieb, da die Anzahl der fehlenden Items und die geringe Bearbeitungszeit als fehlendes Wissen interpretiert wurden.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Verteilung der Bearbeitungszeiten im Wissenstest zum Prä-MZP. Die Bearbeitungszeit ist hier normalverteilt und beträgt durchschnittlich 32.9 Minuten bei einer Standardabweichung von 8.9 Minuten. Es existiert ein Ausreißer nach oben ($MAX = 58$ Minuten) sowie ein Ausreißer nach unten ($MIN = 11$ Minuten). Die Person mit einer Bearbeitungszeit von 11 Minuten wird aus dem Datensatz des Wissenstests zum Prä-Messzeitpunkt entfernt, da von einer mangelhaften Auseinandersetzung mit den Testitems ausgegangen wird.

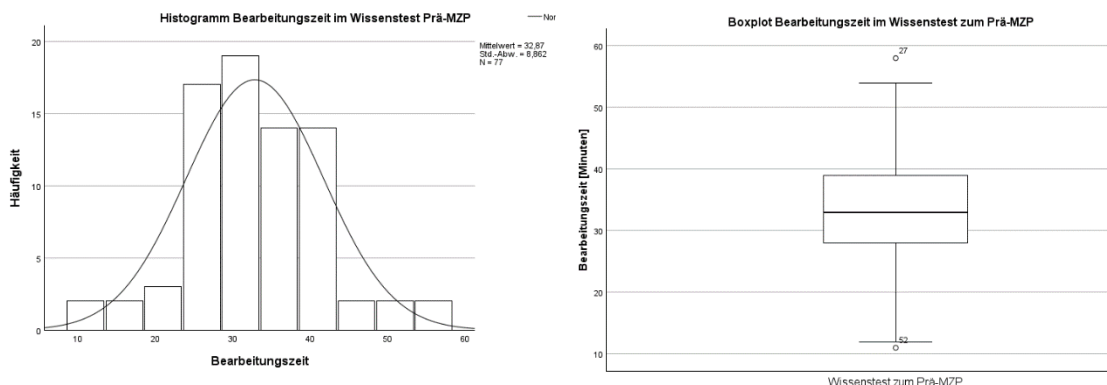


Abbildung 9-5 Histogramm und Boxplot über die Bearbeitungszeiten im Wissenstest zum Prä-Messzeitpunkt

Die folgenden Abbildungen zeigen die Verteilung der Bearbeitungszeiten im Wissenstest zum Post-Messzeitpunkt.

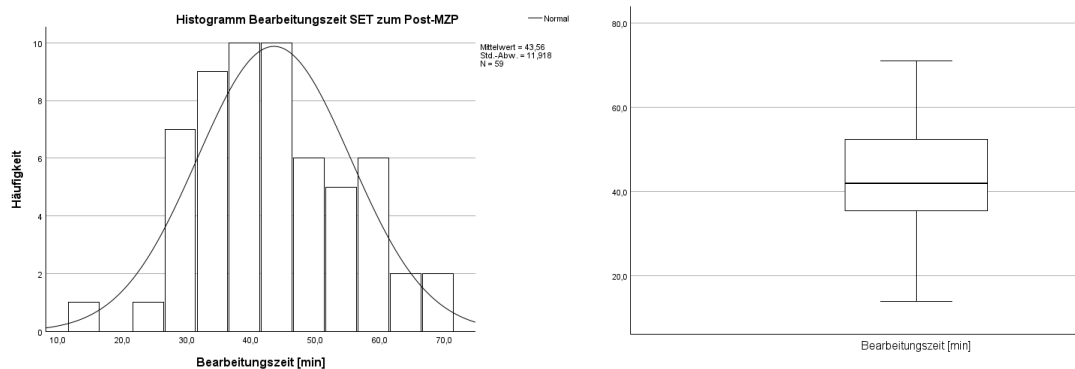


Abbildung 9-6 Histogramm und Boxplot über die Bearbeitungszeiten im Wissenstest zum Post-Messzeitpunkt

Anhand der Verteilung der Bearbeitungszeit im Wissenstest zum Post-Messzeitpunkt sind keine Ausreißer erkennbar (vgl. Abbildung 9-6), sodass alle Testbearbeitungen für die Auswertungen der Hauptstudie beibehalten wurden. Der Ausschluss von Items erfolgt allein aufgrund der Reliabilitätsanalyse (vgl. Abschnitt 9.4.1).

Das Vorhandensein sowie der Umgang mit Ausreißern in den Testergebnissen der überarbeiteten Testinstrumente werden im Kapitel 10.2 im Rahmen der Auswertung individuell geprüft. Im Wissenstest sind keine fehlenden Werte in den Items zu verzeichnen. Hier ist anzumerken, dass es sich um einen Multiple-Choice-Test handelt.

Im Leistungstest wird die ausreichende Auseinandersetzung mit dem Test über die Anzahl der (nicht-)bearbeiteten Items kontrolliert. Dafür wurden die Daten auf fehlende Werte untersucht. Da im Wissenstest genug Zeit für die Bearbeitung aller Items zur Verfügung stand und es sich um Multiple-Choice-Items handelte, existieren im Wissenstest keine fehlenden Werte der Probanden, sodass sich diese Analyse sich auf den Leistungstest beschränkt.

Da es sich bei dem Leistungstest um einen Fachtest handelt, der nur mit nötigem Vorwissen sachgerecht bearbeitet werden kann, wird die Ausreißeranalyse hier auf den Post-Messzeitpunkt beschränkt. Es folgte die Prüfung der Bearbeitungen mit besonders vielen fehlenden Items, um diese nach Identifikation aus dem Datensatz ausschließen zu können. Für die Bestimmung von Ausreißern wurde die durchschnittliche Anzahl der bearbeiteten Items berechnet. Zur Ermittlung von Ausreißern wurde dann eine Schrittweite von einer doppelten Standardabweichung von der Anzahl der durchschnittlich bearbeiteten Items als Grenzwert festgelegt (Plicht, 2024). Als Ausreißer sind dann die Bearbeitungen, deren Anzahl der bearbeiteten Items unterhalb des Grenzwertes lagen, deklariert worden. Die durchschnittliche Anzahl an bearbeiteten Items lag bei $\mu = 10.3$ von insgesamt 17 Items, die Standardabweichung lag bei $SD = 2.8$. Mit einer Schrittweite einer doppelten Standardabweichung von 5.6 ergibt sich ein unterer Grenzwert für die Mindest-Anzahl an bearbeiteten Items von $N_{bearb,Items,min} = 4.6$. Somit sind diejenigen Personen, die weniger als fünf Items bearbeitet haben, als Ausreißer aus dem Datensatz entfernt worden. Das betrifft eine Person, die aus dem Datensatz des Leistungstests zum Post-Messzeitpunkt entfernt wurde (vgl. Tabelle 9-18).

Tabelle 9-18 Datenbereinigung nach Bearbeitungszeit und fehlenden Items

Testinstrument	Anzahl ausge- schlossener Be- arbeitungen auf- grund geringer Bearbeitungszeit	Anzahl ausge- schlossener Bearbeitun- gen aufgrund zu vieler feh- lender Items	Verbleibende Be- arbeitungen
SET zum Prä-MZP	1	–	76
SET zum Post-MZP	–	–	59
LT zum Prä-MZP	–	–	77
LT zum Post-MZP	–	1	58
Personenbezogene Daten	–	–	77

Die personenbezogenen Daten wurden vollständig angegeben, hier sind keine Ausreißer zu identifizieren.

Die Itemanalyse je Test erfolgte in den Abschnitten 9.4.1 und 9.4.2 bei der Prüfung der Testgüte der einzelnen Testinstrumente, sodass hinsichtlich einer guten Datenqualität eine jeweils um Ausreißer bereinigte und um kritische Items reduzierte Testversion für die Evaluation des Strategietrainings im Folgenden zugrundeliegt.

9.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel sind zunächst die Rahmenbedingungen zu den durchgeführten Voruntersuchungen an die Hauptstudie dargestellt und anschließend durch die Beschreibung der Hauptuntersuchung ergänzt worden (s. Abschnitt 9.1 und Abschnitt 9.2). Der Abschnitt 9.3 zeigte die theoretischen Ausführungen zu den Gütekriterien, die in Abschnitt 9.4 für die jeweiligen Testinstrumente beschrieben wurden. In diesem Abschnitt wurden die Testinstrumente, welche im Rahmen der Studie neu entwickelt und eingesetzt wurden, erläutert. Zu diesen Testinstrumenten zählt der Wissenstest, der das deklarative Wissen über den Modellierungsprozess in Statik erfassen soll, der Leistungstest zur Erfassung der Anwendung des Modellierungsprozesses auf Statikaufgaben sowie ein Fragebogen zur Erfassung der personenspezifischen Daten (Alter, Geschlecht, Studiengang, Wiederholstatus, Note der Hochschulzugangsberechtigung und Mathematiknote).

Es wird für den Wissens- sowie Leistungstest eine Beschreibung des Testinstruments gegeben, Pilotierungsergebnisse dargestellt und die Güte des Testinstruments angegeben. Das Kapitel endet mit der Darstellung der Datenqualität, welche sowohl den Prozess der Datenerhebung als auch die Datenaufbereitung beinhaltet (s. Abschnitt 9.5).

TEIL III.
EVALUATION

10. Evaluation des Strategietrainings

Die Evaluation stellt den dritten und letzten Teil dieser Arbeit dar. Dafür sollen zunächst die statistischen Grundlagen der verwendeten Tests, welche für die Auswertung im Rahmen dieser Arbeit zur Beantwortung der Forschungsfragen relevant sind, kurz erläutert werden. Anschließend erfolgt die Beschreibung der Stichprobe, für welche dann die Ergebnisse für den Wissens- und den Leistungstest dargestellt werden. Darüber hinaus werden dann diese Ergebnisse hinsichtlich der Forschungsfragen bewertet und letztlich in Kapitel 11 diskutiert.

10.1 Statistische Grundlagen

Zunächst werden die Grundlagen der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Testverfahren erläutert und der Bezug zur Arbeit daraufhin kurz dargestellt. Dafür werden zunächst allgemein Hypothesentests beschrieben und anschließend für die Gruppenvergleiche im Rahmen der Auswertung parametrische und nicht-parametrische Tests differenziert. Weitere Ausführungen zu den hier beschriebenen Testverfahren finden sich in Bortz und Schuster (2010), Eid, Gollwitzer und Schmitt (2017) oder Field (2009).

10.1.1 Hypothesentests

Zur Beantwortung der Forschungshypothesen ist eine Prüfung mithilfe statistischer Testverfahren erforderlich. Hierzu werden die in der empirischen Forschung gängigen Nullhypothesen-Signifikanztests herangezogen. Die Nullhypothese stellt dabei die direkte Gegenposition zur Forschungshypothese dar. Eine fehlende Signifikanz ist dann zu verzeichnen, wenn die Daten der Nullhypothese folgen. Folglich müsste die vorangestellte Hypothese verworfen werden (Bortz & Schuster, 2010). Bei einem nicht signifikanten Testergebnis sollte als nächster Schritt die Teststärke $T = 1 - \beta$ ermittelt werden. Die Teststärke gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit unter den gegebenen Bedingungen ein tatsächlicher Unterschied zu erkennen ist. Um den möglichen Effekt dann anhand dieser ermittelten Teststärke einschätzen zu können, sollte der Vergleich zu der von Bortz und Schuster empfohlenen Teststärke von 80 % erfolgen.

Im Umkehrschluss zur Ablehnung der Forschungshypothese aufgrund der Annahme der Nullhypothese bedeutet eine Ablehnung der Nullhypothese, dass die Forschungshypothese unter der Annahme einer Irrtumswahrscheinlichkeit p als signifikant betrachtet und damit bestätigt werden kann (ebd.).

Das üblicherweise auf 5 % festgelegte Signifikanzniveau α gibt die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler erster Art an, also die Wahrscheinlichkeit, einen nicht vorhandenen Effekt fälschlicherweise zu berichten (ebd.).

Zusätzlich zur Signifikanz ist die Bestimmung der Effektgröße von Bedeutung, um die Relevanz des Ergebnisses zu bewerten. Das Maß der Effektgröße hängt von dem jeweiligen Signifikanztest ab. Im Rahmen dieser Arbeit werden aufgrund des gegebenen Untersuchungsdesigns zur Bewertung der Effektivität des entwickelten Strategietrainings Gruppenvergleiche erfolgen. Hierbei sollen Unterschiede zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe hinsichtlich der aufgestellten Hypothesen untersucht werden. Um das für diesen Gruppenvergleich geeignete Testverfahren zu bestimmen, muss die Verteilung der Daten vorab identifiziert werden und auch die Stichprobengröße berücksichtigt werden. Bei einer eher kleinen Stichprobe, wie sie sich im Rahmen dieser Arbeit darstellt, müssen Tests verwendet werden, die nicht stark auf Ausreißer reagieren und eine mögliche Varianzhomogenität zulassen. Handelt es sich um einen Gruppenvergleich von nur zwei Gruppen (hier: Experimental- versus Kontrollgruppe), kann auf einen t-Test zurückgegriffen werden. Hier wird zwischen parametrischen und nicht-parametrischen Tests differenziert, die im Folgenden erläutert werden.

10.1.2 Parametrische Tests

Parametrische Testverfahren zeichnen sich durch eine höhere Teststärke aus, weisen aber strengere Voraussetzungen auf, um valide Ergebnisse zu erzielen. Diese sind eine Normalverteilung der Daten, Varianzhomogenität sowie intervallskalierte und unabhängige Daten (Backhaus, Erichson, Gensler, Weiber & Weiber, 2021). Diese Voraussetzungen müssen gegeben sein oder vor Einsatz des Tests überprüft werden. Zur Prüfung der Normalverteilung sind der Kolmogorov-Smirnov-Test und der Shapiro-Wilk-Test gängige Testverfahren. Für die vorliegenden Analysen wird auf den Shapiro-Wilk-Test zurückgegriffen. Sollte der p -Wert dieses Tests unter .05 liegen, wird die Nullhypothese der Normalverteilung abgelehnt und die Verteilung als nicht normalverteilt eingestuft. Ergänzend zur Prüfung der Normalverteilung kann eine gleiche Varianz in den Daten (Varianzhomogenität) über verschiedene Ausprägungen mithilfe des Levene-Tests überprüft werden (Bortz & Schuster, 2010).

Intervallskalierte Daten liegen immer dann vor, wenn gleiche Abstände der Werte auch gleiche Abstände der untersuchten Variablen widerspiegeln. Das kann anhand der Datenstruktur direkt bestimmt werden, indem die Daten eine konstante und gleichmäßige Differenz zwischen den Messpunkten aufweisen (ebd.).

Die Unabhängigkeit der Daten bezieht sich je nach Testverfahren entweder auf die Unabhängigkeit zwischen den einzelnen Probanden oder auf die Unabhängigkeit der Residuen. Sie bezieht sich darauf, dass die einzelnen Messungen oder Beobachtungen keine gegenseitige Beeinflussung oder Beziehung aufweisen und somit jede Beobachtung in der Stichprobe unabhängig von allen anderen ist. Dies ist insbesondere bei Tests relevant, bei denen die Datenpunkte nicht miteinander korrelieren oder voneinander beeinflusst werden dürfen wie bei Gruppenvergleichen zwischen zwei unabhängigen Stichproben. Durch das gegebene Experimental-Kontrollgruppendesign sind die Gruppen randomisiert entstanden. Zudem ist die Unabhängigkeit der Gruppen durch strenge Rahmenbedingungen bei der Testung kontrolliert worden. Auch die Items in den jeweiligen Testinstrumenten sind unabhängig voneinander.

Im Rahmen dieser Arbeit wird, sofern die oben genannte Voraussetzungen erfüllt sind, als parametrischer Test der t-Test für unabhängige und für abhängige Stichproben verwendet. Der t-Test ist ein statistisches Verfahren, das dazu dient, Hypothesen hinsichtlich Gruppenvergleichen über Mittelwertsunterschiede zwischen zwei Gruppen zu überprüfen. Er kann als Spezialfall der Varianzanalyse (ANOVA) betrachtet werden, da nur zwei Gruppen vorliegen (Backhaus et al., 2021).

10.1.2.1 *T-Test für unabhängige Stichproben*

Der t-Test für unabhängige Stichproben vergleicht die Mittelwerte zweier unabhängiger Gruppen, um zu bestimmen, ob sich diese signifikant unterscheiden. Bei einem t-Test für unabhängige Stichproben erfolgt der Mittelwertvergleich durch die Differenz der Mittelwerte beider Gruppen, welche ins Verhältnis zur Standardvarianz gesetzt wird. Sofern die Stichprobengrößen der Gruppen (n_1 und n_2) nicht gleich groß sind, wird eine Korrektur über die gepoolte Standardvarianz (s_p^2) einberechnet. Die zugrundeliegende Formel für den t-Test für unabhängige Stichproben ist wie folgt definiert (Bortz & Schuster, 2010):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (10.1)$$

Dabei sind folgende Definitionen der Variablen gegeben: \bar{x}_1 ist der Mittelwert der ersten Gruppe und \bar{x}_2 der Mittelwert der zweiten Gruppe, n_1 definiert die Stichprobengröße der ersten Gruppe, n_2 die Stichprobengröße der zweiten Gruppe und s_p^2 repräsentiert die gepoolte Varianz der beiden Gruppen.

Die gepoolte Varianz s_p^2 wird berechnet als gewichteter Durchschnitt der Varianzen der beiden Gruppen, wenn die Gruppengrößen nicht gleich groß sind (ebd., S.122):

$$s_p^2 = \frac{(n_1-1) \cdot s_1^2 + (n_2-1) \cdot s_2^2}{(n_1-1) + (n_2-1)} \quad (10.2)$$

s_1^2 und s_2^2 stellen dabei die Varianzen in der ersten bzw. zweiten Gruppe dar.

10.1.2.2 T-Test für abhängige Stichproben

Der t-Test für abhängige Stichproben hingegen wird verwendet, wenn wiederholte Messungen derselben Probandengruppe vorliegen, um zu prüfen, ob sich die Mittelwerte je Gruppe über die Zeit hinweg unterscheiden. Er ist ein Spezialfall der ANOVA mit Messwiederholung (Bortz & Schuster, 2010).

Der t-Wert für abhängige Stichproben wird berechnet, indem die mittlere Differenz zwischen den Stichproben (\bar{d}) mit dem theoretischen Mittelwert der Population (μ_d) verglichen wird. Dieser Unterschied wird durch den Standardfehler der Differenz (s_D) geteilt, die zusätzlich zu der Wurzel der Stichprobengröße (N) ins Verhältnis gesetzt wird. Die Formel lautet (Bortz & Schuster, 2010):

$$t = \sqrt{N} \cdot \frac{(\bar{d} - \mu_d)}{s_D} \quad (10.3)$$

Die Ergebnisse des t-Tests werden durch den t -Wert, die Freiheitsgrade (df) sowie den p -Wert zur Signifikanzprüfung angegeben (in Form von: $t(df) = t, p < .05$).

10.1.2.3 Effektstärkenmaß Cohens d

Zur Beurteilung der Effektstärke ist zusätzlich die Berechnung eines entsprechenden Maßes erforderlich. Für die Berechnung der Effektstärke im Zusammenhang mit dem verwendeten t-Test (sowie dem nachfolgenden Welch-Test, siehe Abschnitt 10.1.3) wird das Effektstärkemaß Cohens d herangezogen. Die Berechnung basiert auf dem Verhältnis zwischen der Differenz der Mittelwerte beider Gruppen sowie der Standardabweichung s (Bortz & Schuster, 2010; Cohen, 1988):

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s} \quad (10.4)$$

Dabei sind \bar{x}_1 und \bar{x}_2 die Mittelwerte der beiden Gruppen und s die Standardabweichung.

Falls die Stichproben unterschiedlich groß sind, wird wie auch beim t-Test anstelle der einfachen Standardabweichung s eine gewichtete gepoolte Standardabweichung s_p genutzt (Field, 2009).

Cohens d bietet eine standardisierte Maßeinheit des Effekts, was einen Vergleich von Effektgrößen über verschiedene Studien und Messungen hinweg ermöglicht. Damit anhand der Effektstärken das Ausmaß des Unterschieds beurteilt werden kann, erfolgt nach Cohen (1988) die Einteilung folgender drei Effektstufen (Bortz & Schuster, 2010):

$d \geq .20$: kleiner Effekt

$d \geq .50$: mittlerer Effekt

$d \geq .80$: großer Effekt

Die Anwendung dieser parametrischen Tests ist nur möglich, sofern die intervallskalierten Daten normalverteilt sind und, im Falle unabhängiger Stichproben, die Varianzen der Gruppen gleich sind (Homoskedastizität). Bei Verletzung dieser Voraussetzungen müssen alternative statistische Methoden wie die im folgenden Abschnitt beschriebenen nicht-parametrischen Tests durchgeführt werden (Bortz & Schuster, 2010).

10.1.3 Nicht-parametrische Tests

Neben den parametrischen Tests, die hohe Anforderungen an die zugrundeliegenden Daten stellen, bieten nicht-parametrische Tests eine Alternative, da sie weniger strenge Voraussetzungen erfordern (Field, 2009). Im Rahmen dieser Arbeit werden die nicht-parametrischen Tests Welch-Test sowie Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet, die im Folgenden kurz erläutert werden.

10.1.3.1 Welch-Test

Bei fehlender Homoskedastizität und/oder nicht-normalverteilten Daten ist die Verwendung des Welch-Test mit ähnlicher Teststärke wie die parametrische Testvariante gängig, der eine Modifikation des t-Tests für unabhängige Stichproben darstellt und nicht voraussetzt, dass die Varianzen der Gruppen gleich sind. Der Welch-Test passt die Freiheitsgrade der t-Verteilung an, um den Unterschieden in den Varianzen Rechnung zu tragen und ist somit robuster als der t-test für unabhängige Stichproben (Delacre, Lakens & Leys, 2017; Eid et al., 2017). Die Berechnung des Welch-Tests ähnelt der des parametrischen t-Tests (vgl. Gl. 10.1). Sie basiert auf den Mittelwerten (\bar{x}_1 und \bar{x}_2) und den Standardvarianzen (s_1^2 und s_2^2) der jeweiligen Gruppen. Dabei werden erneut unterschiedliche Stichprobengrößen (n_1 und n_2) berücksichtigt, aber nicht über eine gepoolte Standardvarianz, sondern indem für jede Gruppe eine separate Varianz berechnet wird.

In Fällen, in denen Gruppengrößen und Varianzen identisch sind, entspricht der Welch-Test dem parametrischen t-Test (Delacre et al., 2017):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (10.5)$$

Die Effektstärke wird ebenfalls mit Cohens d angegeben (s. Kapitel 10.1.2, Gl. 10.4).

10.1.3.2 Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ist eine Methode zum Vergleich zweier abhängiger Stichproben (Bortz & Schuster, 2010). Dabei werden zunächst die Differenzen der gepaarten Werte berechnet, anschließend werden die Werte sortiert und diesen dann die Ränge zugeordnet. Die Vorzeichen der Differenzen werden auf die zugehörigen Ränge übertragen. Anschließend werden die positiven und negativen Ränge separat summiert, wobei die kleinere der beiden Summen die Teststatistik T darstellt (Field, 2009).

Zur Überprüfung der Signifikanz dieses Unterschieds wird der Mittelwert der Teststatistik \bar{T} sowie der Standardfehler $SE_{\bar{T}}$ berechnet und dabei jeweils die unterschiedlichen Stichprobengrößen n_1 und n_2 berücksichtigt (siehe Gleichung 10.7 und 10.8, (Field, 2009)). Die standardisierte Teststatistik z ergibt sich schließlich aus der Differenz zwischen der Teststatistik T und ihrem Mittelwert \bar{T} , dividiert durch den Standardfehler $SE_{\bar{T}}$ (siehe Gleichung 10.6, (Field, 2009):

$$z = \frac{T - \bar{T}}{SE_{\bar{T}}} \quad (10.6)$$

mit
$$SE_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}} \quad (10.7)$$

und
$$\bar{T} = \frac{n(n+1)}{4} \quad (10.8)$$

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test zur Überprüfung des Lernzuwachses vom Prä- zum Post-Messzeitpunkt je Gruppe verwendet. Da bei diesem Vergleich die gepaarten Werte aus Prä- und Post-MZP als Grundlage zum Bestimmen der Ränge dienen und somit die Messwerte der Stichproben in Paaren betrachtet werden, handelt es sich um einen Gruppenvergleich mit gleich großen Stichproben (wiederholte Messungen einer Stichprobe zum Prä- und Post-MZP).

10.1.3.3 Effektstärkenmaß Pearsons Korrelationskoeffizient r

Bei dem Vergleich zweier Gruppen mit identischer Stichprobengröße ($n_1 = n_2$) eignet sich der Pearsons Korrelationskoeffizient als Maß für die Effektstärke. Dieser beschreibt, wie stark die Veränderungen zwischen den verbundenen Paaren zusammenhängen. Er lässt sich berechnen, indem die standardisierte Teststatistik z durch die Wurzel der Gesamtstichprobengröße N geteilt wird (Field, 2009):

$$r = \frac{z}{\sqrt{N}} \quad (10.9)$$

Der Wertebereich von Pearsons r liegt zwischen -1 und 1 . Da der Wertebereich von Cohens d aber unbegrenzt ist, können die beiden Effektstärkenmaße nicht direkt miteinander verglichen werden. Cohen (1988) bietet eine Klassifikation zur Interpretation von r (Bortz & Schuster, 2010):

Tabelle 10-1 Einteilungsstufen für Pearsons Korrelationskoeffizienten

Pearsons Korrelationskoeffizient r	Effektgröße
$r \geq .10$	Kleiner Effekt
$r \geq .30$	Mittlerer Effekt
$r \geq .50$	Großer Effekt

10.2 Auswertung

Dieses Kapitel stellt die Auswertung der Testergebnisse bezogen auf die formulierten Forschungsfragen dar. Wie bereits im Kapitel 10.1 dargestellt, ist für die Auswahl der jeweils geeigneten Testverfahren zunächst zu bestimmen, ob die Daten normalverteilt sind. Diese Überprüfung erfolgt anhand des Shapiro-Wilk-Tests, die Analyseergebnisse hierzu sind zur Übersicht im Anhang C angeführt.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Evaluation des Strategietrainings, welche anhand des Experimental-Kontrollgruppendesigns durchgeführt wird. Damit müssen jeweils vor dem Gruppenvergleich die Anfangsbedingungen untersucht und kontrolliert werden, sodass zunächst sowohl für das Wissen als auch für die Anwendung des MDK ein Gruppenvergleich zum Prä-Messzeitpunkt mithilfe des nicht-parametrischen Welch-Tests durchgeführt wird. Für die Untersuchung eines solchen Gruppeneffekts wird auf den Welch-Test als Grundlage zurückgegriffen, da nicht alle Testdaten der Normalverteilung folgen (s. nächster Abschnitt und Anhang C). Dabei wird die gesamte Stichprobe berücksichtigt und anschließend untersucht, ob es weitere Gruppen gibt, die einer Separierung bedürfen. Hier wurde zunächst geprüft, ob die oft sehr leistungsstarken dualen Maschinenbau-Studierenden eine solche weitere Gruppe sowohl in den Kontrollvariablen als auch in den Testergebnissen zum Prä-Messzeitpunkt darstellen.

Die Ergebnisse der Gruppenvergleiche hinsichtlich des Studiengangs (dual versus MB) zeigten, dass die dualen Studierenden hier zu Beginn der Intervention einen signifikanten Unterschied im Wissenstest sowie in den Kontrollvariablen zu den regulär Maschinenbau-Studierenden darstellen (s. Anhang C), sodass die dualen Maschinenbau-Studierenden aus dem Datensatz für die nachfolgenden Analysen gänzlich entfernt wurden. Ergänzende Analysen hierzu befinden sich im Anhang C.

Des Weiteren wird im Folgenden sowohl für den Wissens- als auch den Leistungstest geprüft, ob Wiederholer des Kurses eine weitere signifikant unterschiedliche Gruppe zu Beginn der Testung darstellen. Dabei wird ebenfalls ergänzend ein möglicher Störeinfluss anhand der Kontrollvariablen (Note der HZB und Mathematiknote) analysiert, um dann zu entscheiden, ob die Wiederholer im Datensatz erhalten bleiben können. Um den nicht immer gegebenen Voraussetzungen in den Daten für parametrische Tests gerecht zu werden, wird bei jedem Vergleich der Welch-Test verwendet. Nach der Prüfung der Gruppen auf mögliche Gruppenunterschiede zum Prä-Messzeitpunkt erfolgt der Prä-Post-Vergleich je Gruppe. Dabei werden zunächst die Lernzuwächse je Gruppe beurteilt und miteinander verglichen. Auch hier wird je nach Voraussetzung der Daten unterschieden, ob ein t-Test für abhängige Stichproben oder der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet wird.

Sofern der Gruppenvergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe zum Prä-Messzeitpunkt keine signifikanten Gruppenunterschiede zeigt und valide Testinstrumente zum Prä-Messzeitpunkt erfasst werden konnten (vgl. Kapitel 9.4), erfolgt anschließend der direkte Gruppenvergleich der Lernzuwächse beider Gruppen über den Welch-Test, um die Effektstärke des Unterschieds zu erfassen und damit eine Einschätzung des Effekts des Strategietrainings auf die Modellierungskompetenz (Wissen über den MDK und Anwendung des MDK) der Studierenden zu erhalten.

Die Datenanalyse erfolgte im Rahmen dieser Arbeit mit dem Statistikprogramm IBM SPSS (Version 29.0.1). Zur Übersicht der Auswertungsschritte soll folgende Abbildung dienen (vgl. Abbildung 10-1):

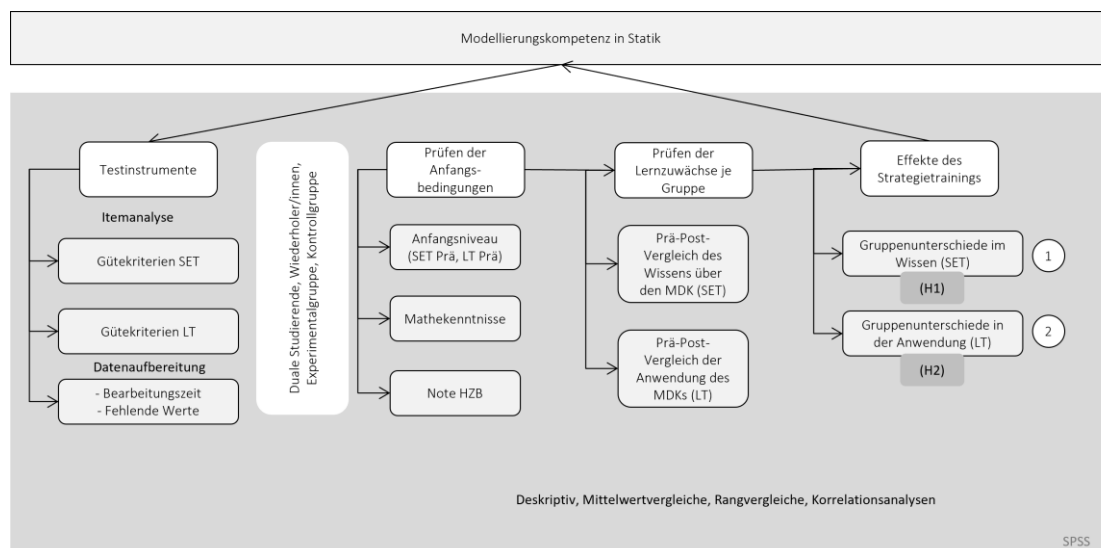


Abbildung 10-1 Übersicht der Auswertungsschritte

Es wird im Folgenden zunächst die Stichprobe anhand deskriptiver Daten zu den personenbezogenen Daten beschrieben (s. Abschnitt 10.2.1). Anschließend erfolgt analog zu den Forschungsfragen das Prüfen möglicher Gruppenunterschiede hinsichtlich des Wissens über den Modellierungskreislauf in Statik (s. Abschnitt 10.2.2) sowie der Anwendung dieses Kreislaufs auf Statikaufgaben (s. Abschnitt 10.2.3). Im nachfolgenden Kapitel 10.3 werden die Analyseergebnisse dann im Kontext der Forschungsfragen bewertet und letztlich in Kapitel 11 diskutiert.

10.2.1 Deskriptive Ergebnisse zur Beschreibung der Stichprobe

In diesem Kapitel wird die Stichprobe der Untersuchung genauer beschrieben. Dazu werden die personenbezogenen Daten für die gesamte Stichprobe ($N = 46$) sowie differenziert in Kontroll- und Experimentalgruppe dargestellt. Die gesamte Stichprobe bildet hier alle Personen ab, die an beiden Messzeitpunkten teilgenommen haben ($w = 7, m = 39, d = 0$). Es handelt sich um Maschinenbau-Studierende, welche den Kurs Mechanik I (Statik) im Wintersemester 2023/2024 belegten. Durchschnittlich sind die Studierenden 22 Jahre alt, hier sind keine Unterschiede zwischen den Gruppen zu verzeichnen. Insgesamt sind 15 % der Studierenden weiblich. Die Verteilung ist in beiden Gruppen ähnlich (vgl. Tabelle 10-2).

Tabelle 10-2 Deskriptive Ergebnisse der personenbezogenen Daten für den vollständigen Datensatz

Gruppe	N	Alter	Note HZB	Mathematiknote	Anteil weiblich
Gesamt	46	21.9 ± 3.7	2.72 ± .59	2.74 ± 1.02	15.2 %
Kontrollgruppe	28	21.7 ± 2.7	2.76 ± .58	2.71 ± 1.12	14.3 %
Experimentalgruppe	18	22.2 ± 4.8	2.65 ± .61	2.78 ± .88	16.7 %

Betrachtet man die letzten schulischen Noten (Mathematiknote sowie die Note der Hochschulzugangsberechtigung), fällt auf, dass auch hier kaum Unterschiede zwischen den Gruppen vorliegen. Die Noten liegen im mittleren Bereich, die Standardabweichung ist jeweils relativ hoch. Der kleine Gruppenunterschied in der Mathematiknote ist etwas positiver für die Kontrollgruppe, bei der Note der HZB ist es genau gegenteilig. Da beide Variablen als Prädiktoren für die Leistung in TM bereits in der Literatur bestätigt wurden (Dammann & Lang, 2019; Lampe, Lang & Dorschu, 2024), sollte im Folgenden ergänzend eine statistische Absicherung der Gruppenunterschiede hinsichtlich dieser Variablen mithilfe des Welch-Tests erfolgen, um von gleichen Anfangsbedingungen ausgehen zu können.

Tabelle 10-3 Gruppenvergleich der Kontrollvariablen Mathematiknote und Note HZB

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens d	Zweiseitiges p
EG vs. KG Mathematiknote	$t(42.1) = .215$	.062	.831
EG vs. KG Note HZB	$t(35.0) = -.613$	-.187	.544

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, Cohens d = Effektstärke und p = Signifikanz

Der Welch-Test zeigt, dass keine der Variablen einen statistisch signifikanten Gruppenunterschied aufzeigt. Somit können die Testergebnisse von der Kontroll- sowie Experimentalgruppe im Folgenden miteinander verglichen werden.

10.2.2 Deklaratives Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik

Zunächst soll bezüglich der ersten Forschungsfrage geprüft werden, ob das Strategietraining Einfluss auf das deklarative Wissen über den Modellierungskreislauf in TM1 hat. Hierzu werden erst anfängliche Gruppenunterschiede ausgeschlossen, dann der Lernzuwachs der jeweiligen Gruppe über das Semester hinweg erfasst und anschließend dieser Lernzuwachs miteinander verglichen, um einen erhöhten Lernzuwachs im deklarativen Wissen über den MDK auf das Strategietraining zurückführen zu können. Damit kann dann die erste Forschungsfrage beantwortet werden:

F1: Hat ein explizites Strategietraining eine Verbesserung im deklarativen Wissen über den für die Statik spezifischen Modellierungskreislauf zur Folge?

10.2.2.1 Gruppenunterschiede im deklarativen Wissen über den MDK vor der Intervention

Zunächst muss geprüft werden, ob vor der Intervention Gruppenunterschiede vorliegen. Dazu wird erst der Einfluss der Kurswiederholer untersucht. Sofern diese als separate Gruppe ausgeschlossen werden können, erfolgt ein Gruppenvergleich der Testergebnisse des Wissenstests zwischen der Kontroll- und Experimentalgruppe zum Prä-Messzeitpunkt.

Wiederholer ($N = 19$) haben signifikant bessere Ergebnisse im SET zum Prä-MZP (vgl. Abbildung 10-2) als Erstbeleger des Kurses ($N_{Wdh} = 19$; $N_{Ersti} = 44$; $\mu_{Wdh} = .54$; $\mu_{Ersti} = .39$; $SD_{Wdh} = .17$; $SD_{Ersti} = .16$). Die Verteilungen der Testergebnisse sind je Gruppe normalverteilt (vgl. Anhang C). Der Gruppenunterschied ist nach dem Welch-Test statistisch signifikant ($t(32.286) = 3.252, p = .001^{***}$) mit einem großen Effekt (Cohens $d = .916$). Hier wird die einseitige Signifikanz verwendet, da eine gerichtete Hypothese vorliegt. Diese Ergebnisse sollten hinsichtlich des Testinstruments interpretiert werden, da der Wissenstest mit dem Fokus auf dem Wissen über den Modellierungsprozess in TM1 ohne Vorwissen in Statik, welches die Erstbeleger des Kurses im Gegensatz zu den Wiederholern nicht aufweisen können, kaum sachgerecht erfolgen kann.

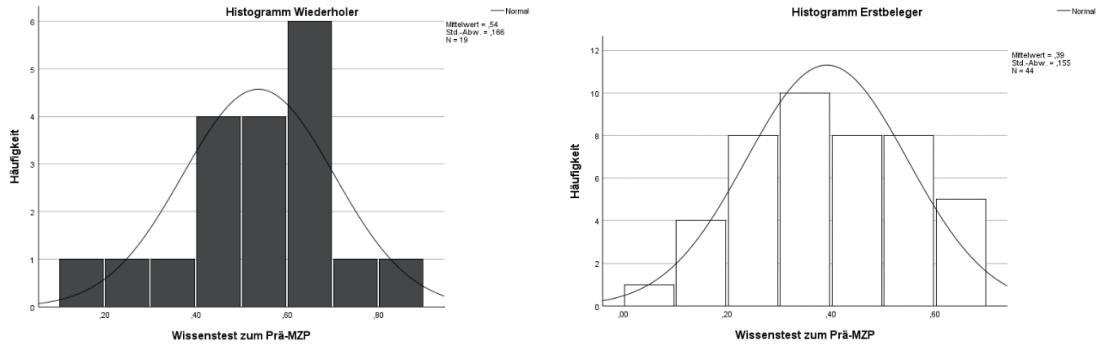


Abbildung 10-2 Histogramme der Wiederholer und Erstbeleger über den Wissenstest zum Prä-MZP

Da nur 6 von 19 Wiederholern der Experimentalgruppe zugeordnet sind, würde hinsichtlich der Vorkenntnisse der Gruppenunterschied zum Prä-Messzeitpunkt positiv für die Kontrollgruppe sein und somit möglicherweise den Effekt eines Lernzuwachses im Vergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe eher abschwächen (s. Tabelle 10-7). Zur Kontrolle soll im Folgenden der Gruppenvergleich zwischen Wiederholern und Erstbelegern des Kurses hinsichtlich der Kontrollvariablen (Note der HZB und Mathematiknote), die als Prädiktoren für TM-Leistungen gelten (Dammann & Lang, 2019), erfolgen. Anhand dieser Kontrollvariablen kann ein möglicher Verzerrungsfaktor aufgrund unterschiedlicher Anfangsbedingungen neben dem Vorwissen in TM untersucht werden. Wiederholer ($N = 19$) zeigen auch leicht bessere Noten in der HZB und Mathematik als Erstbeleger des Kurses (Note HZB: $\mu_{Wdh} = 2.7$; $\mu_{Ersti} = 2.8$; $SD_{Wdh} = .53$; $SD_{Ersti} = .57$, Mathematiknote: $\mu_{Wdh} = 2.8$; $\mu_{Ersti} = 3.0$; $SD_{Wdh} = 1.1$; $SD_{Ersti} = 1.1$). Die Verteilungen der Testergebnisse sind je Kontrollvariable nur für die Wiederholer normalverteilt (vgl. Anhang C).

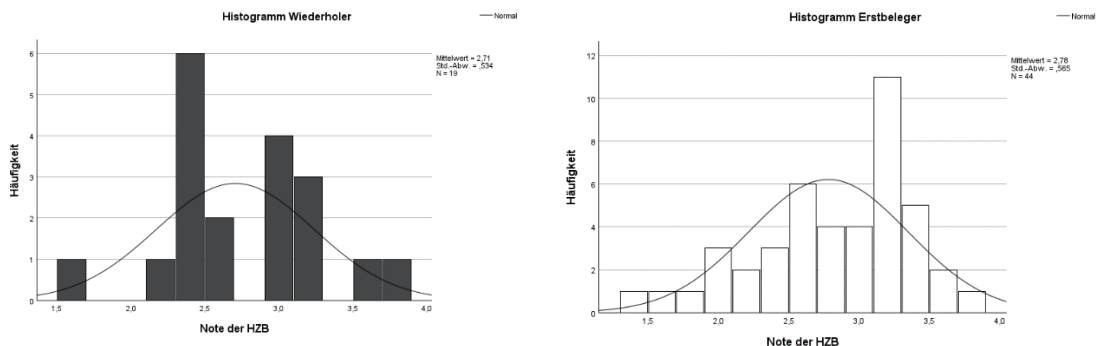


Abbildung 10-3 Histogramme der Wiederholer und Erstbeleger für die Note der Hochschulzugangsberechtigung

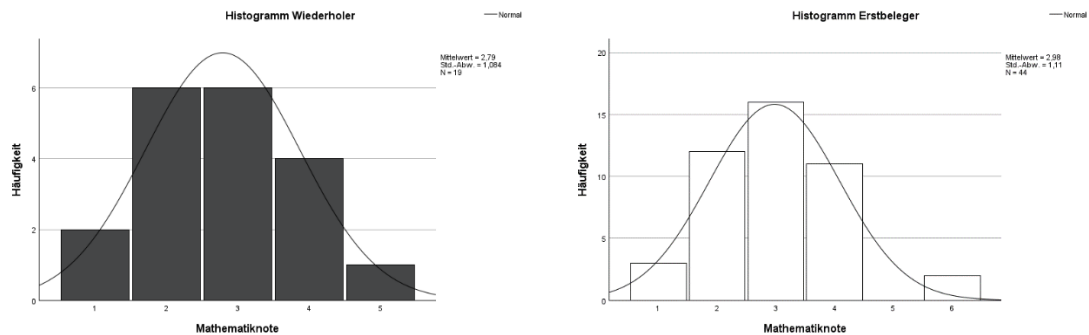


Abbildung 10-4 Histogramme der Wiederholer und Erstbeleger für die Mathematiknote

Der Gruppenunterschied ist aber für beide Kontrollvariablen nach dem Welch-Test nicht statistisch signifikant (vgl. Tabelle 10-4). Hier wird die zweiseitige Signifikanz verwendet, da keine gerichtete Hypothese vorliegt. Da die Wiederholer im Gegensatz zu den Erstbelegern ebenso keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs im Wissenstest aufweisen (vgl. Anhang C, Tab. C-7), wird nicht von einer Verzerrung der Testergebnisse ausgegangen, sodass die Wiederholer damit keine weitere Gruppe darstellen, sondern im Datensatz erhalten bleiben.

Tabelle 10-4 Gruppenvergleich des Wiederholstatus in den Kontrollvariablen

Gruppenvergleich	Kontrollvariable	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	Zweiseitiges <i>p</i>
Wdh. vs. Ersti	Note der HZB	$t(36.114) = -.513$	-.138	.611
	Mathematiknote	$t(34.981) = -.626$	-.170	.535

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Wdh = Wiederholer, Ersti = Erstbeleger des Kurses, Cohens *d* = Effektstärke und *p* = zweiseitige Signifikanz

Im Folgenden wird ergänzend der Gruppenvergleich zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe durchgeführt, wenn die Wiederholer erhalten bleiben. Der Mittelwert der Experimentalgruppe liegt im Wissenstest zum Prä-Messzeitpunkt bei $\mu_{EG} = .49$ und der Mittelwert der Kontrollgruppe bei $\mu_{KG} = .40$ (vgl. Abbildung 10-5), sodass die Experimentalgruppe zwar durchschnittlich bessere Leistungen im Wissenstest vor der Intervention aufweist, diese aber nicht statistisch signifikant sind (vgl. Tabelle 10-5). Die Standardabweichung ist bei der Kontrollgruppe leicht geringer ($SD_{EG} = .18$; $SD_{KG} = .16$).

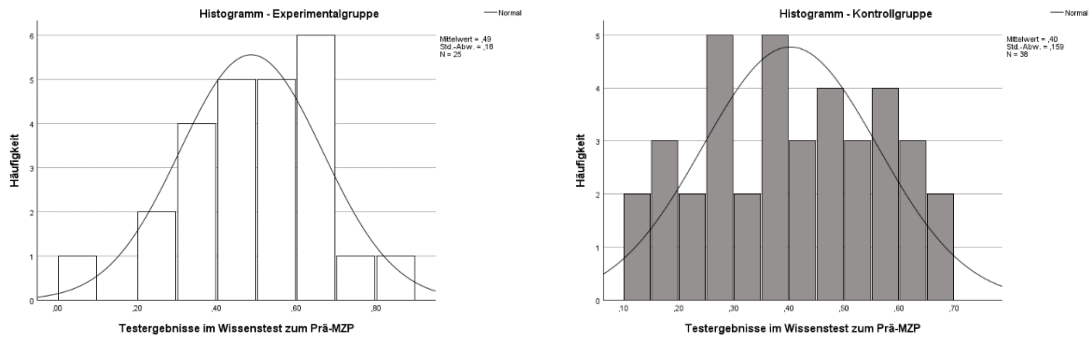


Abbildung 10-5 Histogramme beider Gruppen für den Wissenstest zum Prä-MZP

Beide Gruppen zeigen eine Normalverteilung in den Testergebnissen des Wissenstest zum Prä-MZP (s. Anhang C). Die nachfolgenden Boxplots (s. Abb. 10-6) zeigen keine Ausreißer.

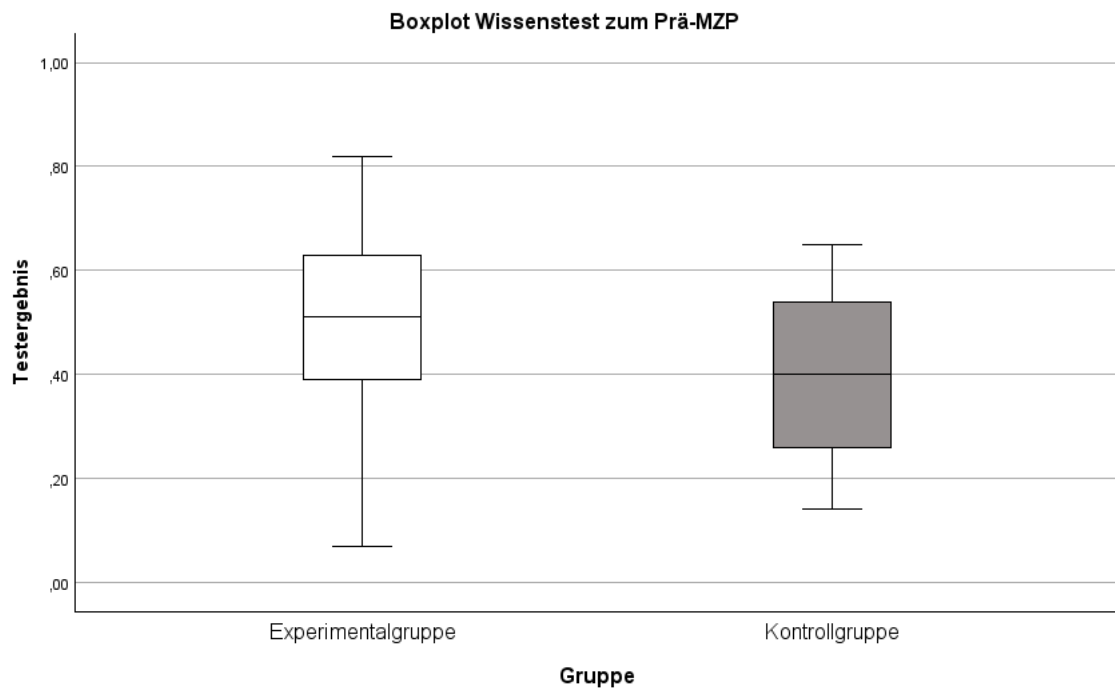


Abbildung 10-6 Boxplots beider Gruppen für den Wissenstest zum Prä-MZP

Als Vergleichsinstrument zu den anderen Analysen wird der Welch-Test durchgeführt.

Der Welch-Test zeigt, dass vor der Intervention kein signifikanter Gruppenunterschied im Wissen über den Modellierungskreislauf zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe vorliegt, sodass im Folgenden der Prä-Post-Vergleich durchgeführt werden kann (s. Tabelle 10-5). Hier wird die zweiseitige Signifikanz verwendet, da keine gerichtete Hypothese vorliegt.

Tabelle 10-5 Gruppenvergleich der Testergebnisse im Wissenstest zum Prä-MZP

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	Zweiseitiges <i>p</i>
EG vs. KG	$t(46.948) = 1.910$	.505	.062
<i>Anmerkung.</i> * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$			
Mit EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, Cohens <i>d</i> = Effektstärke und <i>p</i> = Signifikanz			

10.2.2.2 Prä-Post-Vergleich des deklarativen Wissens über den MDK über eine Stichprobe

In diesem Unterkapitel soll der Lernzuwachs im Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik erfasst und je Gruppe bewertet werden ($N_{Items} = 17$, $N_{KG} = 28$, $N_{EG} = 18$). Zunächst ist anhand der Boxplots zu erkennen, dass in beiden Gruppen ein Lernzuwachs zu verzeichnen ist (s. Abb. 10-7).

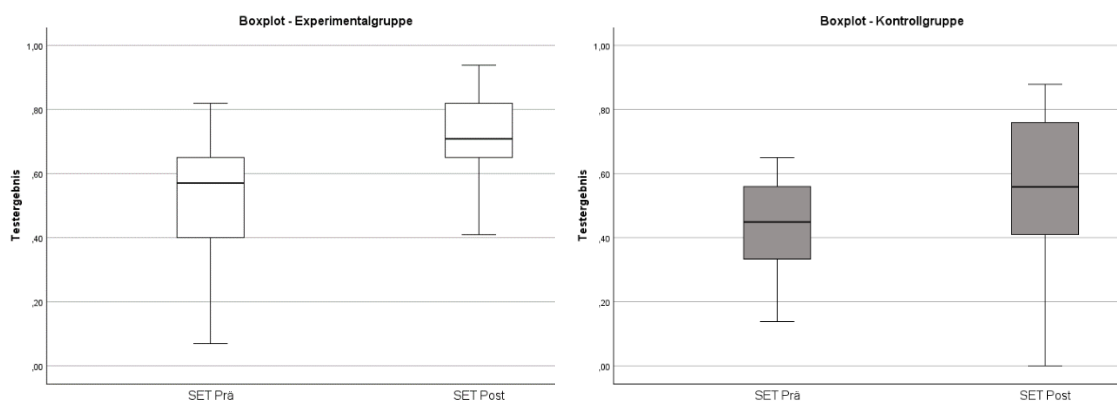


Abbildung 10-7 Boxplots der Prä-Post-Differenzen beider Gruppen im Wissenstest zum Prä-MZP

Die Experimentalgruppe zeigt zum Post-Messzeitpunkt einen deutlich höheren Mittelwert und eine geringere Standardabweichung als die Kontrollgruppe ($\mu_{EG} = .73, SD_{EG} = .13, \mu_{KG} = .55, SD_{KG} = .23$). Aufgrund der Normalverteilung der Prä-Post-Differenzen in beiden Gruppen (vgl. Anhang C) kann im Folgenden jeweils der t-Test für verbundene Stichproben berechnet werden. Die Kontrollgruppe zeigt im Lernzuwachs einen geringeren Mittelwert und eine höhere Standardabweichung als die Experimentalgruppe ($\mu_{KG} = -.12, SD_{KG} = .22, \mu_{EG} = -.21, SD_{EG} = .18$). Um den Effekt des Lernzuwachses genauer zu beschreiben, ist der t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt worden (s. Tabelle 10-6).

Tabelle 10-6 Prä-Post-Mittelwertvergleich pro Gruppe für den Wissenstest

Gruppe	Gepaarter t-Test	Cohens <i>d</i>	Zweiseitiges <i>p</i>
KG	$t(27) = -2.749$	-.520	.011*
EG	$t(17) = -4.998$	-1.178	<.001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit EG=Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, Cohens *d* = Effektstärke und *p* = zweiseitige Signifikanz

Der t-Test für verbundene Stichproben bestätigt für beide Gruppen einen signifikanten Lernzuwachs im Wissenstest mit mittelstarkem Effekt für die Kontrollgruppe ($d = -.520$) und einer großen Effektstärke von $d = -1.178$ für die Experimentalgruppe, sodass eine höhere Tendenz im Lernzuwachs für die Experimentalgruppe angenommen werden kann.

10.2.2.3 Gruppenvergleich des Lernzuwachses im deklarativen Wissen über den MDK

Um den Unterschied im Lernzuwachs im Wissen über den Modellierungskreislauf auf die Lehrmethode zurückzuführen, werden nun die Lernzuwächse der Gruppen direkt miteinander verglichen (s. Abb. 10-8).

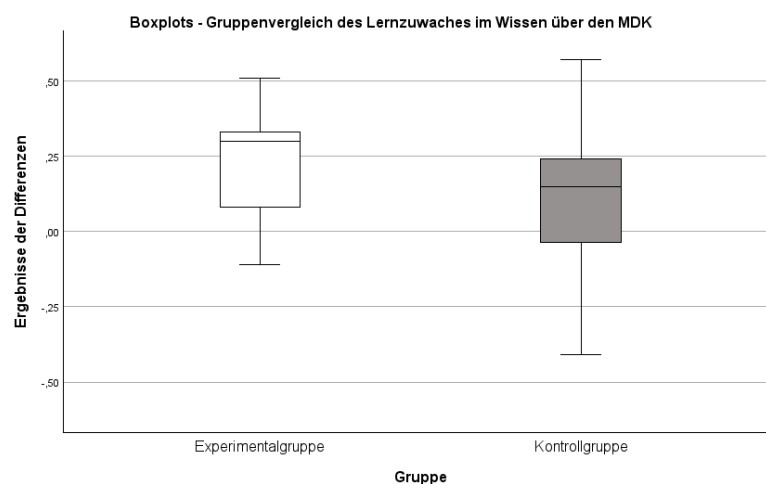


Abbildung 10-8 Boxplot über den Lernzuwachs im Wissenstest je Gruppe im Vergleich

Grafisch ist anhand Abbildung 10-8 zu erkennen, dass der Lernzuwachs für die Experimentalgruppe höher ausfällt als für die Kontrollgruppe. Der minimale (negative) Lernzuwachs, also eine Verschlechterung zum zweiten Messzeitpunkt, ist bei der Kontrollgruppe höher ($MIN_{EG} = -.11$; $MIN_{KG} = -.41$), aber auch der maximale Lernzuwachs ist bei der Kontrollgruppe höher als bei der Experimentalgruppe ($Max_{EG} = .51$; $Max_{KG} = .57$). Die Standardabweichung und der Mittelwert fallen im Lernzuwachs für die Experimentalgruppe besser aus ($SD_{EG} = .18$; $SD_{KG} = .22$; $\mu_{EG} = .21$; $\mu_{KG} = .12$).

Anschließend soll nun ein Test berechnet werden, der den Mittelwertvergleich des Lernzuwachses beider Gruppen durchführt. Die Ergebnisse dieses Vergleichs mithilfe des Welch-Tests zeigen keinen signifikanten Gruppenunterschied im Lernzuwachs des Wissens über den Modellierungskreislauf in Statik auf (s. Tabelle 10-7). Im Anhang C sind die Ergebnisse einer Poweranalyse dargestellt, um die Teststärke zu bestimmen, bei der dieser Gruppenvergleich einen signifikanten Unterschied zeigen würde.

Tabelle 10-7 Gruppenvergleich des Lernzuwachses im Wissenstest

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	Einseitiges <i>p</i>
EG vs. KG	$t(41.852) = 1.572$	.452	.062

Anmerkung. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$
Mit EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, Cohens *d* = Effektstärke und *p* = Signifikanz

10.2.3 Anwendung des Modellierungskreislaufs im Leistungstest

Nun soll bezüglich der zweiten Forschungsfrage geprüft werden, ob das Strategietraining Einfluss auf die Anwendung des Wissens über den Modellierungskreislauf in TM1 hat. Es wird eine verbesserte Anwendung dieses Kreislaufs im Kontrast zur Kontrollgruppe erwartet.

Zur Überprüfung dieser Annahme werden erst anfängliche Gruppenunterschiede in den Testergebnissen des Leistungstests ausgeschlossen, dann der Lernzuwachs je Gruppe im Leistungstest erfasst und anschließend der Lernzuwachs beider Gruppen direkt miteinander verglichen, um einen erhöhten Lernzuwachs in der Anwendung des MDK auf das Strategietraining zurückführen zu können. Damit kann dann die zweite Forschungsfrage beantwortet werden:

F2: Hat ein explizites Strategietraining eine verbesserte Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben zur Folge?

10.2.3.1 Gruppenunterschiede in der Anwendung des MDK vor der Intervention

Zunächst muss geprüft werden, ob vor der Intervention Gruppenunterschiede vorliegen. Dazu wird erst der Einfluss der Kurswiederholer untersucht. Sofern diese als separate Gruppe ausgeschlossen werden können, erfolgt ein Gruppenvergleich der Testergebnisse des Wissenstests zwischen der Kontroll- und Experimentalgruppe zum Prä-Messzeitpunkt.

Wiederholer ($N = 19$) haben zum Prä-MZP signifikant bessere Ergebnisse im Leistungstest als Erstbeleger des Kurses ($N_{Wdh} = 19$; $N_{Ersti} = 45$; $\mu_{Wdh} = .06$; $\mu_{Ersti} = .01$; $SD_{Wdh} = .07$; $SD_{Ersti} = .05$). Die Verteilungen der Testergebnisse sind für keine der beiden Gruppen normalverteilt (vgl. Anhang C). Hier ist die einseitige Signifikanz betrachtet worden, da eine gerichtete Hypothese vorliegt: es wird vermutet, dass die Wiederholer bessere Leistungen zum Prä-Messzeitpunkt aufweisen.

Der Gruppenunterschied ist nach dem Welch-Test statistisch signifikant ($t(26.901) = 2.350, p = .013^*$) und zeigt einen mittelstarken Effekt (Cohens $d = .723$). Diese Ergebnisse sollten hinsichtlich des Testinstruments interpretiert werden, da der Leistungstest mit dem Fokus auf der Anwendung des Modellierungsprozesses in TM1 ohne Vorwissen in Statik, welches die Erstbeleger des Kurses im Gegensatz zu den Wiederholern nicht aufweisen können, und durch das offene Testformat kaum sachgerecht zu bearbeiten ist (s. Abbildung 10-9).

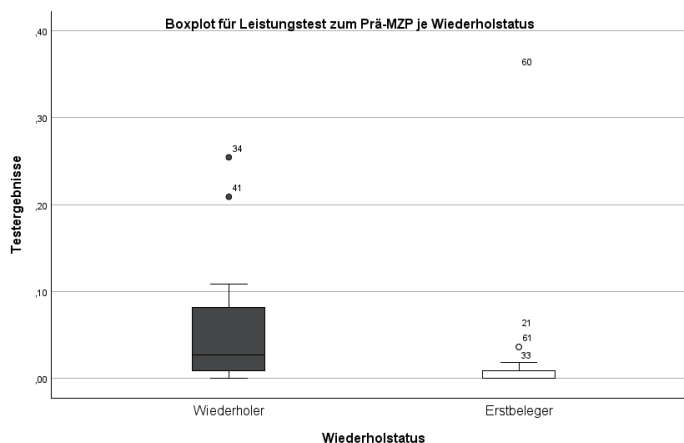


Abbildung 10-9 Boxplots der Wiederholer und Erstbeleger über den Leistungstest zum Prä-MZP

Da bereits in Abschnitt 10.2.1 für den Wissenstest die Kontrollvariablen zwischen Wiederholern und Erstbelegern verglichen wurden und hier keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt wurden, verbleiben die Wiederholer ebenfalls im Datensatz für den Leistungstest. Die Wiederholer zeigen auch im Leistungszuwachs im Leistungstest keine signifikanten Unterschiede (vgl. Anhang C, Tab. C-7).

Auch hier wird im Folgenden ergänzend ein Gruppenunterschied zwischen Experimental- und Kontrollgruppe (inklusive der Wiederholer) hinsichtlich der Prä-Leistungen im Leistungstest durchgeführt, um den Prä-Post-Vergleich im Folgenden sicherzustellen. Der Gruppenvergleich zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe zu Beginn des Semesters soll überprüfen, ob Unterschiede zwischen der Experimental- ($N_{EG} = 24$) und der Kontrollgruppe ($N_{KG} = 40$) bestehen. Die Analyse der Daten des Leistungstests zum Prä-Messzeitpunkt zeigt für die Experimentalgruppe keine Normalverteilung, was durch den Shapiro-Wilk-Test bestätigt wird. Für die Kontrollgruppe kann ebenfalls keine Normalverteilung festgestellt werden (s. Anhang C).

Aufgrund der Tatsache, dass zu Beginn des Semesters kaum Vorwissen vorhanden sein kann (außer bei den Wiederholern des Kurses), ist hier von einer geringen Lösungsquote im Leistungstest zum Prä-MZP auszugehen (Experimentalgruppe: $\mu_{EG} = .03, SD_{EG} = .07$; Kontrollgruppe: $\mu_{KG} = .03, SD_{KG} = .05$).

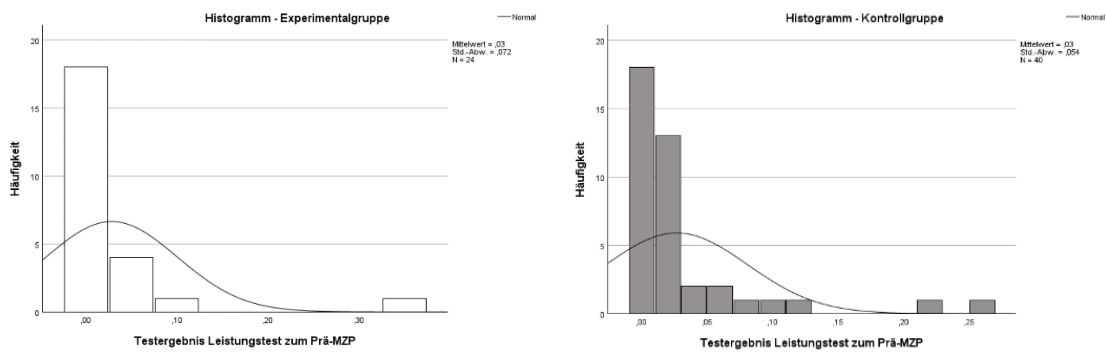


Abbildung 10-10 Histogramme beider Gruppen für den Leistungstest zum Prä-MZP

Die Mittelwerte im Leistungstest zum Prä-MZP sind fast identisch, die Standardabweichung ist in der Experimentalgruppe leicht höher. Der Welch-Test zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede zum Prä-MZP zwischen den Gruppen vorliegen, sodass der Vergleich des Lernzuwachses im Folgenden möglich ist (s. Tabelle 10-8). Hier wird die zweiseitige Signifikanz berücksichtigt, da keine gerichtete Hypothese vorliegt.

Tabelle 10-8 Gruppenvergleich des Leistungstests zum Prä-Messzeitpunkt

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	Zweiseitiges <i>p</i>
EG vs. KG	$t(38.457) = .097$	.027	.924

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, Cohens *d* = Effektstärke und *p* = zweiseitige Signifikanz

10.2.3.2 Prä-Post-Vergleich der Anwendung des MDK in TMI über eine Stichprobe

Nach erfolgter Prüfung der Anfangsbedingungen beider Gruppen zum Prä-MZP wird im nächsten Schritt die Anwendung des Modellierungskreislaufs hinsichtlich des Lernzuwachses im Leistungstest analysiert. Der Vergleich der Boxplots für die Prä- und Post-Messzeitpunkte zeigt einen Lernzuwachs in beiden Gruppen (s. Abb. 10-11). Insgesamt ist erkennbar, dass die Experimentalgruppe zum Post-Messzeitpunkt bessere Ergebnisse erzielt ($\mu_{EG} = .27$; $SD_{EG} = .16$), während die Kontrollgruppe im Vergleich zur Experimentalgruppe sowohl einen niedrigeren Mittelwert als auch eine leicht höhere Standardabweichung aufweist ($\mu_{KG} = .20$; $SD_{KG} = .17$).

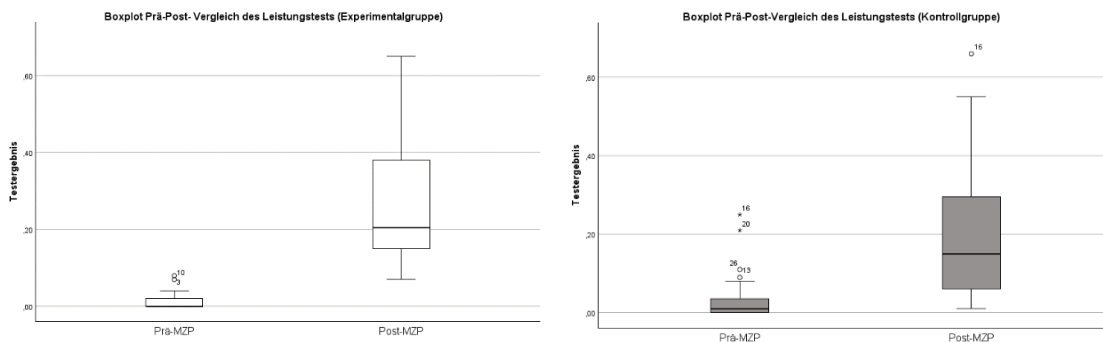


Abbildung 10-11 Prä-Post-Vergleich des Lernzuwachses beider Gruppen im Leistungstest

Die Boxplots zeigen einige Ausreißer zum Prä-MZP, die aufgrund des Wiederholstatus bereits vorhandenes Vorwissen zurückgeführt wurden und somit im Datensatz erhalten bleiben. Zum Post-MZP gibt es einen Ausreißer nach oben in der Kontrollgruppe, der auf eine besonders gute Leistung im Leistungstest zum Post-MZP hindeutet, der ebenfalls im Datensatz erhalten bleibt, da kein systematischer Fehler zu identifizieren ist.

Da in der Kontrollgruppe zu keinem Messzeitpunkt eine Normalverteilung der Daten im Leistungstest vorliegt (s. Anhang C), wird hier der nicht-parametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet (vgl. Tabelle 10-9).

Tabelle 10-9 Prä-Post-Vergleich mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Leistungstest pro Gruppe

Gruppe	N	z	r	zweiseitiges p
EG	18	3.724	.878	<.001***
KG	27	4.542	.874	<.001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, N = Stichprobenumfang, z = standardisierte Teststatistik, r = Effektstärke und p = Signifikanz

Beide Gruppen zeigen einen hohen Lernzuwachs im Leistungstest ($r > .50$). Die Experimentalgruppe zeigt einen Lernzuwachs mit einer leicht höheren Effektstärke als die Kontrollgruppe ($r_{EG} = .878$; $r_{KG} = .874$).

10.2.3.3 Gruppenvergleich des Lernzuwachses in der Anwendung des MDK

Um auch im Rahmen des Leistungstests eine Rückführung des Lernzuwachses auf das eingesetzte Strategietraining zu erzielen, wird im Folgenden der im vorherigen Abschnitt aufgezeigte Lernzuwachs je Gruppe direkt miteinander verglichen. Zunächst ist anzumerken, dass die Experimentalgruppe einen um ca. 9 % höheren Lernzuwachs im Leistungstest aufweist, die Standardabweichung ist ähnlich hoch ($\mu_{KG} = .16, SD_{KG} = .15, \mu_{EG} = .25, SD_{EG} = .16$).

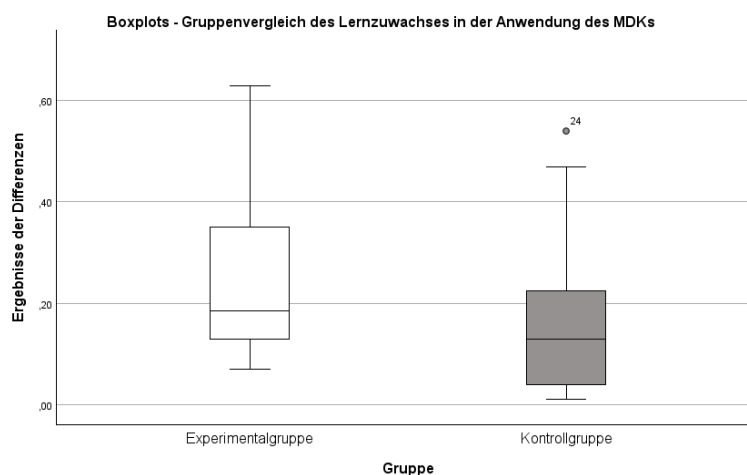


Abbildung 10-12 Boxplot über den Lernzuwachs im Leistungstest je Gruppe im Vergleich

Es existiert ein Ausreißer in der Kontrollgruppe. Dieser wird lediglich auf einen starken Lernzuwachs zurückgeführt, aber nicht aus den Daten ausgeschlossen, da von einer korrekten Bearbeitung ausgegangen wird. Der Test auf Normalverteilung (s. Anhang C) zeigt, dass nur der Lernzuwachs der Experimentalgruppe normalverteilt ist, sodass der Gruppenvergleich im Folgenden mit dem Welch-Test durchgeführt wird (vgl. Tabelle 10-10). Es zeigt sich, dass sich die Gruppen im Lernzuwachs im Leistungstest signifikant unterscheiden. Die Experimentalgruppe zeigt einen signifikant höheren Lernzuwachs mit einem mittelstarken Effekt (Cohens $d = .587$).

Tabelle 10-10 Gruppenvergleich des Lernzuwachses im Leistungstest

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens d	Einseitiges p
EG vs. KG	$t(34.580) = 1.898$	.587	.033*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, Cohens d = Effektstärke und p = Signifikanz

10.3 Beantwortung der Forschungsfragen

Anschließend an die im vorherigen Kapitel dargestellte Auswertung der Testinstrumente müssen die erzielten Ergebnisse nun im Kontext der formulierten Forschungsfragen eingeordnet werden. Hierzu werden beide Forschungsfragen zur Übersicht kurz wiederholt und nachfolgend jede Hypothese in den folgenden Abschnitten einzeln geprüft.

Die **erste Forschungsfrage** lautet: Hat ein explizites Strategietraining eine Verbesserung im deklarativen Wissen über den für die Statik spezifischen Modellierungskreislauf zur Folge?

Die **zweite Forschungsfrage** lautet: Hat ein explizites Strategietraining eine verbesserte Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben zur Folge?

10.3.1 Hypothese 1

Die **erste Forschungshypothese** lautet: Das Strategietraining verbessert das deklarative Wissen über den für Statik spezifischen Modellierungskreislauf.

Zur Überprüfung dieser Hypothese sind die Ergebnisse aus Abschnitt 10.2.2 einzuordnen. Beide Gruppen zeigten einen signifikanten Lernzuwachs im deklarativen Wissen über den Modellierungskreislauf in Statik, dabei wies die Experimentalgruppe einen hohen Effekt im Lernzuwachs auf (Cohens $d = -1.178$; Pearsons $r = .455$) und die Kontrollgruppe nur einen mittelstarken Effekt (Cohens $d = -.520$; Pearsons $r = .736$).

Die Ergebnisse des direkten Gruppenvergleiches aus Abschnitt 10.2.2.3 zeigten allerdings keinen signifikanten Gruppenunterschied im Lernzuwachs des Wissens über den MDK.

Die Hypothese H1 kann folglich nicht bestätigt werden, da anhand des direkten Gruppenvergleichs nicht gezeigt werden konnte, dass eine Verbesserung im Lernzuwachs des Wissens über den MDK in TM1 zurückführend auf das Strategietraining statistisch nachweisbar ist.

10.3.2 Hypothese 2

Die zweite Forschungsfrage bezieht sich auf die Anwendung des MDK. Hierzu lautet die **zweite Forschungshypothese H2**: Das Strategietraining verbessert die Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben.

Damit sollte eine Verbesserung in der Anwendung des Modellierungskreislaufs beim Lösen von Statikaufgaben anhand einer erhöhten Lösungsquote im Leistungstest nachweisbar sein, die mithilfe eines Gruppenvergleichs hinsichtlich der Lernzuwächse im Leistungstest auf das Strategietraining zurückgeführt werden kann. Zur Überprüfung dieser Hypothese sind die Ergebnisse aus Abschnitt 10.2.3 zu bewerten. Beide Gruppen zeigten einen signifikanten Lernzuwachs in der Anwendung des für Statik spezifischen Modellierungskreislaufs im Leistungstest mit einer hohen Effektstärke (vgl. Tabelle 10-9). Die Ergebnisse des Gruppenvergleiches aus Abschnitt 10.2.3.3 zeigten zudem, dass der Lernzuwachs der Experimentalgruppe um 9 % höher ist als der Lernzuwachs der Kontrollgruppe. Dieser Gruppenunterschied ist statistisch signifikant (vgl. Tabelle 10-10) und zeigt einen mittelstarken Unterschied an (Cohens $d = .587$).

Die Hypothese H2 kann folglich angenommen werden, sodass von einem positiven Effekt des Strategietrainings auf die Anwendung des MDK auf Statikaufgaben ausgegangen werden kann.

11. Diskussion der Ergebnisse

Dieses Kapitel soll der Diskussion über die Durchführung sowie die Ergebnisse der durchgeführten Studie dienen. Hierzu werden sowohl die Stärken als auch Schwächen dieser Studie vorgestellt. Zunächst wird über das Studiendesign reflektiert, danach schließen sich die Diskussionen der Ergebnisse zu den beiden vorgestellten Forschungsfragen an. Im Anschluss an das Kapitel erfolgt der Ausblick, der sowohl die Auswirkungen auf die Lehre in Statik vorstellt als auch Optimierungsmöglichkeiten für eine mögliche Anschlussforschung präsentiert.

11.1 Diskussion des Studiendesigns

Das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Kontrollgruppendesign zur Beurteilung der eingesetzten Intervention unterliegt einigen Grenzen, die im Folgenden diskutiert werden sollen. Die Intention des Untersuchungsdesigns ist es, einen direkten Vergleich zwischen zwei Gruppen durchführen zu können, um Testergebnisse direkt auf die Intervention zurückführen zu können. Dafür müssen Störfaktoren minimiert und Randbedingungen kontrolliert werden, damit sich der Gruppenvergleich auf die verwendete Lehrmethode referenzieren lässt.

Diese methodische Strenge in der Kontrolle der Rahmenbedingung des Untersuchungsdesigns setzt die Anforderungen an die interne Validität hoch. Hinsichtlich dieser Kontrolle sind Bedingungen wie die z. B. die Durchführung der Übungen oder Testungen unter Anwesenheit eingehalten worden. Die Anwesenheit in den Übungen wurde kontinuierlich streng kontrolliert und die Tests haben vor Ort in den E-Assessment-Räumen der Hochschule unter Einbindung weiterer Aufsichtspersonen stattgefunden. Damit konnten Täuschungsversuche verhindert und folglich Verzerrungen in den Testdaten umgangen werden. Aufgrund der digitalen Umsetzung der Testinstrumente in Moodle konnte aufgrund der automatisierten Bewertung die Objektivität der Testergebnisse sichergestellt werden. Auch mögliche Probleme bei der Testbearbeitung konnten aufgrund sorgfältiger Pilotierungen im Vorfeld gänzlich vermieden werden. Die Pilotierungen der Testinstrumente ermöglichten auch die Analyse der Aufgabenstruktur und -inhalte, der Systemeingaben sowie der Bearbeitungszeit vorab, sodass für die Hauptstudie repräsentative Rahmenbedingungen geschaffen wurden.

Um dennoch in der Lage zu sein, den Effekt möglichst genau auf das Strategietraining zurückführen zu können, sind mithilfe eines Fragebogens Kontrollvariablen wie der Wiederholstatus oder bereits bestätigte Prädiktoren wie die Note der HZB oder die Mathematiknote erfasst worden.

Hinsichtlich der Übertragung der Studie auf andere Hochschulen oder Universitäten bestehen Grenzen, da eine so hohe interne Validität wie im Rahmen dieser Untersuchung und die damit verbundene starke Kontrolle der Störeinflüsse extern schwer realisierbar sind und schnell mit der Erweiterung des Stichprobenumfangs eingeschränkt werden. Auch das Ausweiten auf mehrere Lehrpersonen würde weitere Störeinflüsse beinhalten, da möglicherweise das Strategietraining nicht mehr identisch erfolgen würde. Das zeitgleiche Testen vor Ort mit mehreren Studierenden an Rechnern der Hochschule oder Universität wird schnell aus Kapazitätsgründen begrenzt.

Es lässt sich aber festhalten, dass die Ergebnisse im Rahmen dieser Arbeit valide sind und die Einführung des Strategietrainings an anderen Hochschulen und Universitäten empfohlen werden kann. Dabei kann der Standort, die Art der Bildungseinrichtung (Hochschule oder Universität) und der Studiengang (alle ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge, die das Fach Statik beinhalten) variiert werden, da die inhaltlichen Übereinstimmungen über diese Grenzen hinweg vorhanden sind (s. Kapitel 2). Zudem stellt die Stichprobengröße eine Limitation der Studie dar. Eine kleine Stichprobe kann die Generalisierbarkeit der Ergebnisse stark einschränken. Daher sind die Wiederholer im Datensatz erhalten geblieben, um die Stichprobe nicht weiter zu reduzieren. Das kann als kritisch reflektiert werden, da die Wiederholer in den Prä-Leistungen in beiden Tests, die sehr spezifisches Fachwissen abfragen, bessere Leistungen zeigen und somit eine Verzerrung der Ergebnisse nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Da die Wiederholer aber weder in den Kontrollvariablen noch in den Lernzuwächsen jeweils signifikante Unterschiede zu den Erstbelegern des Kurses aufzeigen, ist diese Verzerrung als gering eingeschätzt worden.

Ein weiterer Limitationsfaktor kann in der Randomisierung der Gruppenbildung liegen. Diesem Faktor ist mit der strengen Kontrolle der Anfangsbedingungen entgegengewirkt worden, indem Kontrollvariablen wie die Note der HZB oder die Mathematiknote und das Vorwissen in Statik differenziert je Gruppe betrachtet und miteinander verglichen wurden.

Da es sich sowohl beim Wissens- als auch Leistungstest um neu entwickelte Testinstrumente handelt, sollten weitere Untersuchungen erfolgen, sodass Validierungen der Testinstrumente auf andere Stichproben geprüft werden sollten. Aufgrund der teilweise sogar wiederholten Pilotierung der Testinstrumente und der sorgfältigen Analysen kann hier aber von validen, reliablen und objektiven Testinstrumenten ausgegangen werden.

Die Reliabilitätsanalysen (vgl. Kapitel 9.4) haben gezeigt, dass hier Optimierungsbedarf besteht und dass der Wissenstest zur Erfassung der Modellierungskompetenz für eine Prä-Testung verbessert werden kann. Bei der Prä-Testung muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Mechanik kein Schulfach ist und oft kein Vorwissen vor Belegung des Kurses im Studium vorhanden ist, sodass auch eine Anpassung der Testinstrumente nicht viel an diesen Bodeneffekten zum Prä-Messzeitpunkt ändern kann.

Eine weitere Grenze der Studie liegt in der Gefahr „*Teaching to the Test*“: Der Leistungstest ist analog zu der Struktur des Lernmaterials im Strategietraining aufgebaut. Dem Aspekt sollte entgegengewirkt werden, indem ergänzend für alle Studierende gleichermaßen E-Learning-Aufgaben in diesem Format zum Selbststudium in den Moodle-Kurs eingebunden wurden.

11.2 Diskussion der ersten Forschungsfrage

Die erste Forschungsfrage nimmt den Einfluss des Strategietrainings auf die Entwicklung des deklarativen Wissens über den Modellierungskreislauf in Statik in den Fokus. Hier konnte zwar je Gruppe ein signifikanter Lernzuwachs im Wissen über den MDK vom Prä- zum Post-Messzeitpunkt nachgewiesen werden, aber im direkten Gruppenvergleich zeigte sich unter Berücksichtigung der anfänglichen Leistung bei gegebener Stichprobe kein signifikanter Unterschied im Lernzuwachs. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der Wissenstest als Multiple-Choice-Test vorliegt. Da das abgefragte Wissen sehr fachspezifisch ist und sich auf den Modellierungsprozess beim Lösen von Statikaufgaben bezieht, zu dem als Erstbeleger des Kurses kaum bis keine Vorkenntnisse vorhanden sein können, ist das Erfassen dieses speziellen Wissens zum Prä-Messzeitpunkt zwar möglich, aber die interne Konsistenz des Testinstruments zum Prä-Messzeitpunkt wurde aufgrund der gegebenen Ratewahrscheinlichkeit als fragwürdig eingeschätzt (s. Abschnitt 9.4.1.3). Die Herausforderung, dieses spezifische Wissen bereits vor Belegung des Kurses operationalisieren zu können, spiegelt sich folglich in der Reliabilitätsanalyse des Wissenstests (vgl. Kapitel 9.4.1.3) wider. Zu jedem Inhaltsbereich sind Items in der überarbeiteten Testversion, welche für die Auswertung zugrunde gelegt wurde, enthalten geblieben. Aber der Inhaltsbereich *Schnittgrößen* ist nur mit einem Item im Test verblieben. Dieser Inhaltsbereich ist aber essentiell für die Statik und ein sehr geeigneter Anwendungsbereich für das Modellierungsschema. Das sollte auch bei dem Vergleich zur Anwendung des MDK (s. nächster Abschnitt) berücksichtigt werden. Die hohe Anzahl an Items mit unzureichender Trennschärfe zeigt auch den Einfluss der Ratewahrscheinlichkeit und damit die möglichen Folgen auf eine Verzerrung der Testergebnisse.

Da die Studie an der Hochschule Ruhr West stattfand und die Stichprobe aufgrund der weiterhin eher geringen Einschreibezahlen nicht systematisch vergrößert werden kann, wurde von einem weiteren Überarbeitungszyklus abgesehen. Dennoch wurde das Instrument als geeignet für die vorliegende Untersuchung bewertet. Die Skalenreliabilität zum Zeitpunkt der Post-Messung war nach der Überarbeitung des Testinstruments gut und die Items mit niedrigen Trennschärfen wurden aus dem Test ausgeschlossen, sodass hier von einer guten Leistungstrennung ausgegangen wird. Auch die Überprüfung der Konstruktvalidität mit dem Leistungstest, der Klausur und den Kontrollvariablen bestätigt den Einsatz des Testinstruments.

Der t-Test für verbundene Stichproben bestätigte für beide Gruppen einen signifikanten Lernzuwachs im Wissenstest mit mittelstarkem Effekt für die Kontrollgruppe ($d = -.520$) und einer großen Effektstärke von $d = -1.178$ für die Experimentalgruppe (vgl. Kapitel 10.2.2.2), sodass von einer höheren Tendenz im Lernzuwachs für die Experimentalgruppe ausgegangen werden kann (deskriptiv: $\mu_{KG,\Delta} = .12$; $\mu_{EG,\Delta} = .21$), der im direkten Gruppenvergleich aufgrund der kleinen Stichprobe nicht mehr statistisch erfasst werden konnte (vgl. Kapitel 10.2.2.3).

Dabei muss zudem berücksichtigt werden, dass die Wiederholer signifikante Unterschiede in den Testergebnissen zum Prä-Messzeitpunkt im Wissenstest aufzeigten und sich vermehrt der Kontrollgruppe zuordneten (13/19), sodass möglicherweise der Effekt des Lernzuwachses im Vergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe daher etwas abgeschwächt wird (s. Tabelle 10-7).

Vergleicht man aufgrund der fragwürdigen Reliabilität des Wissenstests zum Prä-Messzeitpunkt und der Verteilung der Wiederholer in den Gruppen die Testergebnisse im Wissenstest zum Post-MZP zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe, zeigt der Welch-Test (vgl. Tabelle C-13), dass die Experimentalgruppe bessere Leistungen im Wissenstest erzielt, die einen großen Effekt des Strategietrainings (Cohens $d = .887$) annehmen lässt. Die Ergebnisse sind dann weniger stark kontrollierbar, da das Anfangsniveau im Wissenstest demnach nicht berücksichtigt wird.

11.3 Diskussion der zweiten Forschungsfrage

Die zweite Forschungsfrage thematisiert den Einfluss des Strategietrainings auf die Anwendung des Modellierungskreislaufs in Statik bei dem Lösungsprozess von Statikaufgaben. Zur Evaluation dieser Forschungsfrage ist ein neu entwickelter Leistungstest eingesetzt worden, welcher je Item den gesamten Modellierungsprozess beim Lösen von vorstrukturierten Statikaufgaben erfasst, indem alle Modellierungsschritte zusammenhängend ausgeführt werden müssen. Bei dem Vergleich der Ergebnisse im Leistungstest konnte je Gruppe ein signifikanter hoher Lernzuwachs in der Anwendung des MDK im Rahmen des Leistungstest vom Prä- zum Post-Messzeitpunkt nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 10-9). Auch im direkten Gruppenvergleich zeigte sich unter Berücksichtigung der anfänglichen Leistung ein signifikanter Gruppenunterschied im Lernzuwachs, der mit einer mittleren Effektstärke (Cohens $d = .587$) für die Experimentalgruppe signifikant höher ausfiel als für die Kontrollgruppe (vgl. Tabelle 10-9).

Bei einer kritischen Beobachtung dieser Ergebnisse sollten aber die beobachteten Bodeneffekte im Leistungstest zum Prä-Messzeitpunkt berücksichtigt werden. Da auch das abgefragte Wissen im Leistungstest sehr fachspezifisch ist und einer Anwendung eines fachspezifischen Modellierungsschemas anhand offener Aufgabenformate bedarf, sind diese starken Bodeneffekte zum Prä-Messzeitpunkt entstanden. Es zeigen sich hier zum Prä-MZP aber keine signifikanten Unterschiede in den Gruppen. Im Gegensatz zum Wissenstest ist aber aufgrund des offenen Testformats keine Ratewahrscheinlichkeit vorhanden, sodass die Prä-Leistungen hier valider erfasst werden konnten.

Die Reliabilitätsanalyse des Leistungstests (vgl. Kapitel 9.4.2.3) zeigt, dass auch zum Prä-Messzeitpunkt bereits eine akzeptable Reliabilität vorliegt. Die Anzahl der Items mit unscharfer Trennschärfe ist deutlich geringer als im Wissenstest und wird nach Überarbeitung des Testinstruments auf null reduziert, sodass hier der Vergleich des Lernzuwachses im Leistungstest als belastbar eingeschätzt wird. Es ist aber anzumerken, dass die Itemanalyse ergeben hat, dass alle Items aus dem Inhaltsbereich *Kräfte*system aus der finalen Testversion zur Auswertung entfernt wurden. Das lässt sich damit erklären, dass der Modellierungskreislauf dieses Themenbereichs sich von dem der anderen leicht unterscheidet, da hier keine Gleichgewichtsbedingungen angewendet werden, sondern Kräfte und Momente zu einer resultierenden Wirkung zusammengefasst werden. Da es sich um den Kurs Statik handelt, welcher sich hauptsächlich auf die Analyse von Systemen im Gleichgewicht beschränkt, wird dem Ausschluss dieser Items keine große Bedeutung zugemessen.

Allerdings sollte diese Anpassung in den Inhaltsbereichen resultierend aus der Überarbeitung beider Testinstrumente hinsichtlich der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Bei dem Vergleich zum Wissenstest, der die Items zum Inhaltsbereich *Kräfte-systeme* noch integriert hat, aber nur ein Item aus dem repräsentativen Bereich *Schnittgrößen* in der finalen Version bereitstellt, wird demnach der direkte Bezug zwischen dem Wissen über den MDK und der Anwendung des MDK auf Statikaufgaben erschwert.

Es wurde gezeigt, dass Aufgaben in der Statik durch die korrekt ausgeführte Anwendung des Modellierungskreislaufs (s. Kapitel 3) erfolgreich gelöst werden können. Da der Leistungstest in der digitalen Form (bewusst) Aufgaben in den Modellierungsschritten vorstrukturiert zur Verfügung stellt, um diese auch erfassen zu können, muss zwar eine zusammenhängende Anwendung der vollständigen Modellierungsschritte für die Aufgabenlösung erfolgen, aber es ist fragwürdig, ob der Modellierungsprozess auch auf offene Aufgaben übertragen werden kann. Um das zu prüfen, müsste ein Testinstrument entwickelt werden, welches die einzelnen Modellierungsschritte bei der Bearbeitung von offenen, nicht vorstrukturierten Aufgaben objektiv bewertet. Dazu müssten die Modellierungsschritte vollständig von den Studierenden ausgeführt werden und damit als nachvollziehbarer Lösungsweg angegeben werden. Die Bearbeitung der Aufgabe zielt demnach nicht nur auf das korrekte Endergebnis ab, sondern die einzelnen Modellierungsschritte müssten ebenfalls ausgeführt und bewertet werden können. Die digitale Umsetzung für solch ein offenes Format ist möglich, die automatisierte Bewertung je Modellierungsschritt gestaltet sich aber aufgrund der Abhängigkeit der einzelnen Schritte zueinander und der individuellen Eingabe- und Strukturierungsmöglichkeiten in einem offenen Format eher schwierig. Die Bewertung der Klausur als Testinstrument für offene Modellierungsaufgaben in der Statik ist denkbar, sofern die Stichprobe groß genug und die Klausur als Testinstrument valide ist. Hier muss aber dann die geringe Anzahl der Aufgaben, welche in der Prüfungszeit eingesetzt werden kann, bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Im Rahmen dieser Studie ist der Effekt des Strategietrainings auf die Klausurleistung nicht untersucht worden, da nach Ausschluss der dualen Studierenden die Anzahl der Klausurteilnehmenden zu gering war.

11.4 Zusammenfassung

Die Diskussion der hier vorgestellten Forschungsergebnisse zeigte, wo Limitationen dieser Studie liegen. Insgesamt ließ sich aufgrund der kleinen Stichprobe eine hohe interne Validität der Studie realisieren, welche auch durch die strenge Kontrolle der Rahmenbedingung und die damit erzielte Reduzierung der Störeinflüsse sichergestellt wurde.

Aufgrund der kleinen Stichprobe konnten zum einen keine Effekte des Strategietrainings auf den Lernzuwachs im Wissen über den Modellierungskreislauf in TM1 statistisch erfasst werden und zum anderen können die berichteten Effekte des Strategietrainings auf die Anwendung des MDK auf vorstrukturierte Statikaufgaben nicht zwingend generalisiert auf andere Standorte oder Institutionen übertragen werden. Bei dem Einsatz des Strategietrainings auf andere Standorte sollte weiterhin eine starke methodische Strenge realisiert werden, die aufgrund der hohen Anforderungen an das Kontrollgruppendesign erforderlich ist.

Auch die Überarbeitung oder ergänzende Prüfung der Testinstrumente an anderen Hochschulen oder Universitäten mit Studierenden ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge sollte erfolgen, um Testinstrumente mit noch höheren Reliabilitäten einsetzen zu können und zudem Items für jeden Inhaltsbereich ausgleichend zu integrieren. Im Rahmen dieser Studie gelten die Testinstrumente als ausreichend valide, objektiv und reliabel, sodass die gemessenen Effekte als belastbar eingeschätzt werden.

12. Ausblick

Im Rahmen des Ausblicks der vorliegenden Studie sollen die ausgeführten Ergebnisse konkret auf die zukünftige Lehre in der Statik bezogen werden und anschließend weitere Forschungsmöglichkeiten eruiert werden.

Die Ergebnisse legen nahe, ein solches Strategietraining zur Förderung der Modellierungskompetenz in die Lehre der Statik zu übernehmen, um einerseits ein Bewusstsein für das Modellieren zu schaffen und andererseits eine Struktur zur Aufgabebearbeitung als Orientierung vorzugeben. Auch Direnga (2021) zeigte mit ihrem Tutorenkonzept bereits, dass eine tiefgehende Auseinandersetzung mit den verwendeten Modellen beim Bearbeiten von Statikaufgaben zu verbesserten Prüfungsleistungen führt. Das lenkt den Fokus verstärkt auf das Verständnis der verwendeten Modelle und weg von dem prozeduralen Abarbeiten von Aufgaben (Paton, 2010). Die Studierenden empfinden einen Mehrwert aufgrund der Relevanz der Modelle, des Alltagsbezugs und der Reflexion des Kontextes und sind dadurch motivierter als im klassischen Übungskonzept. Mit gesteigerter Motivation in der Lehre und verbesserten Noten steigt auch die übergeordnete Studienmotivation wieder an, sodass den eingangs beschriebenen Studienabbruchquoten entgegen gewirkt werden kann. Der Fokus auf den Modellierungskreislauf und die kontinuierliche visuell eingebundene Struktur konnte im Rahmen der Studie nachgewiesen eine Verbesserung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz erzielen und ist somit zu empfehlen.

Für weitere Forschungsansätze könnte die Langzeitwirkung auf den Studienerfolg der Studierenden untersucht werden. Auch könnten verschiedene Prüfungsformen in Statik evaluiert werden, um zu untersuchen, welche Prüfungsform am ehesten die Kompetenz, die in Statik erworben werden soll, erfasst. Dabei kann der Einfluss der Modellierungskompetenz reflektiert werden. Da die Anwendung des Modellierungskreislaufs bei digitalen Aufgaben bereits gezeigt werden konnte, könnte hier über die Einbindung weiterer digitaler Aufgaben in die Lehre und in die Prüfungen nachgedacht werden.

Es konnte zudem gezeigt werden, dass das Strategietraining eine verbesserte Anwendung des Kreislaufs beim Lösen von vorstrukturierten Statikaufgaben zur Folge hat. Das Strategietraining könnte noch etwas ausgeweitet bzw. umstrukturiert werden, indem der Scaffolding-Ansatz intensiver eingebunden wird. Anhand ergänzender E-Aufgaben und des vorzeitigen Auflösens der vorgegebenen Struktur könnte hier die Übertragung des Modellierungsschemas auf offene Aufgaben eventuell verbessert werden. Um hier den richtigen Zeitpunkt der Strukturreduzierung zu ermitteln, sollte der Lernstand der Studierenden regelmäßig während des Semesters evaluiert werden und zudem weitere Angebote in gleicher Struktur zur Verfügung gestellt werden.

In der Vorlesung könnte eine stärkere Fokussierung auf den Modellierungskreislauf gelegt werden, die semesterbegleitenden E-Aufgaben und das Tutorium könnten auch eine stärkere Fokussierung auf die Modellierungsschritte legen, sodass durch noch intensivere Auseinandersetzung mit dem Modellierungsschema eine frühzeitigere Internalisierung erzielt werden könnte. Auch das Einbinden von Reflexionsgesprächen sowie Lauter-Denken-Studien könnte hier hilfreich sein.

13. Zusammenfassung

13.1 Zusammenfassung

Für das Lösen von Statikaufgaben ist eine strukturierte Vorgehensweise und das Verständnis der zu verwendenden Modelle bedeutend (Direnga, 2021; Gross et al., 2011; Müller-Slany, 2018; Paton, 2010). Es bestehen häufig Defizite in der Modellierungskompetenz, die zu einer fehlerhaften Bearbeitung der Aufgaben und damit zu hohen Durchfallquoten in Statik führen (Newcomer & Steif, 2008). Die erfolgreiche Bearbeitung von Statikaufgaben ist durch die Anwendung des Modellierungsschemas in TM1 möglich, welches aber in der Lehre meist nur implizit vermittelt wird (Gross et al., 2011). Angesichts der hohen Abbruchquoten in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen, die oft in einer mangelnden Motivation aufgrund schlechter Leistungen in den Grundlagenfächern begründet sind (Heublein et al., 2022), ergibt sich die Notwendigkeit, diesen Lernprozess gezielt zu unterstützen.

Übungskonzepte bilden in der Lehre das zentrale Lehrformat zur Bearbeitung und Diskussion von Statikaufgaben (Direnga, 2021) und stellen damit einen geeigneten Ansatzpunkt für didaktische Interventionen dar. Die mechanisch-mathematische Modellierung, welche den Lösungsprozess zum Bearbeiten von Statikaufgaben darstellt (Müller-Slany, 2018), liefert die theoretische Grundlage für die vorliegende Arbeit. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Strategietraining als Übungskonzept entwickelt und evaluiert, welches sich an den Forschungserkenntnissen zur (mechanisch-) mathematischen Modellierung orientiert. Zentrale Aspekte erfolgreicher Modellierungskompetenz sind das Verstehen, Erkennen und Anwenden der Modelle (Hankeln & Greefrath, 2021). Um diese Kompetenzen gezielt zu fördern, wurden Aufgaben entwickelt und aufbereitet, die eine systematische Struktur des Modellierungskreislaufs aufzeigen.

Als zentrale Intervention wurde ein Strategietraining konzipiert, das gezielt die Modellierungskompetenz in TM1 fördern soll. Die Evaluation ergab, dass das Strategietraining eine verbesserte Anwendung des Kreislaufs auf vorstrukturierte Statikaufgaben zur Folge hat. Mögliche Störeinflüsse durch Prädiktoren wie die Note der Hochschulzugangsberechtigung oder die Mathematiknote konnten ausgeschlossen werden. Ebenso zeigte sich eine hohe Korrelation zwischen dem Wissen über den MDK und der Anwendung des MDK. Diese Ergebnisse unterstreichen das Potenzial strategiebasierter Trainingsmaßnahmen zur Förderung der mechanisch-mathematischen Modellierungskompetenz.

13.2 Abstract

A structured approach and an understanding of the models to be used are essential for solving statics tasks (Direnga, 2021; Gross et al., 2011; Müller-Slany, 2018; Paton, 2010). However, deficits in modeling competence are common, often leading to incorrect modeling while solving tasks and, consequently, high failure rates in statics (Newcomer & Steif, 2008). The successful completion of statics tasks is possible through the application of the modeling scheme in TM1, which, however, is typically taught only implicitly in lectures (Gross et al., 2011). Given the high dropout rates in engineering degree programs—often due to a lack of motivation resulting from poor performance in foundational subjects (Heublein et al., 2022)—it becomes necessary to provide targeted support for this learning process.

Exercise concepts are the central teaching format in statics education, facilitating solving and discussion statics tasks (Direnga, 2021), making them a suitable starting point for didactic interventions. Mechanical-mathematical modeling, which represents the solution process for statics tasks (Müller-Slany, 2018), provides the theoretical foundation for this study.

As part of this research, a strategy training was developed and evaluated as an exercise concept, based on findings from research on (mechanical-) mathematical modeling. Key aspects of successful modeling competence are understanding, recognizing, and applying models (Hankeln & Greefrath, 2021). To specifically foster these competences, tasks were developed and structured to systematically illustrate the modeling cycle.

As the main intervention, a strategy training was designed to specifically enhance modeling competence in TM1. The evaluation showed that the strategy training led to an improved application of the cycle to pre-structured statics tasks in comparison to the traditional teaching methods.

Potential confounding factors, such as university entrance qualification grades or mathematics grades, could be ruled out as influencing variables. Additionally, a strong correlation was found between knowledge of the modeling cycle and its application. These findings highlight the potential of strategy-based training measures in promoting mechanical-mathematical modeling competence.

A. Beispieldarstellungen der Testaufgaben im Leistungstest

Leistungstest

Exemplarische Darstellung für den Aufgabenteil „Erstellung eines Freischnitts“ im LT

7

Originalsystem

Auf einem einseitig an der Wand befestigten Stützbalken eines Balkons liegt (gleich verteilter) Schnee. Das andere Ende des Balkens liegt auf einer Stützsäule.
 Gegeben: $q = 25 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $a = 2\text{m}$, $F = 120\text{N}$.

Bestimmen Sie die Schnittgrößen Q und M_b mithilfe des **NEGATIVEN** Schnittufers.
 Dargestellt ist hier bereits der Freischnitt des äußeren Systems/Gesamtsystems inkl. der Lagerreaktionen.

Schnittbild

Intervall Schnitt I :

$\leq x \leq$

Resultierende Kraft:

Zeichnen Sie den Freischnitt des Originalsystems. Ziehen Sie die unten zur Verfügung stehenden Elemente dabei wie Drag-and-Drop Elemente an die richtige Stellen.

TIPP: Nicht alle Elemente werden benötigt. Die Länge der Kraftvektoren darf verändert werden.

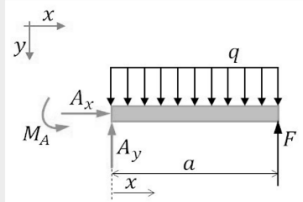
Symbol für den Schnitt: {

M_A	F_R	$F_R = q \cdot a$	{	\uparrow	\downarrow	\leftarrow	\rightarrow
A_x	A_y	$F_R = q \cdot x/2$		$(a-x)/2$			
$F_R = q \cdot (a-x)$	$F_R = q \cdot a/2$	$F_R = q \cdot x$		$a/2$			
$F_R = q \cdot (x-a)$	$F_R = q \cdot (a-x)/2$	$F_R = q \cdot (x-a)/2$		$(x-a)/2$			
$F_R = q \cdot (x-a)/2$	N	Q	M_b	$a-x$			
$F_R = q \cdot (x-a)/2$	0	$a/2$	a	$x-a$			

Abbildung A-1 Exemplarische Darstellung für den Freischnitt im Leistungstest

Beispielhafte Darstellung für den Moodle-Aufbau eines SG-Items im LT

Auf einem einseitig an der Wand befestigten Stützbalken eines Balkons liegt (gleich verteilter) Schnee. Das andere Ende des Balkens liegt auf einer Stützsäule. 1



2

Bestimmen Sie die Schnittgrößen Q und M_b mithilfe des **NEGATIVEN** Schnittufers. 3

Dargestellt ist hier bereits der Freischnitt des äußeren Systems/Gesamtsystems inkl. der Lagerreaktionen.

Gegeben: $q = 25 \frac{N}{m}$, $a = 2 \text{ m}$, $F = 120 \text{ N}$

4

Nutzen Sie zum Zeichnen des Schnittbildes die PowerPointPräsentation aus dem Downloadlink in Aufgabe 1. Vergessen Sie nicht, diese nach Bearbeitung der letzten Aufgabe im Test die Datei zu speichern und anschließend hochzuladen! Den Uploadlink finden Sie nach Abschluss des Tests als neue Aktivität unter dem Test.

Drücken für Gleichungen für gesuchte Schnittgrößen

5a

Stellen Sie die **Gleichgewichtsbedingungen** für die Schnittgrößen Q, M_b in Bereich I bezüglich des gegebenen Koordinatensystems auf.

↓:

↺_I:

Drücken für Eingabe der Formeln

5b

Geben Sie die **Gleichungen** für die Schnittgrößen Q und M_b in Abhängigkeit von F, q, a und x an. Hierbei soll eine Gleichung der Form $Q = \dots$ und $M_b = \dots$ eingegeben werden.

für Q

für M_b

Drücken für Eingabe der Lösungsfunktionen

5c

Geben Sie die **Lösungsfunktionen** für die Schnittgrößen Q und M_b in Abhängigkeit von x an. Hierbei soll **keine** Gleichung, sondern jeweils das Ergebnis, d. h. die Ergebnisfunktion für die jeweilige Schnittgröße eingetragen werden. Geben Sie die Ergebnisfunktion **ohne Einheiten** an.

$Q =$ kN

$M_b =$ kNm

Die innere Belastung des Balkens ändert sich aufgrund der Schneelast.

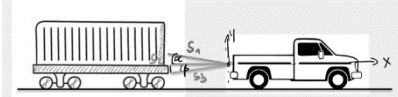
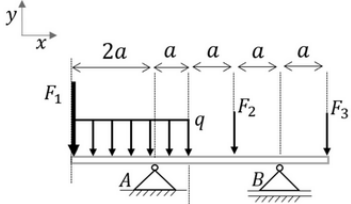
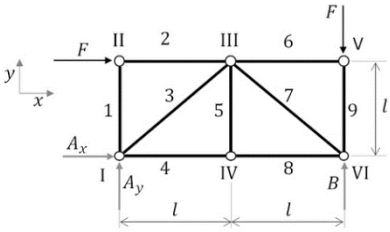
Welche der folgenden Aussagen ist korrekt? 6

Wählen Sie eine Antwort:

- Die innere Belastung des Balkens steigt von der Wandbefestigung aus betrachtet bis zum Balkenende aufgrund der Schneelast.
- Die innere Belastung des Balkens sinkt von der Wandbefestigung aus betrachtet bis zum Balkenende aufgrund der Schneelast.
- Die innere Belastung des Balkens aufgrund der Schneelast ist konstant über die gesamte Balkenlänge.
- Die axiale Belastung des Balkens resultiert aus der Schneelast.
- Da die Querkraft eine konstante Funktion hier sein muss, ist das Biegemoment quadratisch.

Beispielhafte Aufgabenstellungen je Inhaltsbereich im Leistungstest:

Tabelle A-1 Beispielhafte Aufgabenstellungen je Inhaltsbereich im LT

Inhaltsbereich	Aufgabentext im Leistungstest (LT)
Kräftesysteme (Niveau I)	<p>Ein Pickup schleppt einen Güterwagen mit drei Halteseilen ab. Diese sind alle an der Anhängerkupplung des Pickups an einem Punkt befestigt.</p>  <p>Wie groß ist die Zugkraft der Seile in Summe? Die Gewichtskraft des Wagens sowie des Pickups sollen vernachlässigt werden.</p> <p>Geg.: $S_1 = 5\text{kN}$, $S_2 = 10\text{kN}$, $S_3 = 4\text{kN}$, $\alpha = \frac{\pi}{36}$, $\beta = \frac{\pi}{60}$</p>
Lager (Niveau II)	<p>Folgender Balken, welcher mit drei Kräften und einer Streckenlast belastet wird, ist gegeben:</p>  <p>Gesucht sind die Lagerreaktionen A_x, A_y und B.</p> <p>Geg.: $F_1 = 1300\text{N}$, $F_2 = 200\text{N}$, $F_3 = 250\text{N}$, $a = 1\text{m}$, $q = 80 \frac{\text{N}}{\text{m}}$</p>
Schnittgrößen (Niveau III)	s. vorherige Darstellung
Fachwerke (Niveau I)	<p>Gegeben ist der Freischnitt eines Fachwerks, das in A und B gelagert ist. Der Freischnitt des Gesamtsystems ist hier dargestellt. Es wird durch zwei Kräfte F belastet.</p>  <p>Berechnen Sie die Stabkräfte S_6 und S_9 mit dem Knotenpunktverfahren.</p> <p>Geg.: $F_1 = 10\text{kN}$, $l = 1\text{m}$, $A_x = -F$, $A_y = -\frac{F}{2}$, $B = \frac{3}{2}F$</p>

Beispielhafte Darstellung der Eingaben im LT

Drücken für Kräftesummen

Stellen Sie die Kräftesummen zur Berechnung der Komponenten der Resultierenden jeweils bezüglich des gegebenen Koordinatensystems auf. Hier sollen **KEINE** Gleichungen eingegeben werden. Denken Sie daran, auch Ihre Komponenten jeweils rechnerisch zu zerlegen!!

Achten Sie auf die vorgegebene positive Koordinatenrichtung.

$$\rightarrow : \sum(F_{x,i}) = F_{R,x} = \text{S}_1 \cdot \cos(\alpha) - \text{S}_2 - \text{S}_3 \cdot \cos(\beta)$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

$$S_1 \cdot \cos(\alpha) - S_2 + (-S_3) \cdot \cos(\beta)$$

In Ihrer Antwort wurden die folgenden Variablen gefunden: $[S_1, S_2, S_3, \alpha, \beta]$

$$\uparrow : \sum(F_{y,i}) = F_{R,y} = \text{S}_1 \cdot \sin(\alpha) - \text{S}_3 \cdot \sin(\beta)$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

$$S_1 \cdot \sin(\alpha) - S_3 \cdot \sin(\beta)$$

In Ihrer Antwort wurden die folgenden Variablen gefunden: $[S_1, S_3, \alpha, \beta]$

Drücken für Formel

Geben Sie die allgemeine Formel zur Berechnung der resultierenden Kraft F_R an. Hier soll eine Gleichung eingegeben werden mit $F_{R,x}$...

Die Eingabe der Komponenten erfolgt mit $F_{R,x}=F[R,x]$ und $F_{R,y}=F[R,y]$

$$\text{für } F_R \quad F_R = \sqrt{F[R,x]^2 + F[R,y]^2}$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

$$F_R = \sqrt{F_{R,x}^2 + F_{R,y}^2}$$

In Ihrer Antwort wurden die folgenden Variablen gefunden: $[F_R, F_{R,x}, F_{R,y}]$

Drücken für Lösungswerte

Geben Sie das Ergebnis für die resultierende Kraft F_R und ihre Komponenten mit Werten ohne Einheit an.

$$\text{für } F_{R,x} = 19.0 \text{ kN}$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

19.0

$$\text{für } F_{R,y} = 0.226 \text{ kN}$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

0.226

$$\text{für } F_R = 19.0 \text{ kN}$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

19.0

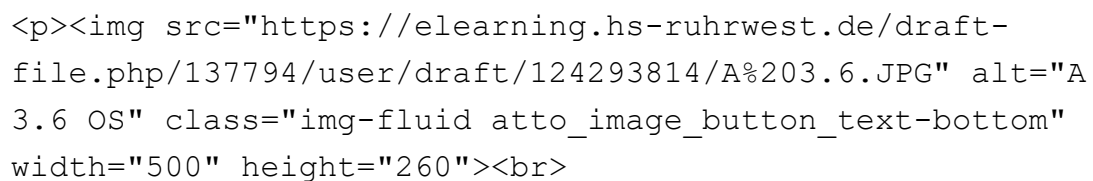
Abbildung A-3 Beispielhafte Darstellung der Eingaben im LT

Quellcode eines Beispielitems aus dem Bereich SG im Leistungstest

Quellcode Teil 1: Darstellung der Aufgabenstellung:

Folgender Freischnitt des äußeren Systems ist gegeben. Das System ist in (A) fest und in (B) mit einem schräg angebrachten Loslager gelagert. Die Belastungen sind (F) und (q) .

Gegeben: $q=20 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$, $l=1 \text{ m}$, $F=60 \text{ kN}$, $\alpha=$
 $(\frac{\pi}{9})$, $(\beta=$
 $(\frac{\pi}{6})$.



Bestimmen Sie die Schnittgrößen (N, Q) und (M_b) mithilfe des **NEGATIVEN** Schnittufers im **Schnittbereich IV**.

Die Lagerreaktionen lauten: $(A_x=-36.9 \text{ kN}, A_y=48.8 \text{ kN}, B=43.9 \text{ kN})$.

Quellcode Teil 2: Bearbeitungshinweis Freischnitt in zusätzlicher PPT-Datei:

Nutzen Sie zum Zeichnen des Schnittbildes die Power-PointPräsentation aus dem Downloadlink in Aufgabe 1.

Vergessen Sie nicht, diese nach Bearbeitung der letzten Aufgabe im

Test die Datei zu speichern und anschließend hochzuladen!

Den Uploadlink finden Sie nach Abschluss des Tests als neue Aktivität unter dem Test.

Quellcode Teil 3: STACK-Aufgabenteil zur Darstellung der Input-Felder:

Aufgabenvariablen:

```

F: 60; /* kN */
q: 20; /* kN/m */
M: M_b;
l: 1; /* m */
A_y: 48.8; /* kN */
B: 43.9;
A_x: -36.9
B_x: B*sin(alpha);
B_y: B*cos(alpha);
alpha: pi/9;
beta: pi/6;
TA1: -N-B*sin(alpha)=0;
TA2: -Q-B*cos(alpha)=0;
TA3: -M+B*cos(alpha)*(8*1-x)=0;
TA4: solve(TA1, N);
TA5: solve(TA2, Q);
TA6: solve(TA3, M);
TA7: -43.9*sin(alpha);
TA8: -43.9*cos(alpha);
TA9: 43.9*cos(alpha)*(8*1-x);

```

Fragetext:

```
<!--
```

```

<p>Folgender Freischnitt des äußeren Systems ist gegeben.
Das System ist in \ (A\ ) fest und in \ (B\ ) mit einem schräg
angebrachten Loslager gelagert. Die Belastungen sind \ (F\ )
und \ (q\ ).<br></p>

```

```

<p>Gegeben: \ (q=20 \enspace \frac{kN}{m}, l=1 \enspace m,
F=60 \enspace kN, \alpha=\ ) \ (\frac{\pi}{9}\ ), \ (\beta=\ )
\ (\frac{\pi}{6}\ ).<br><br></p>

```

```
<table>
```

```
|  |
| --- |


Bestimmen Sie die Schnittgrößen  $(N, Q)$  und  $(M_b)$  mithilfe des NEGATIVEN Schnittufers im Schnittbereich IV.



Die Lagerreaktionen lauten:  $(A_x = -36.9 \text{ kN}, A_y = 48.8 \text{ kN}, B = 43.9 \text{ kN})$ .



-->



Drücken für Gleichungen für gesuchte Schnittgrößen



Stellen Sie die Gleichgewichtsbedingungen für die Schnittgrößen  $(N, Q, M_b)$  in Bereich IV bezüglich des gegebenen Koordinatensystems auf.



$\rightarrow$


```

```

<p>\(\downarrow \enspace : \enspace\) [[input:ans2]] [[validation:ans2]] [[feedback:prt2]]</p>
<p>\(\circlearrowleft_{(IV)} \enspace : \enspace\) [[input:ans3]] [[validation:ans3]] [[feedback:prt3]]</p>
</div>
</div>
</div>
</div>
<p> </p>
<p><button class="btn btn-primary" role="button" data-toggle="collapse" href="#multiCollapseExample3" aria-expanded="true" aria-controls="multiCollapseExample3">Drücken für Eingabe der Formeln</button></p>
<div class="row">
<div class="col">
<div id="multiCollapseExample3" class="multi-collapse collapse show">
<div class="card card-body">
<p>Geben Sie die <strong>Gleichungen</strong> für  $(N, Q)$  und  $(M_b)$  in Abhängigkeit von  $(F, q)$ ,  $(l)$ ,  $(\alpha)$ ,  $(\beta)$  und  $(x)$  an. <br>Hierbei soll eine Gleichung der Form  $(N=..., Q=...)$  und  $(M_b=...)$  eingegeben werden.</p>
<p>für  $(N \enspace )$  [[input:ans4]] [[validation:ans4]] [[feedback:prt4]]</p>
<p>für  $(Q \enspace )$  [[input:ans5]] [[validation:ans5]] [[feedback:prt5]]</p>
<p>für  $(M_b \enspace )$  [[input:ans6]] [[validation:ans6]] [[feedback:prt6]]</p>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
<p> </p>

```

```
<p><button class="btn btn-primary" role="button" data-tog-
gle="collapse" href="#multiCollapseExample4" aria-ex-
panded="true" aria-controls="multiCollapseExample4">Drücken
für Eingabe der Lösungsfunktionen</button></p>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col">
```

```
<div id="multiCollapseExample4" class="multi-collapse col-
lapse show">
```

```
<div class="card card-body">
```

```
<p>Geben Sie die <strong>Lösungsfunktio-
nen</strong> <strong>nur</strong> in Abhängigkeit von  $x$  für
 $(N, Q)$  und  $(M_b)$  an. Setzen Sie die gegebenen Größen
ein.<br>Hier soll keine Gleichung, sondern jeweils das Er-
gebnis, d. h. die konstante Funktion (=Wert) oder die Er-
gebnisfunktion für die jeweilige Schnittgröße eingetragen
werden.<br><span>Geben Sie die Ergebnisfunktionen
<strong>ohne Einheiten</strong> an.</span></p>
```

```
<p>\(N \enspace = \enspace \) [[input:ans7]] \((kN)\) [[vali-
dation:ans7]] [[feedback:p7]]</p>
```

```
<p>\(Q \enspace = \enspace \) [[input:ans8]] \((kN)\) [[vali-
dation:ans8]] [[feedback:p8]]</p>
```

```
<p>\(M_b \enspace = \enspace \) [[input:ans9]] \((kN \cdot m)\)
[[validation:ans9]] [[feedback:p9]]</p>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

Rückmeldebaum:

```
PRT1: ATAlgEquiv (ans1, TA1)
```

```
PRT2: ATAlgEquiv (ans2, TA2)
```

```
PRT3: ATAlgEquiv (ans3, TA3)
```

```
PRT4:
```

```
ATAlgEquiv(last(ans4), TA4[1])
```

```
ATAlgEquiv (length (Sans41),1)
ATAlgEquiv(last(ans4), Sans41[1])
```

PRT5:

```
ATAlgEquiv (last(ans5), TA5[1])
ATAlgEquiv (length (Sans51),1)
ATAlgEquiv (last(ans5), Sans51[1])
```

PRT6:

```
ATAlgEquiv(last(ans6), TA6[1])
ATAlgEquiv (length (Sans61),1)
ATAlgEquiv (last(ans6), Sans61[1])
```

PRT7: ATNumRelative (ans7, TA7, ev (0.03, simp))

PRT8: ATNumRelative (ans8, TA8, ev (0.03, simp))

PRT9: ATNumRelative (ans9, TA9, ev (0.03, simp))

B. Pilotierungsergebnisse

SET WiSe 22/23

Bei der Reliabilitätsanalyse des SET im Wintersemester 2022/2023 ($N_p = 66$; $N_{Items} = 28$) ist jeweils die Bewertung anhand der Items aus dem letzten Bearbeitungszeitpunkt zugrunde gelegt worden. Damit ergibt sich bei einer gesamten Anzahl von 28 Items eine interne Konsistenz von $\alpha = .820$. Folgende Trennschärfen je Item sind erfasst worden:

Tabelle B-1 Itemanalyse SET im Wintersemester 2022/2023

Itemname	Mittelwert	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 1	0.955	0.4925	0.813
Item 2	0.864	0.4236	0.811
Item 3	0.939	0.0547	0.822
Item 4	0.970	0.4019	0.815
Item 5	0.894	0.2803	0.816
Item 6	0.924	0.4750	0.811
Item 7	0.864	0.2903	0.816
Item 8	0.955	0.4092	0.814
Item 19	0.788	0.4269	0.811
Item 20	0.561	0.4464	0.809
Item 21	0.803	-0.0149	0.828
Item 22	0.682	0.4014	0.812
Item 23	0.515	0.2607	0.819
Item 24	0.758	0.2845	0.817
Item 25	0.727	0.6127	0.802
Item 26	0.652	0.5371	0.805
Item 27	0.606	0.3377	0.815
Item 28	0.939	0.4268	0.813
Item 14	0.818	0.2490	0.818

Itemname	Mittelwert	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelas- sen
Item 15	0.773	0.3490	0.814
Item 16	0.864	0.5916	0.806
Item 17	0.667	0.3991	0.812
Item 18	0.636	0.3741	0.813
Item 9	0.939	0.2389	0.818
Item 10	0.742	0.3862	0.812
Item 11	0.727	0.3486	0.814
Item 12	0.530	0.2780	0.818
Item 13	0.576	0.1342	0.824

SET SoSe 23Cronbachs $\alpha = .757, N_{Items} = 30, N_p = 15$

Tabelle B-2 Item-Trennschärpen im SET im Sommersemester 2023

Itemname	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 1	.568	.731
Item 2	.192	.754
Item 3	.235	.753
Item 4	.601	.741
Item 5	.399	.743
Item 6	.450	.739
Item 7	.150	.756
Item 8	.046	.762
Item 9	.299	.749
Item 11	.601	.741
Item 12	-.024	.761
Item 13	.429	.744
Item 14	.525	.739
Item 15	.414	.742
Item 16	.076	.761
Item 17	.271	.750
Item 18	.705	.723
Item 19	.200	.754
Item 20	-.134	.775
Item 21	-.330	.780
Item 22	.328	.748
Item 24	.289	.749
Item 25	.521	.735
Item 26	.144	.756
Item 27	.450	.739
Item 28	-.260	.779
Item 29	.200	.754
Item 30	.394	.743
Item 31	.289	.749
Item 32	.274	.750

SET WiSe 23/24 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung

Cronbachs $\alpha = .611, N_{Items} = 32$

Tabelle B-3 Item-Trennschärfen im SET im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung

Item-name	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 1	14.27	16.15	.48	.58
Item 2	14.88	16.45	.26	.60
Item 3	14.61	16.56	.19	.60
Item 4	14.86	17.31	.01	.62
Item 5	14.61	16.19	.28	.59
Item 6	14.55	15.44	.49	.57
Item 7	14.48	17.62	-.07	.63
Item 8	14.47	15.57	.48	.57
Item 9	14.64	16.23	.27	.59
Item 10	14.88	16.76	.17	.60
Item 11	14.99	17.93	-.16	.63
Item 12	14.30	15.82	.56	.57
Item 13	14.60	16.22	.27	.59
Item 14	14.69	16.59	.18	.60
Item 15	14.56	16.88	.11	.61
Item 16	14.52	17.15	.05	.62
Item 17	14.95	16.94	.14	.61
Item 18	14.82	16.73	.16	.60
Item 19	14.74	17.25	.02	.62
Item 20	14.82	17.49	-.04	.62
Item 21	14.78	17.20	.03	.62
Item 22	14.57	17.14	.04	.62
Item 23	14.57	15.17	.56	.56
Item 24	14.78	15.78	.40	.58
Item 25	14.71	17.68	-.09	.63
Item 26	14.87	17.48	-.03	.62
Item 27	14.73	16.46	.21	.60
Item 28	14.69	17.09	.06	.62
Item 29	14.73	16.46	.21	.60
Item 30	14.60	16.69	.15	.61
Item 31	14.55	17.44	-.03	.62
Item 32	14.64	16.44	.21	.60

SET WiSe 23/34 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung

Cronbachs $\alpha = .676, N_{Items} = 32$

Tabelle B-4 Item-Trennschärfen im SET im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung

Item-name	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 1	7.44	9.86	.38	.65
Item 2	8.05	9.94	.23	.67
Item 5	7.78	9.57	.31	.66
Item 6	7.71	9.18	.45	.64
Item 8	7.64	9.29	.44	.64
Item 9	7.81	9.63	.28	.66
Item 10	8.05	10.08	.18	.67
Item 13	7.77	9.31	.39	.65
Item 15	7.73	9.94	.19	.67
Item 18	7.99	10.04	.17	.67
Item 23	7.74	8.75	.60	.62
Item 24	7.95	9.18	.46	.64
Item 25	7.88	11.00	-.14	.71
Item 27	7.90	9.78	.24	.67
Item 28	7.86	9.97	.17	.67
Item 29	7.90	9.54	.32	.66
Item 32	7.81	10.42	.03	.69

LT SoSe 23Cronbachs $\alpha = 657$; $N_{Items} = 27$

Tabelle B-5 Item-Trennschärfen im LT im Sommersemester 2023

Itemname	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 1.1	.45	.62
Item 1.2	.19	.65
Item 1.3	.00	.66
Item 1.4	.09	.66
Item 1.5	-.20	.66
Item 1.6	-.27	.68
Item 1.7	-.08	.67
Item 2.1	.11	.67
Item 2.2	.09	.66
Item 2.3	.09	.66
Item 2.4	.33	.65
Item 2.5	.24	.65
Item 2.7	.32	.66
Item 3.0	.61	.60
Item 3.1	.48	.62
Item 3.2	.46	.62
Item 3.3	.45	.62
Item 3.4	.57	.60
Item 3.5	.46	.63
Item 3.6	.43	.64
Item 4.0	.39	.63
Item 4.1	.31	.64
Item 4.2	.00	.67
Item 4.3	-.16	.69
Item 4.4	-.11	.66
Item 4.5	-.09	.66
Item 4.6	.01	.66

LT WiSe 23/24 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung

Cronbachs $\alpha = .788$; $N_{Items} = 17$; $N_p = 77$

Tabelle B-6 Item-Trennschärfen im LT im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP vor der Überarbeitung

Itemname	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 3.1	.51	.77
Item 3.3	.70	.76
Item 3.5	.22	.79
Item 3.6	.44	.77
Item 1.2	.31	.80
Item 1.5	.14	.80
Item 1.6	.51	.77
Item 1.7	.11	.79
Item 4.0	.17	.79
Item 4.1	.36	.78
Item 4.3	.36	.78
Item 4.4	.41	.78
Item 4.6	.40	.78
Item 2.1	.69	.74
Item 2.3	.73	.75
Item 2.5	.24	.79
Item 2.7	.47	.77

LT WiSe 23/24 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung

Cronbachs $\alpha = .773$; $N_{Items} = 12$; $N_p = 77$

Tabelle B-7 Item-Trennschärfen im LT im Wintersemester 2023/2024 zum Prä-MZP nach der Überarbeitung

Itemname	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Item 3.1	.43	.75
Item 3.3	.51	.75
Item 3.5	.11	.78
Item 3.6	.20	.78
Item 4.0	.30	.77
Item 4.1	.55	.74
Item 4.3	.49	.75
Item 4.4	.51	.75
Item 4.6	.51	.75
Item 2.1	.70	.72
Item 2.5	.28	.77
Item 2.7	.59	.75

C. Ergebnisse Hauptstudie

Datenbereinigung

Im Kapitel Datenbereinigung (Abschnitt 9.5.2) sind die Bearbeitungszeiten der Testinstrumente hinsichtlich einer Beurteilung der sachgerechten Bearbeitung analysiert worden, um Datenausreißer zu identifizieren. In Abbildung C-1 sind die Bearbeitungszeiten des Leistungstests zum Prä-Messzeitpunkt dargestellt.

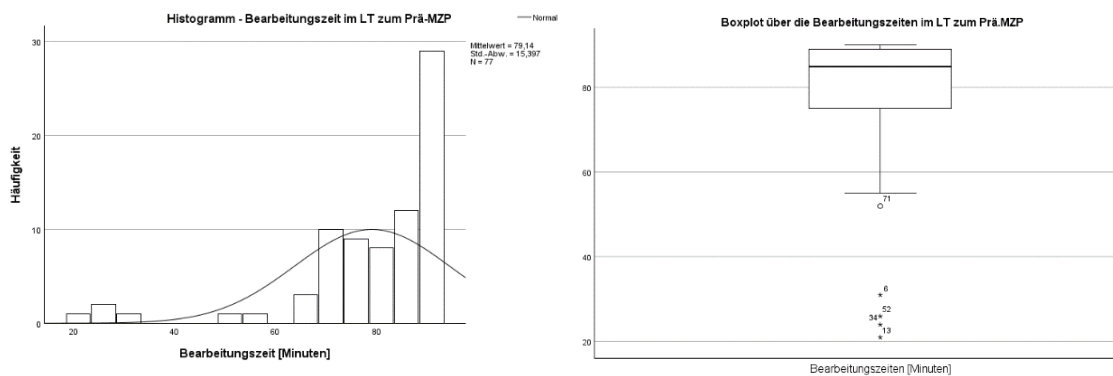


Abbildung C-1 Bearbeitungszeiten im Leistungstest zum Prä-Messzeitpunkt

Bearbeitungszeit im Leistungstest zum Post-Messzeitpunkt:

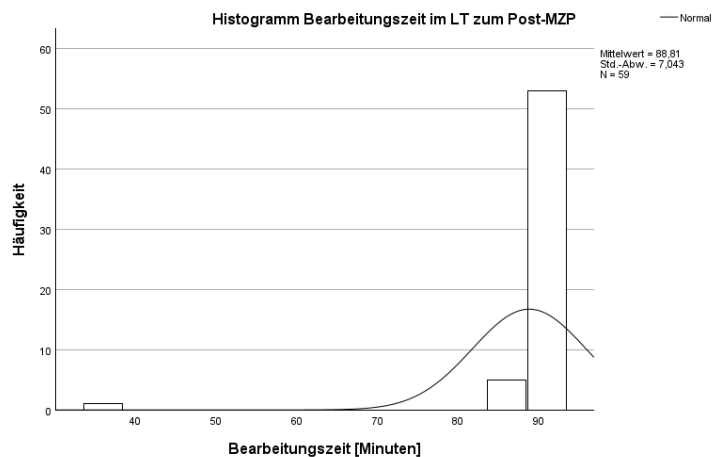


Abbildung C-2 Histogramm der Bearbeitungszeiten im Leistungstest zum Post-MZP

Gruppenunterschiede hinsichtlich der Studiengänge

Gruppenunterschied Studiengang im SET zum Prä-MZP

Duale Studierende ($N = 13$) zeigen signifikant bessere Ergebnisse im SET zum Prä-MZP (vgl. Abb. C-3) als reguläre Maschinenbau-Studierende ($N_{dual} = 13$; $N_{MB} = 63$; $\mu_{dual} = .70$; $\mu_{MB} = .45$; $SD_{dual} = .13$; $SD_{MB} = .17$). Der Gruppenunterschied ist nach dem Welch-Test statistisch signifikant ($t(21.507) = 5.731, p < .001$) mit einer großen Effektstärke von Cohens $d = 1.461$.

Da 12 von 13 dualen Studierenden der Experimentalgruppe zugeordnet sind, würden die Ergebnisse des Gruppenvergleichs verzerrt werden und der Effekt der Strategietrainings nicht auf die Gruppenzugehörigkeit reduziert werden können, sodass die dual Studierenden aus den Datensätzen entfernt wurden. Hier ist anzumerken, dass die Verteilung der Testergebnisse im SET zum Prä-MZP für die dualen Studierenden der Normalverteilung folgen und für die regulären MB-Studierenden nicht normalverteilt sind (s. Tabelle C-1).

Tabelle C-1 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den SET zum Prä-MZP je Studiengang

Studiengang	Statistik	<i>df</i>	<i>p</i>
Dual	.952	13	.624
MB	.961	63	.043

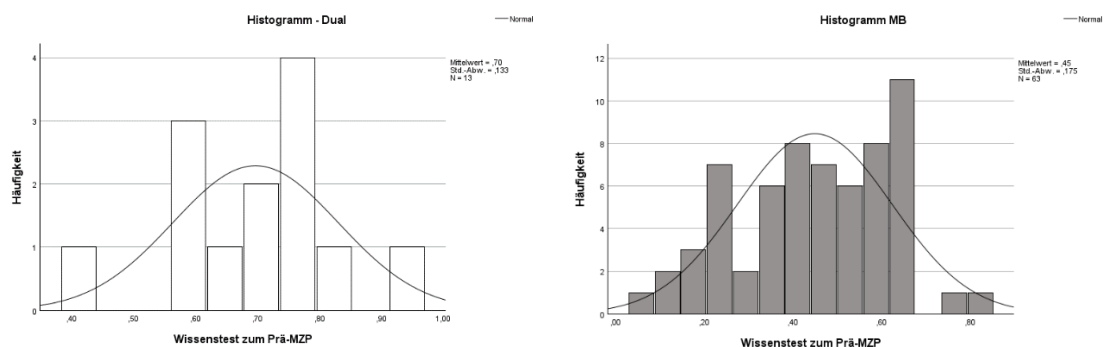


Abbildung C-3 Histogramme Wissenstest zum Prä-MZP je Studiengang

Gruppenunterschied Studiengang in den Kontrollvariablen

Der Unterschied zwischen den Studiengängen soll auch anhand der Kontrollvariablen (Note der HZB sowie Mathematiknote), die als Prädiktoren für gute Leistungen in TM gelten (vgl. Kapitel 1) geprüft werden, um die Entscheidung des Ausschlusses zu bestätigen. Der Gruppenvergleich anhand des Welch-Tests, dessen Ergebnisse in Tabelle C-2 dargestellt sind, zeigt, dass die dualen Studierenden auch in den Kontrollvariablen signifikant besser abschneiden und dieser Unterschied jeweils mit einem starken Effekt zu berichten ist (Note HZB: $\mu_{dual} = 1.8$; $SD_{dual} = .42$; $\mu_{MB} = 2.8$; $SD_{MB} = .55$, Mathematiknote: $\mu_{dual} = 1.7$; $SD_{dual} = .63$; $\mu_{MB} = 2.9$; $SD_{MB} = 1.1$).

Tabelle C-2 Gruppenvergleich der Studiengänge in den Kontrollvariablen

Gruppenvergleich	Kontrollvariable	Welch-Test	Cohens d	Zweiseitiges p
dual vs. MB	Note der HZB	$t(21.650) = -7.251$	-1.841	<.001***
	Mathematiknote	$t(29.453) = -5.511$	-1.186	<.001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit dual = duale Studierende, MB = reguläre Maschinenbau-Studierende, Cohens d = Effektstärke und p = zweiseitige Signifikanz

Die Boxplots für die Note der HZB sowie für die Mathematiknote je Studiengang sind in Abbildung C-4 gezeigt, in der die Noten differenziert nach Studiengang dargestellt sind.

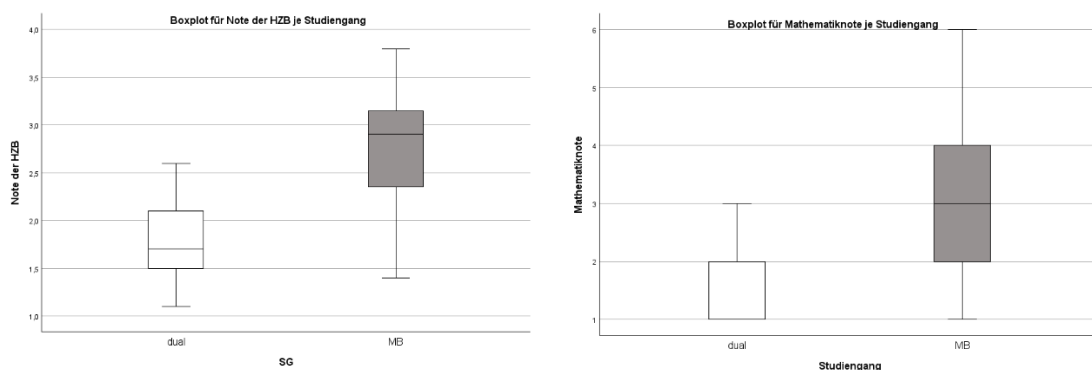


Abbildung C-4 Boxplots differenziert nach Studiengang für die Note der HZB sowie die Mathematiknote

Hier ist anzumerken, dass die Note der HZB für beide Studiengänge eine Normalverteilung zeigt, aber die Mathematiknote keiner Normalverteilung für die Studiengänge folgt (s. Tabelle C-3).

Tabelle C-3 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für die Kontrollvariablen je Studiengang

Studiengang	Kontrollvariable	Statistik	df	p
Dual	Note der HZB	.982	13	.986
	Mathematiknote	.778	13	.004
MB	Note der HZB	.973	63	.185
	Mathematiknote	.906	63	< .001

Aufgrund dieser Ergebnisse sind stark unterschiedliche Anfangsbedingungen hinsichtlich der gesamten Leistungen der dualen Studierenden gegenüber den regulären Maschinenbau-Studierenden zu verzeichnen, sodass der Ausschluss der dualen Studierenden erfolgen muss, um Verzerrungen der Ergebnisse zu vermeiden. Dennoch wird ergänzend im nächsten Abschnitt der Gruppenunterschied hinsichtlich der Studiengänge im Leistungstest zum Prä-Messzeitpunkt erfasst.

Gruppenunterschied Studiengang im LT zum Prä-MZP

Da die dualen Studierenden bereits aus dem Datensatz für den Wissenstest entfernt wurden, sollten sie analog auch aus dem Datensatz für den Leistungstest entfernt werden, da sie sich in den Kontrollvariablen stark von den regulären MB-Studierenden unterscheiden und diese auch zu einem signifikant verbesserten Wissen über den MDK führen, sodass aufgrund dieser Leistungsunterschiede auch ein Leistungsunterschied im Leistungstest erwartet wird, der dann nicht explizit auf das Strategietraining zurückgeführt werden kann. Da unter den dualen Studierenden nur ein Wiederholer ist, verfügt diese Gruppe kaum über Vorwissen, sodass vermutet wird, dass sie im Leistungstest zum Prä-Messzeitpunkt kaum Punkte erreichen und sich somit nicht von den regulären Maschinenbau-Studierenden unterscheiden.

Duale Studierende ($N = 13$) zeigen etwas bessere Ergebnisse im LT zum Prä-MZP als reguläre Maschinenbau-Studierende ($N_{dual} = 13$; $N_{MB} = 64$; $\mu_{dual} = .04$; $\mu_{MB} = .07$; $SD_{dual} = .03$; $SD_{MB} = .06$), diese Unterschiede sind aber nicht statistisch signifikant ($t(16.059) = .788, p = .442$).

Hier ist anzumerken, dass die Verteilung der Testergebnisse im LT zum Prä-MZP für beide Gruppen nicht der Normalverteilung folgt (vgl. Tabelle C-4).

Tabelle C-4 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den LT zum Prä-MZP je Studiengang

Studiengang	Statistik	df	p
Dual	.952	13	.624
MB	.961	63	.043

Folgende Abbildung C-5 zeigt die Histogramme des Leistungstests zum Prä-MZP je Studiengang und Abbildung C-6 die dazugehörigen Boxplots.

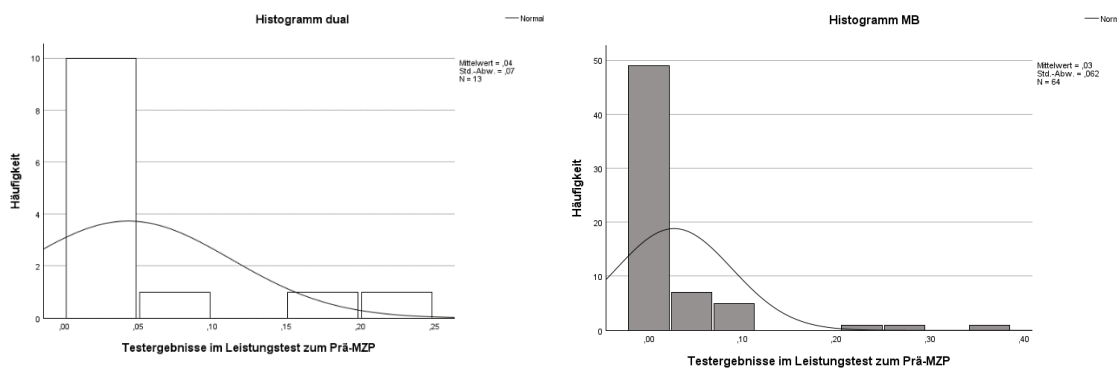


Abbildung C-5 Histogramme LT zum Prä-MZP je Studiengang

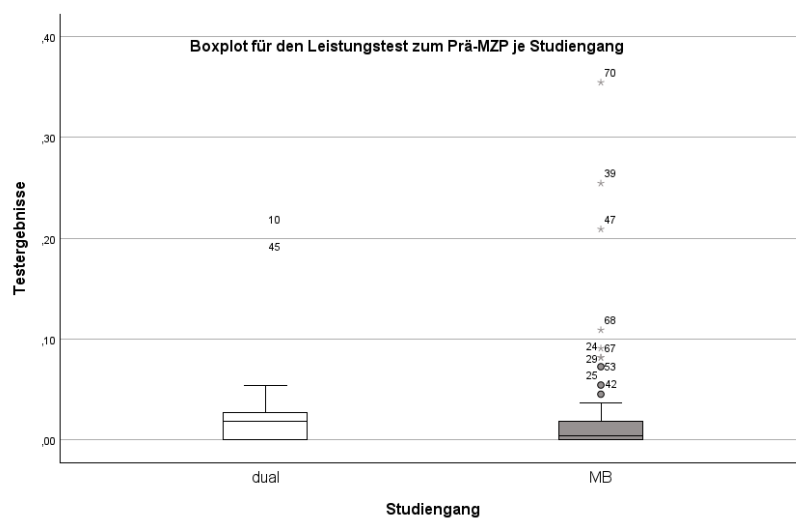


Abbildung C-6 Boxplots LT zum Prä-MZP je Studiengang

Gruppenunterschied Studiengang in den Post-Leistungen im Wissens- und Leistungstest

Tabelle C-5 Gruppenvergleich Studiengänge für Lernzuwächse und Post-Leistungen im SET und LT

Gruppenvergleich	AV	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	Zweiseitiges <i>p</i>
Dual vs. MB	SET zum	$t(52.114) = 4.487$	1.455	<.001***
	Post-MZP			
	LT zum	$t(18.806) = 4.540$	.896	<.001***
	Post-MZP			

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit dual = duale Maschinenbau-Studierende, MB = Maschinenbaustudierende, Cohens d = Effektstärke und p = zweiseitige Signifikanz

Gruppenunterschied Wiederholstatus

Gruppenunterschied Wiederholstatus im SET zum Prä-MZP

Tabelle C-6 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für SET zum Prä-MZP und die Kontrollvariablen je Wiederholstatus

Wiederholstatus	Testinstrumente	Statistik	<i>df</i>	<i>p</i>
Wiederholer	SET Prä	.941	19	.277
Erstbeleger		.969	44	.279
Wiederholer	Note HZB	.948	19	.367
Erstbeleger		.954	44	.076
Wiederholer	Mathematiknote	.926	19	.147
Erstbeleger		.895	44	<.001

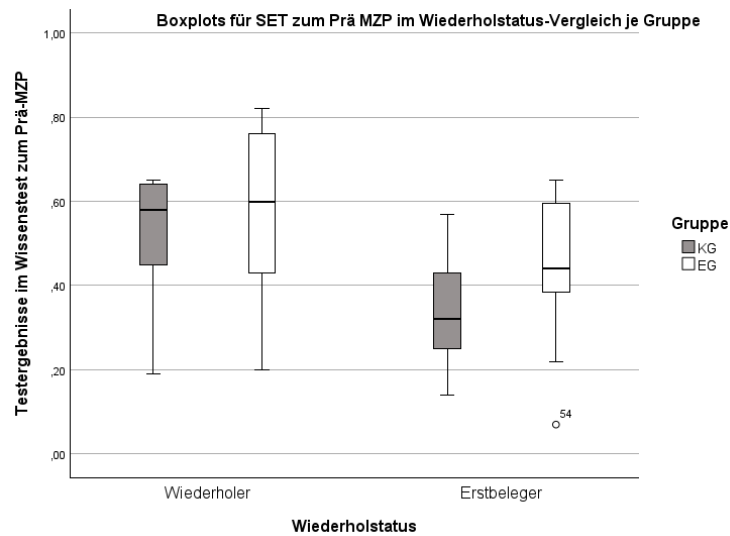


Abbildung C-7 Boxplots je Wiederholstatus für SET zum Prä-MZP

Tabelle C-7 Gruppenvergleich Wiederholstatus für Lernzuwächse und Post-Leistungen im SET und LT

Gruppen- vergleich	AV	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	Zweiseitiges <i>p</i>
Wdh. vs. Ersti	Prä-Post-Diffe- renz SET	$t(26.893) = -1.441$	-.459	.161
	SET zum Post- MZP	$t(34.074) = .888$	.258	.381
	Prä-Post-Diffe- renz LT	$t(38.856) = -.828$	-.231	.413
	LT zum Post- MZP	$t(30.145) = .496$	.153	.623

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Wdh = Wiederholer, Ersti = Erstbeleger des Kurses, Cohens *d* = Effektstärke und *p* = zweiseitige Signifikanz

Gruppenunterschiede Wiederholer zum Prä-MZP im LT:

Test auf Normalverteilung $N = 64$ für Wiederholstatus:

Tabelle C-8 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den Leistungstest zum Prä-MZP je Wiederholstatus

Wiederholstatus	Statistik	<i>df</i>	<i>p</i>
Wiederholer	.770	19	< .001
Erstbeleger	.262	45	< .001

Boxplot Leistungstest zum Prä-MZP je Wiederholstatus je Gruppe

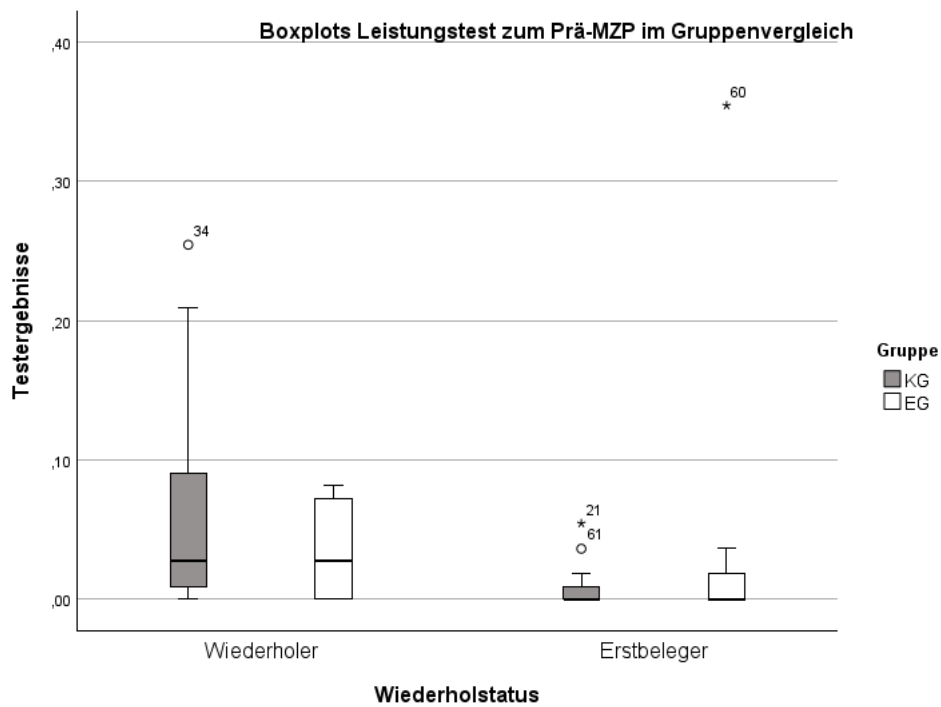


Abbildung C-8 Boxplots Leistungstest zum Prä-MZP je Wiederholstatus je Gruppe

Weitere Analyseergebnisse

SET Prä (N = 63) Gruppenvergleich EG versus KG:

Tabelle C-9 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für SET zum Prä-MZP je Gruppe

Gruppe	Statistik	df	p
EG	.976	25	.792
KG	.948	38	.079

Prä-Post-Differenzen SET N = 46:

Tabelle C-10 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für die Prä-Post-Differenzen im Wissenstest je Gruppe

Gruppe	Statistik	df	p
EG	.913	18	.097
KG	.984	28	.927

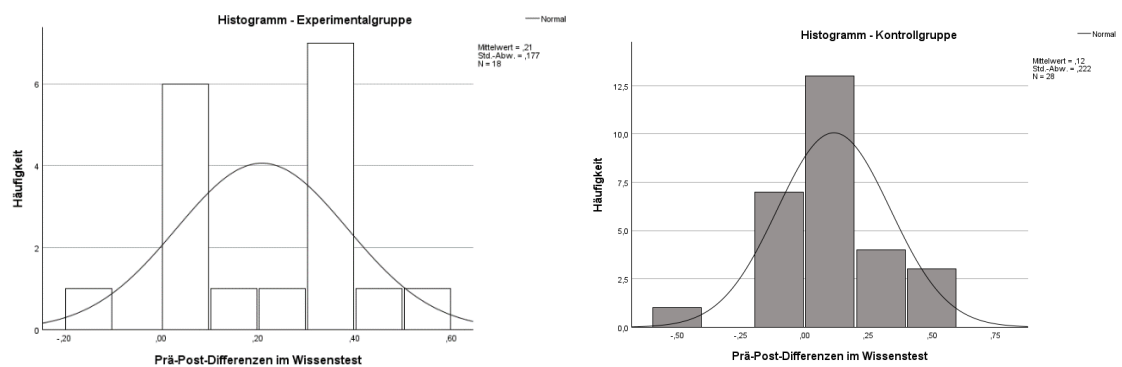


Abbildung C-9 Histogramme der Prä-Post-Differenzen im Wissenstest je Gruppe

Um das Ergebnis des Gruppenvergleiches der Lernzuwächse im Wissenstest besser einschätzen zu können, wurde eine Poweranalyse in SPSS für diese gegebenen Rahmenbedingungen durchgeführt. Dabei ist post-hoc die im Rahmen dieses Mittelwertvergleiches (s. Tabelle 10-7) bestehende Teststärke zu ermitteln und die vorliegende Stichprobengröße anschließend zu vergleichen mit der geschätzten Stichprobengröße für eine empfohlenen Teststärke von mindestens 80% (Döring & Bortz, 2016), mit dem ein Effekt in dieser Größe nachweisbar wäre. Bei der Post-hoc-Analyse wird der α -Fehler (.05) und die Effektstärke gemessen an Cohens $d = .452$) angegeben. Die Analyse zeigt, dass das Nachweisen eines solchen Effektes bei dieser Stichprobe aufgrund einer Teststärke von $T = .374 = 37.4\%$ unwahrscheinlich ist. Um einen Effekt dieser Größe mit einer Teststärke von 80% nachweisen zu können, müsste eine Stichprobe von $N_1 = 59$ und $N_2 = 117$ vorhanden sein.

Test auf Normalverteilung LT Prä $N = 64$ für Gruppe:

Tabelle C-11 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den Leistungstest zum Prä-MZP je Gruppe

Gruppe	Statistik	<i>df</i>	<i>p</i>
EG	.416	24	< .001
KG	.535	40	< .001

Prä-Post-Differenzen LT:

Test auf Normalverteilung LT Lernzuwachs und Post-Leistung $N = 45$:

Tabelle C-12 Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung für den Lernzuwachs und die Post-Leistung im Leistungstest je Gruppe

Gruppe	Variable	Statistik	<i>df</i>	<i>p</i>
EG	Prä-Post-Differenz LT	.906	18	.074
	LT zum Post-MZP	.915	18	.104
KG	Prä-Post-Differenz LT	.880	27	.005
	LT zum Post-MZP	.889	27	.008

Gruppenunterschied zwischen Experimental- und Kontrollgruppe im Wissenstest zum Post-MZP:

Aufgrund der fragwürdigen Reliabilität im Wissenstest zum Prä-Messzeitpunkt (s. Abschnitt 9.4.1.3), sollte der Gruppenvergleich ergänzend anhand der Post-Leistungen erfolgen. Der Gruppenvergleich der Post-Leistungen im Wissenstest zeigt, dass zum Post-Messzeitpunkt ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen den Gruppen mit einem großen Effekt (Cohens $d = .887$) positiv für die Experimentalgruppe besteht (vgl. Tabelle C-13). Die Experimentalgruppe erreicht durchschnittlich eine um 18 % höhere Lösungsquote im Wissenstest zum Post-MZP im Vergleich zur Kontrollgruppe ($\mu_{EG} = .73$; $\mu_{KG} = .55$) und auch die Standardabweichung ist bei der Experimentalgruppe deutlich geringer als bei der Kontrollgruppe ($SD_{EG} = .13$; $SD_{KG} = .23$).

Tabelle C-13 Gruppenvergleich der Testergebnisse im Wissenstest zum Post-Messzeitpunkt

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens d	Einseitiges p
EG vs. KG	$t(43.580) = 3.286$	.887	.001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, Cohens d = Effektstärke und p = Signifikanz

Literaturverzeichnis

- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research*, 70(2), 181–214. <https://doi.org/10.3102/00346543070002181>
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R. & Weiber, T. (2021). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (Lehrbuch, 16., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Berezhvai, S., Köpeczi-Bócz, Á., Sipos, B. & Szilágyi, B. (2023). Changes in first-year engineering students' performance in mathematics and engineering subjects at different stages of distance learning. In *Engineering education for sustainability*. [Brussels]: SEFI, 2023. <https://doi.org/10.21427/CDZ5-E329>
- Bernhard, J. (2000). Teaching Engineering Mechanics Courses Using Active Engagement Methods. *Physics Teaching in Engineering Education*.
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347–364. <https://doi.org/10.1007/BF00138871>
- Blanz, M. (2021). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit. Grundlagen und Anwendungen*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH. <https://doi.org/10.17433/978-3-17-039819-1>
- Blum, W. & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der "Tanken"-Aufgabe. *Mathematik lehren*. Verfügbar unter: [http://fox.leuphana.de/portal/de/publications/modellieren-im-unterricht-mit-der-tankenaufgabe\(a21b8e11-a880-4521-b899-7c2ef0890e6f\).html](http://fox.leuphana.de/portal/de/publications/modellieren-im-unterricht-mit-der-tankenaufgabe(a21b8e11-a880-4521-b899-7c2ef0890e6f).html)
- Blum, W. & Leiß, D. (2007). How do Students and Teachers Deal with Modelling Problems? In *Mathematical Modelling* (S. 222–231). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857099419.5.221>
- Blum, W. & Schukajlow, S. (2018). Selbständiges Lernen mit Modellierungsaufgaben – Untersuchung von Lernumgebungen zum Modellieren im Projekt DISUM. In S. Schukajlow & W. Blum (Hrsg.), *Evaluierte Lernumgebungen zum Modellieren* (S. 51–72). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-20325-2_4
- Böge, A. (2013). *Technische Mechanik* (Lehrbuch, 30., überarb. und erw. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bond, T. G., Yan, Z. & Heene, M. (2020). *Applying the Rasch model. Fundamental measurement in the human sciences* (Fourth edition). New York, NY: Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/9780429030499>

- Borowski, A., Trump, S. & Massolt, J. (Hrsg.). (2016). *Mathematisches Modellieren im Physikunterricht - Erfolgreiche SuS vs. Nicht-erfolgreiche SuS*.
- Borromeo Ferri, R., Greefrath, G. & Kaiser, G. (Hrsg.). (2013). *Mathematisches Modellieren für Schule und Hochschule*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-01580-0>
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 163 Tabellen* (Springer-Lehrbuch, 7., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Berlin: Springer.
- Boylan-Ashraf, P., Freeman, S. & Shelley, M. A Case For a Reform in Teaching Introductory, Fundamental Engineering Mechanics Courses. In *2014 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--19911>
- Brandenburger, M. (2017). *Was Beeinflusst Den Erfolg Beim Problemlösen In Der Physik? Eine Untersuchung Mit Studierenden*. Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.437756>
- Brose, A. & Kautz, C. Identifying and Addressing Student Difficulties in Engineering Statics. In *2011 ASEE Annual Conference*. <https://doi.org/10.18260/1-2--18073>
- Büchter, A. & Leuders, T. (2016). *Mathematikaufgaben selbst entwickeln. Lernen fördern - Leistung überprüfen* (Scriptor Praxis, 7., überarbeitete Neuauflage). Berlin: Cornelsen.
- Cardella, M. & Atman, C. Engineering Students' Mathematical Thinking: In The Wild And With A Lab Based Task. In *2007 Annual Conference & Exposition*.
<https://doi.org/10.18260/1-2--2984>
- Carew, A. & Dwight, R. (2006). Investigating the causes of poor student performance in basic mechanics. *Australasian Association for Engineering Education Conference*.
https://ro.uow.edu.au/articles/conference_contribution/Investigating_the_causes_of_poor_student_performance_in_basic_mechanics/27801534?file=50574057
- Carew, A. & Mitchell, C. (2002). Characterizing undergraduate engineering students' understanding of sustainability. *European Journal of Engineering Education*, 27(4), 349–361. <https://doi.org/10.1080/03043790210166657>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46.
<https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Coller, B. (2008). An experiment in hands-on learning in engineering mechanics: Statics. *International Journal of Engineering Education*, 24(3), S. 545–557.

- Collins, A., Brown, J. & Holum, A. (1991). Cognitive Apprenticeship making thinking visible. *Journal of the American Federation of Teachers*.
- Covill, D., Katz, T. & Morris, R. (2007). A Top Down Approach to Teaching Engineering Mechanics. *International Symposium for Engineering Education*, S. 103–109.
- Crouch, R. & Haines, C. (2004). Mathematical modelling: transitions between the real world and the mathematical model. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 35(2), 197–206.
<https://doi.org/10.1080/00207390310001638322>
- Dammann, E. (2016a). *Entwicklung eines Testinstruments zur Messung fachlicher Kompetenzen in der Technischen Mechanik bei Studierenden ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge*. Dissertation. Universitätsbibliothek der Universität Stuttgart, Stuttgart. <https://doi.org/90901>
- Dammann, E. (2016b). *Fragebogen zur Erfassung von Fähigkeiten zur physikalisch-mathematischen Modellierung im Inhaltsbereich Mechanik*. Forschungsgruppe ALSTER: Universität Duisburg-Essen (unveröffentlichtes Testinstrument).
- Dammann, E. (2016c). Kompetenzniveaus in der ingenieurwissenschaftlichen akademischen Grundbildung – Analysen im Fach Technische Mechanik. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 1–24. <https://doi.org/10.1007/s11618-016-0675-5>
- Dammann, E. & Lang, M. (2017). *Mechanisch-mathematisches Modellieren als Prädiktor für Studienerfolg in der Eingangsphase des Bauingenieurstudiums*. Vortrag auf dem Technikdidaktik-Symposium 2017, Universität Siegen.
- Dammann, E. & Lang, M. (2019). Unterschiede des mathematischen Wissens bei Studierenden des Bauingenieurwesens zu Studienbeginn. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 7, 53–65.
- Davishahl, E., Haskell, T. & Singleton, L. Feel the Force! An Inquiry-based Approach to Teaching Free-body Diagrams for Rigid-body Analysis. In *2020 ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--34669>
- Davishahl, E., Pearce, R., Haskell, T. & Clarks, K. Statics Modeling Kit: Hands-On Learning in the Flipped Classroom. In *2018 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--30983>
- Delacre, M., Lakens, D. & Leys, C. (2017). Why Psychologists Should by Default Use Welch's t-test Instead of Student's t-test. *International Review of Social Psychology*, 30(1), 92–101. <https://doi.org/10.5334/irsp.82>
- Deslauriers, L., McCarty, L. S., Miller, K., Callaghan, K. & Kestin, G. (2019). Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in

- the classroom. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(39), 19251–19257. <https://doi.org/10.1073/pnas.1821936116>
- Direnga, J. (2021). *Assessing the effectiveness of research-based active learning materials for introductory engineering mechanics* (Hamburg Advances in Science and Engineering Education Research, vol. 2). Hamburg: Universitätsbibliothek der Technischen Universität Hamburg-Harburg. <https://doi.org/10.15480/882.3229>
- Dollár, A. & Steif, P. (2006). Learning Modules for Statics. *International Journal of Engineering Education*, 22(2), S. 381–392.
- Döring, N. (2023). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Lehrbuch, 6., vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer. Verfügbar unter: <http://www.springer.com/>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Springer-Lehrbuch, 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Edström, K. (2012). Student feedback in engineering: a discipline-specific overview and background. In *Enhancing Learning and Teaching Through Student Feedback in Engineering* (S. 1–23). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-645-6.50001-X>
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2017). *Statistik und Forschungsmethoden. Mit Online-Materialien* (5., korrigierte Auflage). Weinheim, Basel: Beltz Verlagsgruppe. https://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783621286220
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (3. Aufl.). SAGE Publications Ltd.
- Fleiss, J. L. (1981). *Statistical methods for rates and proportions* (Wiley series in probability and mathematical statistics, 2. ed.). New York: Wiley.
- Freeman, S. [Scott], Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. et al. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Gainsburg, J. (2006). The Mathematical Modeling of Structural Engineers. *Mathematical Thinking and Learning*, 8(1), 3–36. https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0801_2
- Galbraith, P. L. [P. L.] & Clatworthy, N. J. (1990). Beyond Standard Models? Meeting the Challenge of Modelling. *Educational Studies in Mathematics*, 21(2), 137–163. <https://doi.org/10.1007/BF00304899>

- Goldfinch, T., Carew, A. & McCarthy, T. (Hrsg.). (2008). *Improving learning in engineering mechanics: The significance of understanding*: Proceedings of the 2008 AaeE Conference.
- Goldfinch, T., Carew, A. & McCarthy, T. (Hrsg.). (2009). *A Knowledge Framework for Analysis of Engineering Mechanics Exams*: Proceedings of the Research in Engineering Education Symposium 2009.
- Goldfinch, T., Carew, A. & Thomas, G. (Hrsg.). (2010). *Students' views on engineering mechanics education and the implications for educators*: Australasian Association for Engineering Education.
- Greefrath, G. & Vorhölter, K. (2016). *Teaching and Learning Mathematical Modelling*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45004-9>
- Greve, W. & Wentura, D. (1997). *Wissenschaftliche Beobachtung. Eine Einführung* [2. Aufl.]. Weinheim: Beltz.
- Gross, D., Hauger, W., Schröder, J., Wall, W. & Bonet, J. (2011). *Engineering Mechanics 2*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12886-8>
- Habig, S., van Vorst, H. & Sumfleth, E. (2018). Merkmale kontextualisierter Lernaufgaben und ihre Wirkung auf das situationale Interesse und die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 99–114. <https://doi.org/10.1007/S40573-018-0077-8>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hamilton, E., Lesh, R., Lester, F. & Brilleslyper, M. (2008). Model-Eliciting Activities (MEAs) as a bridge between engineering education research and mathematics education research. *Advances in Engineering Education*, S. 1–25.
- Hankeln, C. & Greefrath, G. (2021). Mathematische Modellierungskompetenz fördern durch Lösungsplan oder Dynamische Geometrie-Software? Empirische Ergebnisse aus dem LIMo-Projekt. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 42(2), 367–394. <https://doi.org/10.1007/s13138-020-00178-9>
- Heron, P. (2015). Effect of lecture instruction on student performance on qualitative questions. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(1). <https://doi.org/10.1103/PHYSREVSTPER.11.010102>
- Heron, P., Loverude, M., Shaffer, P. & McDermott, L. C. (2003). Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. II. Development of research-based

instructional materials. *American Journal of Physics*, 71(11), 1188–1195.
<https://doi.org/10.1119/1.1607337>

- Heron, P., Shaffer, P. & Ortiz, L. (2005). Student understanding of static equilibrium: Predicting and accounting for balancing. *American Association of Physics Teachers*, 76(6), S. 545–553.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Heublein, U. (2017). *Zwischen Studienerwartungen und Studienwirklichkeit. Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen* (Forum Hochschule, 2017, 1). Hannover: DZHW, Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung.
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW_BRIEF
- Heublein, U., Hutzsch, C., Sommer, D., Besuch, G. & Schreiber, J. (2010). *Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen. Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres 2007/08* (Forum Hochschule, 2010, 2). Hannover: HIS. Verfügbar unter: <http://ids.hof.uni-halle.de/documents/t1944.pdf>
- Heublein, U. & Schmelzer, R. (2018). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2016 : DZHW-Projektbericht*. Hannover: DZHW - Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung.
- Hibbeler, R. (2016). *Engineering Mechanics. Statics, SI Edition* (14th ed.). Harlow: Pearson. <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9781292089294>
- Hochschule Ruhr West (Hochschule Ruhr West, Hrsg.). (2024). *Modulhandbuch Studiengang Maschinenbau*. <https://www.hochschule-ruhr-west.de/studium/studienangebot/angebote/bachelor/maschinenbau>
- Johri, A. & Olds, B. M. (2015). *Cambridge Handbook of Engineering Education Research*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013451>
- Kaiser, G. (2007). Modelling and Modelling Competencies in School. In *Mathematical Modelling* (S. 110–119). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857099419.3.110>
- Kaiser, G. & Sriraman, B. (2006). A global survey of international perspectives on modelling in mathematics education. *ZDM*, 38(3), 302–310.
<https://doi.org/10.1007/BF02652813>

- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Lampe, K., Dorschu, A. & Lang, M. (2020). Development and implementation of an e-learning tool for technical mechanics to promote transfer knowledge of engineering students. *Engaging, Engineering, Education: Proceedings / 48th SEFI Annual Conference 2020*, S. 918–925.
- Lampe, K., Lang, M. & Dorschu, A. (Hrsg.). (2023). *Development And Evaluation Of A Teaching Concept That Focuses On Increasing Modeling Competence In Technical Mechanics (TM)*: 51st Annual Conference of the European Society for Engineering Education: Engineering Education for Sustainability, Proceedings 2023.
- Lampe, K., Lang, M. & Dorschu, A. (Hrsg.). (2024). *Evaluation of a strategy training to promote mechanical-mathematical modeling competence in problem solving in Technical Mechanics (statics)*: SEFI 2024 - 52nd Annual Conference of the European Society for Engineering Education: Educating Responsible Engineers, Proceedings 2024.
- Lesh, R. & Fennewald, T. (2010). Introduction to Part I Modeling: What Is It? Why Do It? In R. Lesh, P. L. Galbraith, C. R. Haines & A. Hurford (Hrsg.), *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies* (S. 5–10). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0561-1_2
- Maaß, K. (2004). *Mathematisches Modellieren im Unterricht*. Dissertation.
- Maaß, K. (2006). What are modelling competencies? *ZDM*, 38(2), 113–142. <https://doi.org/10.1007/BF02655885>
- Maaß, K. (2010). Classification Scheme for Modelling Tasks. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 31(2), 285–311. <https://doi.org/10.1007/S13138-010-0010-2>
- Magnus, K. & Müller-Slany, H. H. (2005). *Grundlagen der technischen Mechanik* (Leitfäden der angewandten Mathematik und Mechanik, 7., durchges. und erg. Aufl.). Wiesbaden: Teubner. Verfügbar unter: http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2628169&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Mahnken, R. (2012). *Lehrbuch der technischen Mechanik - Statik. Grundlagen und Anwendungen* (Springer-Lehrbuch). Berlin, Heidelberg: Springer.
- McDermott, L. C. (2001). Oersted Medal Lecture 2001: “Physics Education Research—The Key to Student Learning”. *American Journal of Physics*, 69(11), 1127–1137. <https://doi.org/10.1119/1.1389280>
- Mejia, J., Goodridge, W., Call, B. & Wood, S. Manipulatives in Engineering Statics: Supplementing Analytical Techniques with Physical Models. In *2016 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/p.25673>

- Meriam, J. & Kraige, G. (2008). *Engineering Mechanics. Statics* (6., Aufl.). New York, NY: Wiley, J.
- Meriam, J., Kraige, G. & Bolton, J. (2015). *Statics* (Vol. 1, 8th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Montfort, D., Brown, S. & Pollock, D. (2009). An Investigation of Students' Conceptual Understanding in Related Sophomore to Graduate-Level Engineering and Mechanics Courses. *Journal of Engineering Education*, 98(2), 111–129. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2009.tb01011.x>
- Moore, J., Williams, C., North, C. & Johri, A. (Hrsg.). (2013). *Promoting Conceptual Understanding in Engineering Statics Through the Use of Adaptive Concept Maps*: American Society for Engineering Education.
- Moosbrugger, H. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (SpringerLink Bücher, 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20072-4>
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2020). Qualitätsanforderungen an Tests und Fragebogen ("Gütekriterien"). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Lehrbuch, 3., vollständig neu bearbeitete, erweiterte und aktualisierte Auflage). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61532-4_2
- Müller, J. (2019). *Studienerfolg in der Physik. Zusammenhang Zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg* (Studien zum Physik- und Chemielernen). Berlin: Logos Verlag Berlin. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6480957>
- Müller, J., Stender, A., Borowski, A., Dammann, E., Lang, M. & Fischer, H. E. (2018). Mathematisches Wissen von Studienanfängern und Studienerfolg. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0082-y>
- Müller-Slany, H. H. (2018). *Aufgaben und Lösungsmethodik Technische Mechanik. Mit Strategie Lösungen systematisch erarbeiten* (SpringerLink Bücher, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Wiesbaden: Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22420-2>
- Musekamp, F., Spöttl, G., Mehrafza, M., Heine, J.-H. & Heene, M. (2014). Modeling of Competences for Students of Engineering Mechanics. *International Journal of Engineering Pedagogy*. <https://doi.org/10.3991/ijep.v4i1.2917>
- Newcomer, J. L. & Steif, P. S. (2008). Student Thinking about Static Equilibrium: Insights from Written Explanations to a Concept Question. *Journal of Engineering Education*, 97(4), 481–490. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00994.x>

- Niss, M., Blum, W. & Galbraith, P. (2007). Introduction. In W. Blum, P. L. Galbraith, H.-W. Henn & M. Niss (Hrsg.), *Modelling and Applications in Mathematics Education* (New ICMI Study Series, Bd. 10, S. 3–32). Boston, MA: Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_1
- Ortiz, L., Heron, P. & Shaffer, P. (2005). Student understanding of static equilibrium: Predicting and accounting for balancing. *American Journal of Physics*, 73(6), 545–553. <https://doi.org/10.1119/1.1862640>
- Ortlieb, P., Dresky, C., Gasser, I. & Günzel, S. (Hrsg.). (2009). *Mathematische Modellierung. Eine Einführung in zwölf Fallstudien* (Studium, 1. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg und Teubner.
- Paton, R. (2010). Making Problem-Solving in Engineering-Mechanics Visible to First-Year Engineering Students. *Australasian Journal of Engineering Education*, 16(2), 123–137. <https://doi.org/10.1080/22054952.2010.11464045>
- Plicht, K. (2024). *Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz. Entwicklung und empirische Evaluation eines Strategietrainings auf der Basis von Expertisemerkmale* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 384). Berlin: Logos Berlin.
- Pólya, G. (1983). *Vom Lösen mathematischer Aufgaben* (Wissenschaft und Kultur, Bd. 21, 2., unveränd. Aufl.). Basel, Boston, Stuttgart: Birkhäuser.
- Redish, E. F. & Burciaga, J. R. (2004). Teaching Physics with the Physics Suite. *American Journal of Physics*, 72(3), 414. <https://doi.org/10.1119/1.1691552>
- Reiss, K. & Renkl, A. (2002). Learning to prove: The idea of heuristic examples. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 34(1), 29–35.
<https://doi.org/10.1007/BF02655690>
- Rowland, D. R. & Jovanoski, Z. (2004). Student interpretations of the terms in first-order ordinary differential equations in modelling contexts. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 35(4), 503–516.
<https://doi.org/10.1080/00207390410001686607>
- Rowlands, S. (1997). *The Use of Concept Questions to Improve Student Understanding of Mechanics, and the Formulation of a Hierarchical Model of Student Understanding of Moments of Forces*. Doctoral Thesis. University of Plymouth.
<https://doi.org/10.24382/4697>
- Rozenblit, L. & Keil, F. (2002). The misunderstood limits of folk science: an illusion of explanatory depth. *Cognitive Science*, 26(5), 521–562.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog2605_1

- Sands, D. & Marchant, A. L. (2016). Enhanced conceptual understanding in first year mechanics through modelling. *New Directions in the Teaching of Physical Sciences*, (8), 22–26. <https://doi.org/10.29311/NDTPS.V0I8.490>
- Schukajlow, S. & Blum, W. (Hrsg.). (2018). *Evaluierte Lernumgebungen zum Modellieren*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-20325-2>
- Schukajlow, S., Kolter, J. & Blum, W. (2015). Scaffolding mathematical modelling with a solution plan. *ZDM*, 47(7), 1241–1254. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0707-2>
- Schwartz, M. (2014). Khan Academy: The Illusion of Understanding. *Online Learning*, 17(4). <https://doi.org/10.24059/olj.v17i4.364>
- Self, B., Miller, R., Kean, A., Moore, T., Ogletree, T. & Schreiber, F. (2008). *Important Student Misconceptions in Mechanics and Thermal Science: Identification Using Model-Eliciting Activities*. Piscataway, NJ: IEEE Frontiers in Education Conference.
- Smith, K. A., Sheppard, S. D., Johnson, D. W. & Johnson, R. T. (2005). Pedagogies of Engagement: Classroom-Based Practices. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 87–101. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00831.x>
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien, New York: Springer.
- Stangl, W. (1989). *Das neue Paradigma der Psychologie. Die Psychologie im Diskurs des radikalen Konstruktivismus* (Wissenschaftstheorie, Wissenschaft und Philosophie, Bd. 28). Braunschweig: Vieweg.
- Steif, P. (2004). An articulation of the concepts and skills which underlie engineering statics. In *34th Annual Frontiers in Education, 2004. FIE 2004* (S. 559–564). IEEE.
- Steif, P., Dollar, A. & Dantzer, J. A. (2005). Results from a Statics Concept Inventory and their Relationship to other Measures of Performance in Statics. In *Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference*. IEEE.
- Steif, P. & Hansen, M. Feeding Back Results From A Statics Concept Inventory To Improve Instruction. In *2006 Annual Conference & Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--130>
- Steif, P. & Hansen, M. New practices for administering and analyzing the results of concept inventories. In *Journal of Engineering Education* (Bd. 96, S. 205–212). Zugriff am 25.02.2025. Verfügbar unter: https://euceet.wordpress.com/wp-content/uploads/2007/08/steif_hansen_2007.pdf
- Steif, P. & Hansen, M. (2007). New Practices for Administering and Analyzing the Results of Concept Inventories. *Journal of Engineering Education*, 96(3), 205–212. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00930.x>

- Streveler, R. A., Brown, S., Herman, G. L. & Montfort, D. (2015). Conceptual Change and Misconceptions in Engineering Education. In A. Johri & B. M. Olds (Hrsg.), *Cambridge Handbook of Engineering Education Research* (S. 83–102). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013451.008>
- Terhart, E. (2011). Hattie, John. Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. London: Routledge, 2008. 378 S. [Rezension]. *Zeitschrift für Pädagogik*, 57. *Zeitschrift für Pädagogik* 57 (2011) 1, S. 136-139. <https://doi.org/10.25656/01:8711>
- Terzer, E. & Upmeier zu Belzen, A. (2008). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle – Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz. 33-56 Seiten / *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren und Lernen*, Bd. 16 (2007). <https://doi.org/10.4119/UNIBI/ZDB-V16-I1-182>
- Tropper, N. (2019). *Strategisches Modellieren durch heuristische Lösungsbeispiele*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-24992-2>
- Verein Deutscher Ingenieure. (2024). *Massiver Fachkräftemangel in den Ingenieur- und Informatikberufen: Jährlicher Wertschöpfungsverlust liegt bei bis zu 13 Milliarden Euro*. Verfügbar unter: <https://www.vdi.de/news/detail/massiver-fachkraeftemangel-in-den-ingenieur-und-informatikberufen-jaehrlicher-wertschoepfungsverlust-liegt-bei-bis-zu-13-milliarden-euro>
- Wedelin, D. & Adawi, T. (2014). Teaching Mathematical Modelling and Problem Solving - A Cognitive Apprenticeship Approach to Mathematics and Engineering Education. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 4(5), 49. <https://doi.org/10.3991/ijep.v4i5.3555>
- Wedelin, D., Adawi, T., Jahan, T. & Andersson, S. (2015). Investigating and developing engineering students' mathematical modelling and problem-solving skills. *European Journal of Engineering Education*, 40(5), 557–572. <https://doi.org/10.1080/03043797.2014.987648>
- Weinert, F. (Hrsg.). (2001). *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit*. Weinheim: Beltz.
- Weitzel, H. (2014). Modelle im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, (38), 2–11.
- Wilcox, B. R., Caballero, M. D., Rehn, D. A. & Pollock, S. J. (2013). Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(2). <https://doi.org/10.1103/physrevstper.9.020119>

- Woitkowski, D. (2018). Physikalische Denk- und Arbeitsweisen erlernen. 1-16 Seiten / Herausforderung Lehrer*innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion, Bd. 1 Nr. 1 (2018): Herausforderung Lehrer_innenbildung - Ausgabe 1. <https://doi.org/10.4119/hlz-2383>
- Zöttl, L., Ufer, S. & Reiss, K. (2010). Modelling with Heuristic Worked Examples in the KOMMA Learning Environment. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 31(1), 143–165. <https://doi.org/10.1007/s13138-010-0008-9>