

---

DER EINFLUSS VON HANDLUNGSMÖGLICHKEITEN  
AUF DEN WISSENERWERB BEI DER DURCHFÜHRUNG  
TECHNISCHER EXPERIMENTE

---

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  
vorgelegt von  
M.Sc. Felix Walker  
aus Weinstadt

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. Stefan Fletcher, Universität Duisburg-Essen  
Zweitgutachter: Univ.-Prof. Dr. Detlev Leutner, Universität Duisburg-Essen  
Tag der mündlichen Prüfung: 29. Mai 2013

Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft  
(Kennz.: DFG FL 745/1-1).



---

## INHALTSVERZEICHNIS

---

	Seite
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>3</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>7</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>11</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>14</b>
1.1 BEGRÜNDUNG DER FRAGESTELLUNG .....	14
1.2 ZUM AUFBAU DER ARBEIT .....	17
<b>2 DAS TECHNISCHE EXPERIMENT.....</b>	<b>19</b>
2.1 THEORETISCHE BETRACHTUNGEN ZUM TECHNISCHEM EXPERIMENT .....	19
2.1.1 Experimentieren: eine begriffliche Eingrenzung.....	20
2.1.2 Experimentierendes Lernen.....	21
2.1.3 Merkmale von technischen Experimenten.....	22
2.1.4 Ziele des technischen Experiments.....	25
2.1.5 Phasenstruktur des technischen Experiments.....	27
2.1.6 Einteilung des technischen Experiments nach dem Grad der Gegenständlichkeit .....	32
2.1.7 Handlungsmöglichkeiten von SchülerInnen während der Bearbeitung von technischen Experimenten.....	33
2.2 ZUSAMMENFASSUNG DER THEORETISCHEN BETRACHTUNGEN ZUM TECHNISCHEM EXPERIMENT .....	36
<b>3 FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUM EXPERIMENT ALS UNTERRICHTSVERFAHREN .....</b>	<b>39</b>
3.1 FORSCHUNGSERGEBNISSE VON LEHRERINNENBEFRAGUNGEN ZUM UNTERRICHTSVERFAHREN EXPERIMENT .....	39
3.1.1 Einsatzhäufigkeit des Unterrichtsverfahren Experiment.....	39
3.1.2 Vorteile des Unterrichtsverfahren Experiment .....	41
3.2 ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE VON LEHRERINNENBEFRAGUNGEN ZUM UNTERRICHTSVERFAHREN EXPERIMENT .....	43
3.3 FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUR WIRKSAMKEIT VON SCHÜLER-, DEMONSTRATIONSEXPERIMENTEN UND DEM LESENDEN BEARBEITEN VON EXPERIMENTEN.....	44
3.3.1 Befunde aus der Fachdidaktik der Naturwissenschaften.....	44
3.3.2 Befunde aus der Technikdidaktik.....	53
3.4 ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUR WIRKSAMKEIT DES EXPERIMENTS ALS UNTERRICHTSVERFAHREN.....	56

<b>4 KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHER ERKLÄRUNGSANSATZ FÜR DEN ZUSAMMENHANG VON SELBST AUSGEFÜHRTEN HANDLUNGEN UND WISSEN IN TECHNISCHEN EXPERIMENTEN</b> .....	<b>58</b>
4.1 DIE MULTIMODALE GEDÄCHTNISTHEORIE [MG] ALS KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHER ERKLÄRUNGSANSATZ FÜR DEN ZUSAMMENHANG VON SELBST AUSGEFÜHRTEN HANDLUNGEN UND WISSEN IN TECHNISCHEN EXPERIMENTEN .....	60
4.1.1 Grundkonzeption der multimodalen Gedächtnistheorie [MG] .....	61
4.1.2 Prozessannahmen der MG .....	63
4.2 FORSCHUNGSBEFUNDE ZUM ERINNERN VON SELBST AUSGEFÜHRTEN, BEOBACHTETEN ODER LESEND NACHVOLLZOGENEN HANDLUNGEN IM RAHMEN DER MG .....	67
4.2.1 Struktureller Aufbau der Versuchsanordnungen und damit implizierte Prozessannahmen .....	67
4.2.2 Frühe Forschungsbefunde zu den Versuchsanordnungen lesen, beobachten und handeln .....	73
4.2.3 Weitere Forschungsbefunde zum Vergleich der Versuchsanordnungen lesen, beobachten und handeln .....	77
4.3 ZUSAMMENFASSUNG ZUM KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHEN ERKLÄRUNGSANSATZ .....	81
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG BISHERIGER BETRACHTUNGEN UND ABLEITUNG ZENTRALER BEGRIFFE</b> .....	<b>83</b>
5.1 ZUM ZUSAMMENHANG VON SELBST AUSGEFÜHRTEN HANDLUNGEN UND DER DURCHFÜHRUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN .....	83
5.1.1 Strukturelle Restriktionen für den Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperiment und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten ...	84
5.1.2 Zusammenführende Betrachtungen des kognitionspsychologischen Erklärungsansatzes und der Durchführung von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und des lesenden Bearbeitens von Experimenten .....	86
5.2 ZUM ZUSAMMENHANG VON WISSEN BZW. WISSENERWERB UND DER DURCHFÜHRUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN .....	92
<b>6 ZIEL UND HYPOTHESEN DER UNTERSUCHUNG</b> .....	<b>96</b>
6.1 ZIEL DER UNTERSUCHUNG .....	96
6.2 HYPOTHESE H1 UND H2: DIE ANEIGNUNG VON DEKLARATIVEM UND PROZEDURALEM WISSEN DURCH DIE BEARBEITUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN .....	98
6.3 HYPOTHESE H3: DIE ENTWICKLUNG DES FACHINTERESSES DURCH DIE BEARBEITUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN .....	99

6.4	HYPOTHESE H4 UND H5: DER EINFLUSS DES BEREICHSSPEZIFISCHEN VORWISSENS AUF DEN ERWERB VON DEKLARATIVEM UND PROZEDURALEM WISSEN.....	100
<b>7</b>	<b>FORSCHUNGSDESIGN DER UNTERSUCHUNG .....</b>	<b>101</b>
7.1	KLASSIFIKATIONSMÖGLICHKEITEN VON UNTERSUCHUNGEN .....	101
7.2	VORSTELLUNG UND BEURTEILUNG DES ENTWICKELTEN FORSCHUNGSDESIGNS DER UNTERSUCHUNG .....	103
7.2.1	<i>Erfasste Variablen der Untersuchung .....</i>	<i>103</i>
7.2.2	<i>Forschungsdesign der Untersuchung .....</i>	<i>103</i>
7.2.3	<i>Beurteilung des Forschungsdesigns hinsichtlich der externen und internen Validität.....</i>	<i>113</i>
7.3	DAS TECHNISCHE EXPERIMENT: AUSWAHL EINER GEEIGNETEN PROFILFORM FÜR DEN LÄNGSTRÄGER EINES VERPACKUNGSROBOTERS .....	115
7.3.1	<i>Ziele und Inhalte des technischen Experiments .....</i>	<i>115</i>
7.3.2	<i>Struktureller Aufbau des technischen Experiments.....</i>	<i>117</i>
7.4	INSTRUMENTE ZUR ERFASSUNG DER ABHÄNGIGEN VARIABLEN .....	123
7.4.1	<i>Wissenstest .....</i>	<i>125</i>
7.4.2	<i>Fachinteresse und Demografische Daten .....</i>	<i>130</i>
<b>8</b>	<b>VORUNTERSUCHUNG [VU] .....</b>	<b>132</b>
8.1	ZIEL .....	132
8.2	STICHPROBE .....	132
8.3	VERLAUF/ABLAUF .....	132
8.4	INSTRUMENTE .....	133
8.4.1	<i>Wissenstest .....</i>	<i>133</i>
8.4.2	<i>Fachinteresse .....</i>	<i>135</i>
8.5	ERGEBNISSE DER VORUNTERSUCHUNG .....	136
<b>9</b>	<b>HAUPTUNTERSUCHUNG [HU].....</b>	<b>141</b>
9.1	ZIEL .....	141
9.2	STICHPROBE .....	141
9.3	VERLAUF/ABLAUF .....	142
9.4	INSTRUMENTE .....	143
9.4.1	<i>Auswertverfahren der Instrumente auf Basis der Probabilistischen Testtheorie [PTT].....</i>	<i>143</i>
9.4.2	<i>Wissenstest .....</i>	<i>159</i>
9.4.3	<i>Fachinteresse .....</i>	<i>164</i>
9.5	ERGEBNISSE DER HAUPTUNTERSUCHUNG .....	168
9.5.1	<i>Einleitende Betrachtungen .....</i>	<i>168</i>
9.5.2	<i>Hypothesenprüfung.....</i>	<i>175</i>

---

9.6	DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER HAUPTUNTERSUCHUNG .....	186
9.6.1	<i>Zusammenfassende Darstellung der Hypothesenprüfung</i> .....	186
9.6.2	<i>Theoretische Implikationen</i> .....	188
9.6.3	<i>Bildungspraktische Implikationen</i> .....	196
<b>10</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>199</b>
<b>11</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>207</b>
<b>12</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>223</b>
12.1	ENTWICKELTE LERNMATERIALIEN FÜR DAS TECHNISCHE EXPERIMENT .....	223
12.1.1	<i>Experimentierbogen für das technische Experiment</i> .....	223
12.1.2	<i>Informationsblatt zur Biegesteifigkeit</i> .....	230
12.1.3	<i>Preistabelle für die unterschiedlichen Längsträgerprofile des Verpackungsroboters</i> .....	231
12.2	ENTWICKELTE MATERIALIEN FÜR DIE TREATMENTS DER UNTERSUCHUNG .....	232
12.2.1	<i>Screenshots der Handlungsschritte „wiegen“ und „Kosten ermitteln“ der Simulation des Treatments beobachten</i> .....	232
12.2.2	<i>Lösungsblatt für das Treatment lesen</i> .....	233
12.3	ENTWICKELTE INSTRUMENTE ZUR ERFASSUNG DER ABHÄNGIGEN VARIABLEN ...	234
12.3.1	<i>Wissenstest der Voruntersuchung</i> .....	234
12.3.2	<i>Wissenstest der Hauptuntersuchung</i> .....	242
12.3.3	<i>Fachinteresse und Kontrollvariablen</i> .....	250
12.3.4	<i>Protokollbogen der Treatments zur Gewährleistung der Durchführungsobjektivität</i> .....	251

---

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**


---

	Seite
Abbildung 2.1: Das Begriffsfeld des Experimentierens nach Eicker (1983).....	21
Abbildung 2.2: Ziele von Experimenten im Technikunterricht nach Ott und Pyszalla (2003) .....	27
Abbildung 2.3: Grobstruktur des Experimentierprozesses nach Schmayl (1982) .....	29
Abbildung 3.1: Mit dem Einsatz der experimentellen Unterrichtsform verbundene Lernwirksamkeit nach Bäuml-Roßnagl (1981) .....	42
Abbildung 3.2: Einschätzungen zur Wirksamkeit von Schülerexperimenten nach Barth und Pfeifer (2009).....	42
Abbildung 3.3: Interessensförderung von Schüler-, Demonstrations-, Gedanken- und Gruppenexperimenten nach Bäuml-Roßnagl (1981) .....	43
Abbildung 3.4: Vergleich der Ergebnisse von 5. Klässlern nach der Bearbeitung von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und Frontalunterricht geordnet nach Geschlecht .....	53
Abbildung 3.5: Vergleich der Ergebnisse von 7. Klässlern nach der Bearbeitung von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und Frontalunterricht geordnet nach Geschlecht .....	53
Abbildung 4.1: Anforderungen an den kognitionspsychologischen Erklärungsansatz.....	60
Abbildung 4.2: Modalitätsspezifische (verbal = dunkel; nonverbal = hell) Eingangs- und Ausgangssysteme sowie das modalitätsunspezifische konzeptuelle System .....	62
Abbildung 4.3: Struktur- und Prozessannahmen der MG Anmerkung: Die Linien zwischen den Systemen stellen die Aktivationsmöglichkeiten bzw. den Informationsfluss dar; gestrichelte Linien sind abhängig von der Instruktion; bei durchgezogenen Linien erfolgt automatisch die Aktivierung des verbundenen Systems.....	64
Abbildung 4.4: Verb-Objekt-Phrasen aus Steffens (1998) Experiment 4.....	69
Abbildung 4.5: Beteiligte Prozesse der Versuchsanordnung <i>handeln</i> gemäß den Annahmen der MG .....	71
Abbildung 4.6: Beteiligte Prozesse der Versuchsanordnung <i>beobachten</i> gemäß den Annahmen der MG .....	72
Abbildung 4.7: Beteiligte Prozesse der Versuchsanordnung <i>lesen</i> gemäß den Annahmen der MG .....	73
Abbildung 4.8: Mittlere Reproduktionsleistung der Versuchsgruppen (Wörter = words; Strichzeichnungen = drawings; Photographien = photos) in drei aufeinander folgenden Tests.....	74
Abbildung 4.9: Mittlere Erinnerungsleistung pro Versuchsgruppe der freien Reproduktion des Experiments 3 Anmerkungen: <i>M</i> = Mittelwert; <i>SD</i> = Standardabweichung .....	75

Abbildung 4.10: Mittlere Erinnerungsleistung in den Versuchsbedingungen ( <i>lesen</i> = Kontrolle; <i>beobachten</i> = Sehen; <i>handeln</i> = Tun) der Untersuchung von Engelkamp und Zimmer (1983) .....	77
Abbildung 4.11: Prozentuale Erinnerungsleistung der freien Reproduktion von Objekten (Experiment 1: links) und Handlungen (Experiment 2: rechts) in den Versuchsbedingungen ( <i>enactment</i> = <i>handeln</i> ; <i>observing</i> = <i>beobachten</i> ; <i>verbal learning</i> = <i>lesen</i> ) der Studie von Steffens (2007) .....	80
Abbildung 5.1: Zusammenhang von Schüler- und Demonstrationsexperimenten sowie des lesenden Bearbeitens von Experimenten und den Handlungsmöglichkeiten im Rahmen der MG.....	88
Abbildung 5.2: Beteiligte Systeme der MG in der Durchführungsphase von Schülerexperimenten .....	89
Abbildung 5.3: Beteiligte Systeme der MG bei der Bearbeitung von Demonstrationsexperimenten .....	90
Abbildung 5.4: Beteiligte Systeme der MG bei der lesenden Bearbeitung von Experimenten.....	91
Abbildung 7.1: Zusammenhang von interner bzw. externer Validität und dem Forschungsdesign in Anlehnung an Bortz und Döring (2006) .....	102
Abbildung 7.2: Struktureller Aufbau des Forschungsdesigns .....	105
Abbildung 7.3: Vergleich der Phasen des technischen Experiments in den Treatments der Untersuchung.....	107
Abbildung 7.4: Hierarchisch-sequenzielle Ordnung der Handlungen während der Durchführungsphase des technischen Experiments in Anlehnung an Hacker (2005) .....	108
Abbildung 7.5: Inhaltliche Umsetzung des Treatments <i>handeln</i> , in dem die SchülerInnen die Durchführung des technischen Experiments an einem real vorhandenen Experimentiersystem selbst durchführen konnten .....	109
Abbildung 7.6: Inhaltliche Umsetzung des Treatments <i>beobachten</i> , in dem die SchülerInnen die Durchführung des technischen Experiments an einer Simulation beobachten konnten .....	110
Abbildung 7.7: Startoberfläche der Simulation.....	110
Abbildung 7.8: Hauptmenü der Simulation.....	111
Abbildung 7.9: Auswahlmenü der Handlung exemplarisch dargestellt an der Profilform des Doppel T-Trägers .....	111
Abbildung 7.10: Screenshots des Handlungsschrittes Biegen des Doppel T-Trägers mit exemplarischer Darstellung der Teilhandlungsschritte „Profil einspannen“ und „Messuhr einschalten bzw. kalibrieren“ .....	111
Abbildung 7.11: Screenshots des Handlungsschrittes Biegen des Doppel T-Trägers mit exemplarischer Darstellung der Teilhandlungsschritte „Profil biegen“ und „Durchbiegung f ablesen“ .....	112
Abbildung 7.12: Inhaltliche Umsetzung des Treatments <i>lesen</i> , in dem die SchülerInnen die Durchführung des technischen Experiments rein lesend nachvollziehen mussten.....	112

Abbildung 7.13: Handlungsschritt Biegen als exemplarischer Auszug des Lösungsblattes .....	113
Abbildung 7.14: Verpackungsroboter des technischen Experiments.....	118
Abbildung 7.15: Visualisierung der Problemstellung des technischen Experiments.....	119
Abbildung 7.16: Arbeitsaufträge des technischen Experiments .....	119
Abbildung 7.17: Ideen/Vermutungen über das Verhalten der jeweiligen Profile in Bezug auf die gestellten Anforderungen .....	120
Abbildung 7.18: Versuchsaufbau und -materialien des technischen Experiments ....	120
Abbildung 7.19: Ausschnitt der Bewertungsphase des eingesetzten Experimentierbogens des technischen Experiments .....	123
Abbildung 7.20: Gütekriterien empirisch-quantitativer Testinstrumente in Anlehnung an Bühner (2006) .....	124
Abbildung 7.21: Beispielaufgabe zur Erfassung von deklarativem Sachwissen .....	128
Abbildung 7.22: Beispielaufgabe zur Erfassung von deklarativem Handlungswissen.....	128
Abbildung 7.23: Beispielaufgabe zur Erfassung von prozeduralem Sachwissen.....	129
Abbildung 7.24: Beispielaufgabe zur Erfassung von prozeduralem Handlungswissen.....	129
Abbildung 8.1: Mittelwerte des (deklarativen/prozeduralen) Vorwissens getrennt nach Klasse und Geschlecht betrachtet .....	137
Abbildung 8.2: Mittelwerte des deklarativen und prozeduralen Wissens des Vor- und Nachtests aus der Voruntersuchung .....	138
Abbildung 9.1: Zentraler Unterschied in der Ermittlung von individuellen Merkmalsausprägungen der PTT (links) und KTT (rechts) .....	145
Abbildung 9.2: Grafische Darstellung der itemcharakteristischen Funktion als funktionaler Zusammenhang von Lösungswahrscheinlichkeit, Aufgabenschwierigkeit und Personenfähigkeit exemplarisch dargestellt an einem 1-parametrischen Raschmodells für dichotome Daten .....	146
Abbildung 9.3: Zusammenhang zwischen manifester Variable, mathematischem Modell und latenter Variable im Rahmen der PTT .....	148
Abbildung 9.4: Kategorienfunktionen (engl. category characteristic curves [CCC]) einer vierkategorialen Aufgabe des pc- bzw. rs-Modells .....	152
Abbildung 9.5: Möglichkeiten zur Schätzung mehrerer latenter Variablen nach Wu et al. (2007).....	154
Abbildung 9.6: Datenmatrix mit virtuellen Personen zur gemeinsamen Schätzung der Itemparameter einer latenten Variable aus Vor- und Nachtest nach Rost (1996) .....	158
Abbildung 9.7: Schätzung der Personenfähigkeitsparameter von Vor- und Nachtest für eine latente Variable als zwei latente Dimensionen mit fixierten Itemparametern aus der Schätzung mit virtuellen Personen.....	158
Abbildung 9.8: System- und Prozessannahmen des kognitionspsychologischen Erklärungsansatzes für die Bearbeitung von technischen Experimenten Anmerkung: Die Linien zwischen den Systemen	

stellen die Aktivationsmöglichkeiten bzw. den Informationsfluss dar; gestrichelte Linien sind abhängig von der Instruktion; bei durchgezogenen Linien erfolgt automatisch die Aktivierung des verbundenen Systems..... 193

Abbildung 12.1: Screenshots der Handlungsschritte Wiegen und Kosten ermitteln exemplarische dargestellt für die Profilform des Doppel T-Trägers ..... 233

---

**TABELLENVERZEICHNIS**


---

	Seite
Tabelle 2.1:	Übersicht der Grobstruktur des technischen Experiments in einschlägiger Literatur..... 28
Tabelle 2.2:	Übersicht der Phasen des technischen Experiments in einschlägiger Literatur geordnet nach den Grobphasen von Schmayl (1982)..... 30
Tabelle 3.1:	Übersicht der frühen Arbeiten zum Vergleich von Schüler- und Demonstrationsexperimenten ..... 45
Tabelle 3.2:	Übersicht weiterer Arbeiten zum Vergleich von Schüler- und Demonstrationsexperimenten ..... 47
Tabelle 3.3:	Übersicht von Arbeiten zum Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten..... 49
Tabelle 4.1:	Prozentuale Erinnerungsleistung der freien Reproduktion (Experiment 1) von Engelkamp & Zimmer (1997) Anmerkung: VT = verbal task = listen = <i>lesen</i> ; EPT = experimenter-performed task = see = <i>beobachten</i> ; SPT = subject-performed task = perform = <i>handeln</i> ..... 77
Tabelle 5.1:	Matrix der Wissensarten dieser Arbeit in Anlehnung an Süß (1996) und Künsting (2007)..... 95
Tabelle 6.1:	Zentrale Annahmen der eigenen Untersuchung ..... 97
Tabelle 7.1:	Anforderung an die Profile des Längsträgers ..... 117
Tabelle 7.2:	Handlungsschritte des technischen Experiments ..... 120
Tabelle 7.3:	Notizmöglichkeit für Ergebnisse der Versuchsdurchführung sowie der Berechnungen der Auswertungsphase..... 121
Tabelle 7.4:	Beurteilungsaufgaben über das Interesse am Fach Technik ..... 130
Tabelle 7.5:	Fragebogen zur Ermittlung der demografischen Daten ..... 131
Tabelle 8.1:	Zuordnung der SchülerInnen der Voruntersuchung zu den Treatments sowie der Kontrollgruppe ..... 132
Tabelle 8.2:	Übersicht der Aufgabenschwierigkeiten P und korrigierte Trennschärfen $r_{itc}$ des Wissenstests aus der Voruntersuchung, getrennt nach den erfassten Wissensbereichen Anmerkungen: Ergebnisse des Nachttests sind ohne Ergebnisse des Vortests in Klammern dargestellt. .... 134
Tabelle 8.3:	Reliabilität $\alpha$ , Mittelwerte $M$ , Standardabweichungen $SD$ und korrigierte Trennschärfen $r_{itc}$ der Beurteilungsaufgaben zum Fachinteresse der Vorstudie (Vor- und Nachttest) ..... 135
Tabelle 8.4:	Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben ..... 137
Tabelle 8.5:	Bearbeitungszeiten des Vortests [VT], der Informations- und Planungsphase [I und P], gesamte Bearbeitungszeit aller Phasen für das technische Experiment [GES] sowie die des Nachttests [NT], angegeben in Minuten ..... 138
Tabelle 8.6:	Aufgaben zur Erfassung des prozeduralen Wissens (links: Aufgaben der Voruntersuchung; rechts: Aufgaben der Hauptuntersuchung)

	Anmerkung: Die grau hinterlegten Aufgaben entsprechen nicht den Gütekriterien (vgl. Tabelle 8.2 in Kap. 8.4.1). ....	139
Tabelle 8.7:	Aufgaben zur Erfassung des deklarativen Wissens (links: Aufgaben der Voruntersuchung; rechts: Aufgaben der Hauptuntersuchung) Anmerkung: Die grau hinterlegten Aufgaben entsprechen nicht den Gütekriterien (vgl. Tabelle 8.2 in Kap. 8.4.1). ....	140
Tabelle 9.1:	Zuordnung der SchülerInnen der Hauptuntersuchung zu den Treatments sowie der Kontrollgruppe .....	141
Tabelle 9.2:	Item-fit-Werte der Aufgaben des 1- und 2-dimensionalen Modells .....	160
Tabelle 9.3:	Modell-fit des 1- und 2-dimensionalen Modells zum Vergleich der durch den Test erfassten Wissensstruktur.....	161
Tabelle 9.4:	Interkorrelationen der zwei Wissensbereiche zu den zwei Messzeitpunkten (Vor- und Nachtest) des 2-dimensionalen Modells .....	161
Tabelle 9.5:	Übersicht der WLE-Reliabilitäten, Aufgabenschwierigkeiten P und punktbiserialen Trennschärfen $r_{pbis}$ des Wissenstest aus der Hauptuntersuchung, getrennt nach den erfassten Wissensbereichen Anmerkungen: Ergebnisse des Nachtests sind ohne Ergebnisse des Vortests in Klammern dargestellt. ....	162
Tabelle 9.6:	Item-fit-Werte der fünf Beurteilungsaufgaben des rating scale- und des partial credit-Modells .....	165
Tabelle 9.7:	Vergleich des rating scale- und des partial credit-Modells in Bezug auf den Modell-fit .....	166
Tabelle 9.8:	Übersicht der WLE-Reliabilitäten und punktbiserialen Trennschärfen $r_{pbis}$ des Fachinteressetests aus der Hauptuntersuchung Anmerkungen: Ergebnisse des Nachtests sind ohne Ergebnisse des Vortests in Klammern dargestellt.....	166
Tabelle 9.9:	Eingangsvoraussetzungen der untersuchten Schulen in den abhängigen Variablen (Vortest = VT) Anmerkung: $M$ = Mittelwert und $SD$ = Standardabweichung. ....	169
Tabelle 9.10:	Eingangsvoraussetzungen bezogen auf das Geschlecht, die aktuelle Klasse sowie die Schulform in den abhängigen Variablen (Vortest = VT) Anmerkung: $M$ = Mittelwert und $SD$ = Standardabweichung.....	170
Tabelle 9.11:	Eingangsvoraussetzungen in den Treatmentgruppen der abhängigen Variablen (Vortest = VT) Anmerkung: $M$ = Mittelwert und $SD$ = Standardabweichung. ....	171
Tabelle 9.12:	Zeugnisnoten der SchülerInnen in den Treatmentgruppen Anmerkung: $M$ = Mittelwert und $SD$ = Standardabweichung.....	171
Tabelle 9.13:	Bearbeitungszeiten des Vortests [VT], der Informations- und Planungsphase [I und P], der Durchführungs-, Auswertungs- und Bewertungsphase des technischen Experiments [D, A und B] sowie die des Nachtests [NT] angegeben in Minuten Anmerkung: $M$ = Mittelwert und $SD$ = Standardabweichung.....	172

Tabelle 9.14:	Mittelwerte ( <i>M</i> ) und Standardabweichungen ( <i>SD</i> ) der beiden Wissensarten in den Treatmentgruppen zu den zwei Messzeitpunkten (VT = Vortest; NT = Nachtest).....	173
Tabelle 9.15:	Ergebnisse der Overall-Signifikanz für die ANCOVA der abhängigen Variable deklaratives Wissen im Nachtest Anmerkungen: <i>SS</i> = Quadratsumme (sum of square); <i>df</i> = Freiheitsgrade (degrees of freedom); <i>MS</i> = mittleres Abweichungsquadrat (mean square); <i>p</i> = Signifikanz; $\eta^2$ = partielles $\eta^2$ ; VT = Vortest. ....	176
Tabelle 9.16:	Ergebnisse der Overall-Signifikanz für die ANCOVA der abhängigen Variable prozedurales Wissen im Nachtest Anmerkungen: <i>SS</i> = Quadratsumme (sum of square); <i>df</i> = Freiheitsgrade (degrees of freedom); <i>MS</i> = mittleres Abweichungsquadrat (mean square); <i>p</i> = Signifikanz; $\eta^2$ = partielles $\eta^2$ ; VT = Vortest. ....	178
Tabelle 9.17:	Mittelwerte ( <i>M</i> ) und Standardabweichungen ( <i>SD</i> ) des Fachinteresses in den Treatmentgruppen zu den zwei Messzeitpunkten (VT = Vortest; NT = Nachtest) Anmerkung: <i>N</i> = Stichprobengröße. ....	180
Tabelle 9.18:	Ergebnisse der Overall-Signifikanz für die ANCOVA der abhängigen Variablen Fachinteresse im Nachtest Anmerkungen: <i>SS</i> = Quadratsumme (sum of square); <i>df</i> = Freiheitsgrade (degrees of freedom); <i>MS</i> = mittleres Abweichungsquadrat (mean square); <i>p</i> = Signifikanz; $\eta^2$ = partielles $\eta^2$ ; VT = Vortest.....	180
Tabelle 9.19:	Interkorrelationen zwischen erhobenen Variablen und dem Kriterium deklaratives Wissen im Nachtest Anmerkung: Rangkorrelationen nach Spearman.....	183
Tabelle 9.20:	Ergebnis der schrittweisen Regressionsanalyse der abhängigen Variablen deklaratives Wissen im Nachtest .....	183
Tabelle 9.21:	Koeffizienten des Regressionsmodells für die abhängige Variable: deklaratives Wissen im Nachtest .....	184
Tabelle 9.22:	Interkorrelationen zwischen erhobenen Variablen und dem Kriterium prozedurales Wissen im Nachtest Anmerkung: Rangkorrelation nach Spearman. ....	184
Tabelle 9.23:	Ergebnis der schrittweisen Regressionsanalyse der abhängigen Variablen prozedurales Wissen im Nachtest.....	185
Tabelle 9.24:	Koeffizienten des Regressionsmodells für die abhängige Variable: prozedurales Wissen im Nachtest.....	185
Tabelle 12.1:	Übersicht der Testaufgaben der Voruntersuchung .....	234
Tabelle 12.2:	Übersicht der Testaufgaben der Hauptuntersuchung .....	242



---

# 1 EINLEITUNG

---

## 1.1 BEGRÜNDUNG DER FRAGESTELLUNG

Das technische Experiment besitzt im allgemeinbildenden Technikunterricht als auch im gewerblich-technischen Unterricht hohe bildungspraktische Relevanz und wird als effektives Unterrichtsverfahren angesehen mit dessen Einsatz eine hohe Lernwirksamkeit verbunden wird (vgl. Bleher, 2008, S. 61f; Pätzold, Wingels & Klusmeyer, 2003, S. 124f; Bäuml-Roßnagl, 1981, S. 160f).

Begründet wird diese Annahme mit der mehrdimensional angelegten Problemstellung als Bezugspunkt technischer Experimente und der Anforderung an SchülerInnen, zweckbezogen eine Lösung zu planen, zu erarbeiten und zu bewerten. Des Weiteren wird experimentierendes Lernen als ein zielgerichtetes, weitgehend selbst organisiertes, planvolles und rückgekoppeltes Handeln verstanden. Es soll geistiges Tun und praktisches Handeln – (Fach-)Theorie und (Fach-)Praxis – zu einem sinnvollen Ganzen vereinen und insbesondere den Aufbau von deklarativem und prozeduralem Wissen als Teil technischer Handlungsfähigkeit fördern (vgl. Pahl, 2008, S. 194; Ott & Pyzalla, 2003, S. 120; Sachs, 1994, S. 9).

Auf bildungspraktischer Ebene ist das technische Experiment in unterschiedlichen Ausprägungen anzutreffen. Dies bezieht sich insbesondere auf die Handlungsmöglichkeiten ein technisches Experiment bearbeiten zu können. So können die Handlungsmöglichkeiten, die SchülerInnen während des Experimentierens zugewiesen bekommen, von selbst ausgeführten Handlungen in Schülerexperimenten, über beobachtete Handlungen in Demonstrationsexperimenten bis hin zu durch Lesen nachvollzogenen Handlungen und Handlungsergebnissen reichen. Eng verbunden mit den drei genannten Handlungsmöglichkeiten, ein technisches Experiment zu bearbeiten, ist die zu erwartende Lernwirksamkeit.

In fachdidaktischer Literatur<sup>1</sup> als auch in Einschätzungen von LehrerInnen wird die Meinung vertreten, dass je größer die Handlungsmöglichkeiten sind, die SchülerInnen während der Bearbeitung von technischen Experimenten besitzen, der Wissensaufbau umso besser gelingen wird. Folglich stellen Schülerexperimente die *günstigsten* Bedingungen für den Wissensaufbau mit den größten Handlungsmöglichkeiten und das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten die *ungünstigsten* Bedingungen mit den geringsten Handlungsmöglichkeiten bereit.

---

<sup>1</sup> Die Literaturanalyse bezieht sich insbesondere auf Bünning (2008), Pahl (2008), Pahl (2007), Bünning (2006a), Hüttner (2005), Wöll (2004), Ott und Pyzalla (2003), Bloy und Bloy (2000), Seifert und Weitz (1999), Pahl und Ruppel (1998), Henseler und Höpken (1996), Bloy und Pahl (1995), Nashan und Ott (1995), Sachs (1994), Bader (1990), Schmayl (1982), Rauner (1985), Steffens (1985), Blandow, Bösenberg und Sachs (1981), Sachs (1975) und Scheid (1913).

Es lässt sich also konstatieren, dass in Theorie und Praxis ein großer Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb bzw. die Lernwirksamkeit angenommen wird. Umso erstaunlicher ist, dass dieser Einfluss, trotz der hohen bildungspraktischen Relevanz des technischen Experiments, bisher keinen Eingang in technikdidaktische Forschungsbemühungen gefunden hat.

Allgemein muss der Forschungsstand der Technikdidaktik an allgemeinbildenden Schulen, gleichwohl von bildungspolitischer Seite die technische Bildung für den Wirtschaftsstandort Deutschland immer wieder hervorgehoben wird, als defizitär bezeichnet werden (vgl. Buhr & Hartmann, 2008; Höpken, 2003, S. 295f). Dies trifft insbesondere auch auf die Forschungslage zum Unterrichtsverfahren des technischen Experiments zu, welche bereits 1982 von Schmayl als unzureichend und faktisch nicht existent bezeichnet wurde (vgl. Schmayl, 1982, S. 296f). Entsprechend überrascht es, dass gegenwärtig keine Untersuchungen vorliegen, die in vergleichender Perspektive dem Einfluss von Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb bei der Bearbeitung von technischen Experimenten nachgehen. Auch aus dem Bereich der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik kann, trotz nationalen als auch internationalen Arbeiten, keine einheitliche Aussage zum Vergleich von Schüler- gegenüber Demonstrationsexperimenten oder dem lesenden Bearbeiten von Experimenten getroffen werden (vgl. Hopf, 2007, S. 35ff; Majerich, 2004, S. 86ff; Fischer et al., 2003, S. 194).<sup>2</sup>

Inwieweit der (postulierte) *Einfluss der Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung eines technischen Experiments auf den Wissenserwerb* empirisch fundiert werden kann, ist somit für den allgemeinbildenden Technikunterricht noch ungeklärt.

Dieses Defizit aufgreifend wird mit dieser Arbeit zunächst der Frage nachgegangen, welche Bedingungen für einen Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten notwendig sind, um den Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb erfassen zu können. Daran anknüpfend werden die Anforderungen, die die Bearbeitung von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und das lesende Bearbeiten technischer Experimente an SchülerInnen stellen, betrachtet.

---

<sup>2</sup> Durch Analyse von 41 Arbeiten aus der Fachdidaktik der Naturwissenschaften wurde der Verdacht genährt, dass die diffuse Befundlage durch Konfundierungen verursacht wurde. Eingehende Analysen unterstützten dies, wobei die Ursachen insbesondere in der Anlage der Arbeiten und der Ausgestaltung der Treatments zu sehen sind. Ein weiterer zentraler Kritikpunkt liegt in der oftmals fehlenden kognitionspsychologischen Basis und dem Einsatz von nicht adäquaten kognitionspsychologischen Erklärungsansätzen für die Hypothesengenerierung.

Mit Hilfe dieser Überlegungen können anschließend auf Basis eines kognitionspsychologischen Erklärungsansatzes Aussagen getroffen werden, wie sich der Wissenserwerb während Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten im allgemeinbildenden Technikunterricht vollzieht.

Abschließend wird die Frage beantwortet, ob der in der Theorie angenommene Einfluss der Handlungsmöglichkeiten bei der Durchführung von technischen Experimenten auf den Wissenserwerb empirisch nachgewiesen werden konnte.

## 1.2 ZUM AUFBAU DER ARBEIT

Im zweiten Kapitel wird das technische Experiment, als zentraler Bestandteil dieser Arbeit, aus theoretischer Sicht beleuchtet. Beginnend mit einer begrifflichen Annäherung an das Experimentieren bzw. das experimentierende Lernen werden anschließend die Merkmale, Ziele und (Phasen-)Struktur technischer Experimente betrachtet. Abschließend werden Einteilungs- bzw. Kategorisierungsmöglichkeiten von technischen Experimenten vorgestellt.

Daran anknüpfend bilden Forschungsbefunde zum Unterrichtsverfahren Experiment den Schwerpunkt des dritten Kapitels. Einleitend werden zunächst Ergebnisse von LehrerInnenbefragungen zur Einsatzhäufigkeit von Experimenten und damit verbundenen Erwartungen in der Fachdidaktik der Naturwissenschaften als auch der Technikdidaktik vorgestellt. Empirische Befunde zum Vergleich der Lernwirksamkeit von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten schließen das Kapitel ab.

Das vierte Kapitel führt ein kognitionspsychologisches Modell in die Betrachtungen dieser Arbeit ein, wodurch der Fokus dieses Kapitels auf der Vorstellung der System- und Prozessannahmen des Modells liegt, welche durch entsprechende Forschungsbefunde bestätigt werden.

Die Zusammenführung bisheriger Betrachtungen wird in Kapitel fünf vorgenommen. Nachdem Überlegungen zur Vergleichbarkeit von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten angeführt wurden, wird das, in Kapitel vier vorgestellte, kognitionspsychologische Erklärungsmodell auf die Bearbeitung von technischen Experimenten übertragen. Hierdurch wird eine Vorhersage des Wissenserwerbs durch die Bearbeitung von technischen Experimenten ermöglicht. Der Frage, welches Wissen beim Bearbeiten von technischen Experimenten benötigt bzw. erworben wird, wird anschließend nachgegangen. Abschließend wird die Operationalisierung der Wissensbegriffe vorgenommen.

Den Überlegungen des Kapitels fünf folgend, kann in Kapitel sechs zunächst das Ziel der Arbeit vorgestellt, und sodann können kognitionspsychologisch begründete Hypothesen für den Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb bei der Durchführung von technischen Experimenten expliziert werden.

Das siebte Kapitel entfaltet das forschungsmethodische Design dieser Arbeit, indem einleitend Klassifikationsmöglichkeiten für empirische Untersuchungen vorgestellt werden. Die erfassten Variablen der Untersuchung, also die

abhängigen und unabhängigen Variablen der Arbeit, werden danach ausgeführt. Im Anschluss folgen der strukturelle und inhaltliche Aufbau des entwickelten Forschungsdesigns dieser Arbeit sowie dessen Reflektion an den eingangs vorgestellten Klassifikationsmöglichkeiten. Den Abschluss des Kapitels bilden die zur Erfassung der abhängigen Variablen (Wissenstest (deklarativ/prozedural), Fachinteresstest) entwickelten Instrumente.

Die Erprobung des entwickelten Forschungsdesigns und der entsprechenden Instrumente wird in Kapitel acht, im Rahmen der Voruntersuchung, unternommen. Dabei war es das Ziel der Voruntersuchung, das Forschungsdesign in inhaltlicher, organisatorischer und struktureller Hinsicht zu überprüfen und, in einem weiteren Schritt, die Instrumente zur Erfassung der abhängigen Variablen auf ihre Güte zu untersuchen.

Im neunten Kapitel, welches den Hauptteil dieser Arbeit bildet, wird, im Rahmen der Hauptuntersuchung, die statistische Absicherung der Hypothesen vorgenommen. Dabei erfolgt die Ermittlung der Merkmalsausprägungen der untersuchten SchülerInnen in den abhängigen Variablen, im Sinne des *fairen Testens*, mit Hilfe der Probabilistischen Testtheorie (vgl. Kubinger, 2000, S. 33f). Anschließend werden die Befunde zur Entwicklung des deklarativen und prozeduralen Wissens, des Fachinteresses und des Einflusses des bereichsspezifischen Vorwissens, unter Berücksichtigung der Handlungsmöglichkeiten bei der Bearbeitung von technischen Experimenten, vorgestellt und hinsichtlich theoretischer und bildungspraktischer Implikationen diskutiert.

Die Arbeit schließt in Kapitel zehn mit einem zusammenfassenden Überblick.

---

## 2 DAS TECHNISCHE EXPERIMENT

---

Ausgehend vom fachwissenschaftlichen Bezugspunkt des Unterrichtsverfahrens Experiment, welches das „empirisch-analytische Wissenschaftsverständnis der Naturwissenschaften und weitere Bereiche der Technikwissenschaften (Ingenieurwissenschaften) [darstellt, das] sich an der Gewinnung empirisch prüfbarer und quantifizierbarer Erkenntnisse über Phänomene der natürlichen und der künstlichen Umwelt“ orientiert, wird sich in den nachfolgenden Kapiteln dem technischen Experiment auf theoretischer Ebene angenähert (Bader, 1990, S. 26). Hierzu wird zunächst der Prozess des Experimentierens begrifflich eingegrenzt und nachfolgend Merkmale, Ziele, Struktur und Einteilungsmöglichkeiten des technischen Experiments vorgestellt und zusammengefasst (vgl. Kap. 2.1 und 2.2).

### 2.1 THEORETISCHE BETRACHTUNGEN ZUM TECHNISCHEM EXPERIMENT

Nachdem eine theoriegeleitete begriffliche Annäherung an die experimentellen Tätigkeiten (Kap. 2.1.1) und an das experimentierende Lernen (Kap. 2.1.2) erfolgt, werden anschließend die inhärenten Merkmale (Kap. 2.1.3), die verfolgten Ziele (Kap. 2.1.4) sowie die Struktur (Kap. 2.1.5) des technischen Experiments entfaltet. Die sich daran anschließende Betrachtung von, in der Literatur aufgeführten, Einteilungskriterien und den damit verbundenen Wirkungen auf den Lernerfolg des Experiments runden die Betrachtungen ab und besitzen zudem für diese Arbeit hohe Relevanz (vgl. Kap. 2.1.6 und 2.1.7).

### 2.1.1 EXPERIMENTIEREN: EINE BEGRIFFLICHE EINGRENZUNG

Bevor Merkmale und Eigenschaften des Experimentierens bzw. des Experiments dargestellt werden können, ist es notwendig, das Begriffsfeld „Experiment“ aufzuspannen.

Eicker (1983) kommt in seiner Betrachtung zum Experimentieren, in der er das Feld menschlicher Tätigkeiten analysiert, zu dem Ergebnis, dass das Experiment den gemeinsamen Kern von fünf Handlungsbereichen darstellt. An den Rändern des Begriffsfeldes werden die Begriffe immer mehr synonym verwendet. Um den Kern, also das Experimentieren, begrifflich einschränken zu können, ist es notwendig, die fünf Handlungsbereiche zu

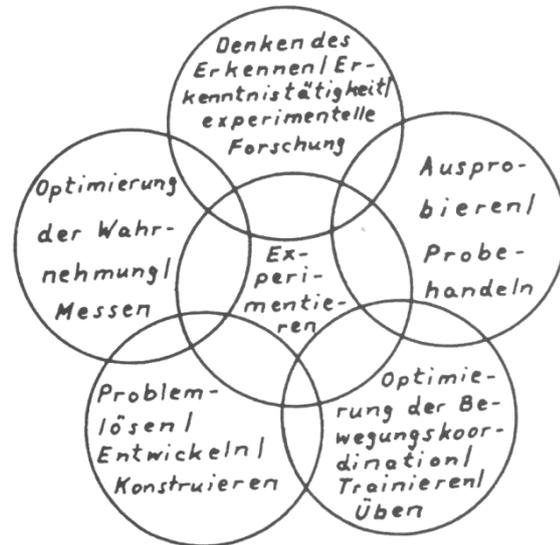


Abbildung 2.1: Das Begriffsfeld des Experimentierens nach Eicker (1983)

analysieren und gegeneinander abzugrenzen (vgl. Eicker, 1983, S. 143ff; Rauer, 1985, S. 16ff).

#### **Experimentieren als Erkenntnistätigkeit**

Ein Bestandteil des Experimentierens ist das gedankliche in Beziehung setzen bzw. einander zuordnen von analytisch, rein denkend, gewonnenen Erkenntnissen. Die auf diesem Wege gewonnene Erkenntnis ist von der Gegenständlichkeit sinnlicher Erkenntnis befreit. Weiter geht dem Experimentieren als Erkenntnistätigkeit eine präzise gedankliche Vorwegname bzw. die Definition der Bedingungen unter denen experimentiert werden soll, voraus. Erst unter diesen Voraussetzungen ist es möglich, das denkende Erkennen experimentell überprüfen zu können. In diesem Erkenntnisprozess ist die Möglichkeit des Irrtums gegeben.

#### **Experimentieren als Ausprobieren**

Das Probieren mit relativer Zielorientiertheit und durch Versuch und Irrtum fällt nicht unter den Begriff des Experimentierens, da es das Moment der Beliebigkeit beinhaltet. Das Experimentieren durch Probieren meint insbesondere das systematische Herausfinden von Erkenntnis, die außerhalb eines Menschen liegt, aber auch Erkenntnis, die die Handlungen eines Menschen betreffen. Experimentierendes Probieren liegt immer dann vor, wenn das Probieren

systematisch ist, sich also an einem fokussierten Ergebnis, einer Erkenntnis oder einer gelungenen Handlung orientiert.

### **Experimentieren als Problemlösen, Entwickeln und Konstruieren**

Auch das Problemlösen, welches als menschliche Handlung verstanden wird, bei der ein Ziel angestrebt wird, zu dem die notwendigen Mittel nur bedingt bereitstehen bzw. bekannt sind, enthält ein Moment des Experimentierens. Dabei besteht das Besondere beim Experimentieren durch Problemlösen darin, den Versuch unter den bestehenden Bedingungen (z. B. verfügbare Mittel, etc.) auf die Realisierbarkeit des eigenen Ziels gegenständlich oder auch gedanklich zu überprüfen.

Abschließend gilt für das Begriffsfeld des Experimentierens festzuhalten, dass der Kern nicht eindeutig abgegrenzt werden konnte und folglich unscharfe Ränder bleiben. Vom gedanklichen „Inbeziehungsetzen“ zum Probieren, vom Üben bis zum Problemlösen und Konstruieren ist deutlich geworden, dass alle Handlungen experimentelle Züge aufweisen.

#### 2.1.2 EXPERIMENTIERENDES LERNEN

Bearbeiten SchülerInnen technische oder naturwissenschaftliche Experimente im Unterricht, eignen sie sich in diesem Lernprozess Fähigkeiten und Fertigkeiten an, dessen Struktur im Folgenden betrachtet wird.

„Das experimentierende Lernen ist dadurch gekennzeichnet, dass die Schüler eine Problem- bzw. Fragestellung selbstständig lösen, Erkenntnisse selbstständig gewinnen“ (Bünning, 2006a, S. 25). Es fördert Aneignungsprozesse, indem die SchülerInnen durch Experimentieren den Gebrauchswert von Lerngegenständen (Experimentiereinrichtungen) erschließen.

Folglich stellt experimentierendes Lernen Handeln dar, wodurch SchülerInnen mit Hilfe von und an Experimentiereinrichtungen wiederholbare, qualitativ und quantitativ vergleichbare Ergebnisse erzeugen, und dadurch nicht nur den Gebrauchswert von Experimentiereinrichtungen erwerben, sondern sich auch Erfahrung in einem Arbeitsbereich aneignen.

Experimentierendes Lernen stellt des Weiteren absichtsvolle, geplante und auf ein Gesamtziel ausgerichtete Handlungen dar, welche eine hierarchisch sequenzielle Struktur aufweisen, die von den SchülerInnen immer in ihren Teilzielen auf das Gesamtziel hin kontrolliert (rückgekoppelt) werden.

Experimentieren als solches ist in der Planung und Durchführung weitgehend selbst organisiert. Es ist damit weder nur geistiges Erlernen von Sachverhalten, Fakten oder Ähnlichem, noch die einseitige Entwicklung von Körper oder Geist, sondern eine Verzahnung von Denken und Tun, sowie Arbeiten und Lernen.

Für Eicker (1983) sollte das experimentierende Lernen, angefangen auf einer gegenständlichen Ebene, hin zu einer mehr oder weniger sprachlich vermittelten Form verlaufen (vgl. Eicker, 1983, S. 173ff).

### 2.1.3 MERKMALE VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN

Experimente, unabhängig ob naturwissenschaftlich oder technisch, sind „geplante und beobachtbare Einwirkungen auf einen zu untersuchenden Gegenstand oder Prozess mit dem Ziel der Informationsgewinnung“, wobei die Informationsgewinnung überwiegend auf einen fachlichen Erkenntnisprozess gerichtet ist (Pahl, 2008, S. 189, S. 195).

Des Weiteren ist das Unterrichtsverfahren Experiment als ein Prozess zu verstehen, bei dem im Unterricht ein planmäßig durchgeführtes wissenschaftliches Experiment unter unterrichtlichen, möglichst vereinfachenden und störende Einflüsse fernhaltenden Bedingungen durchgeführt wird und bei dem, als Mittel der Erkenntnis, die Richtigkeit der Annahme verworfen oder bestätigt wird (vgl. Nashan & Ott, 1995, S. 89).

Experimente besitzen als Bezugspunkt das empirisch-analytische Wissenschaftsverständnis der entsprechenden Wissenschaften, werden jedoch für das Erreichen von Unterrichtszielen didaktisch und methodisch aufbereitet. In den Technik- bzw. Naturwissenschaften orientiert sich dieses Wissenschaftsverständnis „an der Gewinnung empirisch prüfbarer und quantifizierbarer Erkenntnisse über Phänomene der natürlichen und der künstlichen Umwelt“ (Bader, 1990, S. 26).

Folgt man dieser Argumentation, kann zwischen **naturwissenschaftlichen** und **technischen Experimenten** unterschieden werden.

**Naturwissenschaftliche Experimente** untersuchen vorrangig die Natur und ihre Veränderungen sowie den Mikro- und Makrokosmos und beschäftigen sich demnach mit kausal determinierten Fragestellungen. „Hier geht es beim Experimentieren um die Beantwortung der Frage nach dem WARUM, um die Klärung des Ursache- Wirkungsprinzips. Dabei werden zunächst idealisierte Bedingungen vorausgesetzt, um Störgrößen zu eliminieren und so zu allgemeingültigen Aussagen zu gelangen“ (Hüttner, 2005, S. 133). Inhaltlich können sich naturwissenschaftliche Experimente z. B. mit physikalischen, biologischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten befassen (vgl. Bader, 1990, S. 26).

**Technische Experimente** hingegen fragen nach der Verwendbarkeit bzw. der Anwendung einer Problemlösung unter realen Praxisbedingungen. „Dabei werden die Übereinstimmung, »der Widerspruch oder die Differenz zwischen den geforderten Parametern und dem Ist-Zustand des technischen Systems aufgedeckt«“ (Hüttner, 2005, S. 133).

Kurz gesagt, fokussieren naturwissenschaftliche Experimente das WARUM, also den URSACHE-WIRKUNGS-Zusammenhang und sind kausal orientiert, wohingegen technische Experimente eher finalorientiert sind und den ZWECK-MITTEL-Zusammenhang, also die Frage nach dem WIE, beantworten.

Nach dieser Abgrenzung des technischen vom naturwissenschaftlichen Experiment, werden anschließend die inhärenten Merkmale des technischen Experiments näher betrachtet.

### **Technische Experimente sind zweckbezogen**

Ging es den naturwissenschaftlichen Experimenten „um die Aufklärung naturgesetzlicher Zusammenhänge [...], bei denen eine Hypothese als richtig oder falsch qualifiziert werden kann, geht es bei den Prozessen und Produkten der Technik immer um das Kriterium der Zweckmäßigkeit“ (Rauner, 1985, S. 20).

Für Rauner (1985) ist Technik Ergebnis und Prozess der Vergegenständlichung von Zwecken. Diese Zweckmäßigkeit ist folglich auch kennzeichnend für das technische Experiment, welches sich auf die Erfüllung bestimmter Zwecke richtet, die als Ergebnis gesellschaftlicher Interessen und Ziele ihre Ausprägung in *zweckmäßig* oder *weniger zweckmäßig*, jedoch nicht in *richtig* oder *falsch* erhalten. Eine Beurteilung dieser Zweckmäßigkeit ist in höchstem Maße von subjektiven Momenten bestimmt und keinesfalls wertfrei.

Technik, also auch technische Experimente, ist folglich ihrem Wesen nach eine zweckorientierte Gebrauchswertvergegenständlichung und damit das genaue Gegenteil von wertfrei (vgl. Rauner, 1985, S. 20).

### **Technische Experimente sind gegenstandsbezogen**

Als zentraler Unterschied zum naturwissenschaftlichen Experiment formuliert Pahl (2008), dass sich technische Experimente auf technische Gegenstände beziehen, „sowie auf Manipulationen an den Geräten, Maschinen, Apparaten und Bauteilen“ und somit eine Durchführung an gegenständlichen Mitteln notwendig erscheint (Pahl, 2008, S. 197).

Die Gegenständlichkeit stellt ein wesentliches Moment des technischen Experiments dar. Beispiele für technische Experimente können Verschleißmessungen, Wirkungsgradbestimmungen, Prüfung von Werkstoffen unter wechselnden Bedingungen oder Festigkeitsuntersuchungen sein (vgl. Pahl, 2008, S. 198; Bader, 1990, S. 26; Hüttner, 2005, S. 133).

### Technische Experimente sind mehrdimensional angelegt

Nach Seifert und Weitz (1999) stellt das **technische Experiment** eine Methode zur theoretischen und praktischen Erkenntnisgewinnung dar, bei der Objekte und Prozesse durch den Schüler planmäßig und systematisch untersucht werden. „Es ist gekennzeichnet durch eine konkrete Aufgabenstellung, einen bereits vorbereiteten Lösungsweg [...] und eine vorgegebene Zielstellung“ (Seifert & Weitz, 1999, S. 49).

So hebt sich das technische Experiment neben der Gegenstandsorientierung auch in der Aufgabenstellung vom naturwissenschaftlichen Experiment ab. Diese ist mehrdimensional angelegt und immer auf eine technische Problemstellung ausgerichtet.

Als Ausgangspunkt eines technischen Experiments kann z. B. ein Lastenheft, „in dem die Interessen, Wünsche und Ziele des Auftraggebers oder auch Entwicklers in operationalisierter Form festgelegt sind“ sein (Rauner, 1985, S. 20). Ergo stehen die technische Problemstellung und ihre technikadäquate Lösung im Mittelpunkt des Unterrichtsverfahrens. Des Weiteren ist zu beachten, dass „das technische Problem nicht vorwiegend eindimensional angelegt sein darf (z. B. Nichtbeachten eines bestimmten naturwissenschaftlichen Sachverhalts, dessen Inhalt durch ein naturwissenschaftliches Experiment aufgezeigt werden kann), sondern es muss mehrere Bereiche betreffen (z. B. Fertigung, Materialauswahl, Arbeitskosten, Arbeitsaufwand, Umweltaspekt oder Energieaufwand, um nur einige zu nennen)“ (Pahl, 2008, S. 209f).

#### Fragestellungen

- im Hinblick auf die Verwertbarkeit,
- bezogen auf technologische Zusammenhänge nachvollzogen an technisch fertig konstruierten Geräten oder Verfahren,
- die sich auf das Konstruieren eines neuen Produktes unter Zuhilfenahme vorhandener, bekannter, bewährter Bauteile bzw. Bauprinzipien beziehen,
- die sich auf die Schulung des funktionalen bzw. technisch-konstruktiven Denkens unter dem Gesichtspunkt der Zweck-Mittel-Relation, der Verwertbarkeit und der sozialen Auswirkungen beziehen,

sind weitere Beispiele für technische Experimente (vgl. Pahl & Vermehr, 1995, S. 53).

Es ist nun leicht ersichtlich, dass die Lösung technischer Experimente nicht ausschließlich im Aufzeigen oder Ermitteln grundlegender Naturgesetzmäßigkeiten liegen kann, sondern zwingend weitere Bereiche zur Lösung technischer Experimente herangezogen werden müssen (vgl. Ropohl, 2009, S. 29ff).

#### 2.1.4 ZIELE DES TECHNISCHEN EXPERIMENTS

Allgemein führt Hüttner (2005) an, dass durch technische Experimente neue Leistungs- und Verhaltensdispositionen der SchülerInnen aufgebaut bzw. weiterentwickelt werden (vgl. Hüttner, 2005, S. 136). Darüber hinaus werden den SchülerInnen Handlungsmuster, welche sie auf neue Situationen übertragen können, vermittelt, deren Vermittlung oft wichtiger ist als das erworbene spezifische Sachwissen (vgl. Ott & Pyzalla, 2003, S. 126f).

Ott und Pyzalla (2003) betonen, dass die SchülerInnen durch das Bearbeiten von technischen Experimenten Strukturwissen ganzheitlich erwerben, welches **deklaratives** (Begriffswissen), **prozedurales** (Verfahrenswissen) und **konditionales** Wissen (Bedingungswissen) mit einschließt (vgl. Ott & Pyzalla, 2003, S. 120).

Anders formuliert, zielt das technische Experiment neben der Vermittlung fachlicher Kompetenzen, wie z. B. einer experimentellen Lösung einer technischen Fragestellung oder der Vermittlung von deklarativem und prozeduralem Wissen, auch auf den Aufbau von Methodenkompetenz, wie z. B. Hilfe zu selbst organisiertem und selbst gesteuertem Lernen, oder den Erwerb von Handlungsmustern ab. Die Bearbeitung eines technischen Experiments regt immer dann selbst gesteuerte Lernprozesse an, wenn die SchülerInnen gefordert sind,

- „ihre Versuchsziele zu formulieren und zu präzisieren,
- Informationen über das aufgetretene Problem zu sammeln,
- Materialien und Hilfsmittel zur Versuchsdurchführung zu beschaffen,
- den Versuchsablauf vorzuplanen,
- Versuchsergebnisse zu deuten und kritisch zu bewerten und
- Versuchsergebnisse für Außenstehende anschaulich darzustellen“ (Ott & Pyzalla, 2003, S. 120; vgl. Pahl, 2008, S. 200f).

Das Merkmal der **Mehrdimensionalität** von technischen Experimenten findet sich auch in den Zielen des Unterrichtsverfahrens wieder, in dem es versucht, SchülerInnen in praxisnahen Lernsituationen zu ermöglichen, sich

- „technisches Strukturwissen zu erarbeiten,
- Regeln für eine technische Problemlösung zu entwickeln,
- den Umgang mit Versuchsgeräten bzw. technischen Systemen zu üben und
- sicherheitstechnische, ökologische und wirtschaftliche Denkweise zu vermitteln“ (Ott & Pyzalla, 2003, S. 119f).

Die **Zweckorientiertheit** des technischen Experiments zeigt sich in dem Ziel, die gewonnenen Versuchsergebnisse auf deren technische Verwertbarkeit hin zu überprüfen.

Für **fachliche** bzw. **inhaltsbezogene** Ziele des technischen Experiments führt Pahl (2008) auf, dass sich diese auf

- die Bestimmung der wirkenden naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten,
  - das Erzeugen von qualitativen und quantitativen Aussagen eines technischen Systems,
  - die Optimierung bestimmter technischer Parameter bzw. ganzer technischer Systeme,
  - die Fehlersuche und Ursachenermittlung an einem technischen System,
  - das Ermitteln der Struktur und damit der Wirkungszusammenhänge bzw. Funktionen von technischen Systemen und
  - das konstruktive Verändern eines technischen Systems
- beziehen können (vgl. Pahl, 2008, S. 210).

„Konkret können beispielsweise Versuche bei Festigkeitsuntersuchungen, Messungen an Maschinen, Geräten und Apparaten oder messtechnische Untersuchungen bei der Fertigungskontrolle vorgenommen werden“ (Pahl, 2008, S. 198) oder aber auch „zu Themen der Werkstofftechnik (z. B. Abkühlungskurven), der Längenprüftechnik und der Automatisierungstechnik“ (Bernard, Ebert und Schröder, 1995, S. 73).

Ein Ordnungskriterium für Ziele technischer Experimente, neben der Mehrdimensionalität und Inhaltsbezogenheit, wird von Ott und Pyszalla (2003) vorgeschlagen (vgl. Abbildung 2.2).



Abbildung 2.2: Ziele von Experimenten im Technikunterricht nach Ott und Pyszalla (2003)

Ott und Pyszalla (2003) grenzen Ziele technischer Experimente in Abhängigkeit von der Übertragbarkeit ihrer Versuchsergebnisse ab. Damit ist es möglich, Ziele des technischen Experiments, wie z. B. von Pahl (2008) vorgeschlagen, zu klassifizieren.

Zusammenfassend verfolgen technische Experimente das Ziel, dass sich SchülerInnen einen konkreten Teil technischer Handlungsfähigkeit aneignen, wobei unter technischer Handlungsfähigkeit eine Klasse komplexer Lernziele, die eine kognitive, psychomotorische und affektive Dimension haben, zu verstehen ist. Das Erreichen komplexer Lernziele setzt das eigenständige und gegenständliche Experimentieren durch die SchülerInnen zwingend voraus, da technische Handlungsfähigkeit nur durch Umgehen mit Technik erworben werden kann (vgl. Pahl, 2008, S. 194).

Die Verschränkung von Theorie und Praxis, „zwischen Denken und stofflichen Tun ist konstitutiv für das [technische] Experiment“<sup>3</sup> und den darin verfolgten Zielen (vgl. Schmayl, 1982, S. 307).

Den Zielen des technischen Experiments geschuldet, muss das Ineinandergreifen gedanklicher und konkret handelnder Komponenten auch in den Phasen bzw. in der Struktur des Experimentierablaufes berücksichtigt werden.

#### 2.1.5 PHASENSTRUKTUR DES TECHNISCHEN EXPERIMENTS

Dem Experimentieren allgemein kann, wie Ausführungen zum experimentierenden Lernen und den fach- sowie prozessbezogenen Zielen des technischen Experiments andeuteten, eine Phasenstruktur unterstellt werden.

In einschlägiger Literatur<sup>4</sup> werden dabei z. T. unterschiedliche Einteilungen vorgenommen. Pahl (2008) merkt, basierend auf einer Literaturrecherche zur Phasenstruktur des technischen Experiments, kritisch an, „dass das Technische Experiment mit seinen Möglichkeiten – zumindest in der Literatur – noch nicht genügend beachtet worden ist“ (Pahl, 2008, S. 204).

Diese Kritik aufnehmend wird im Folgenden zunächst eine Grobstruktur<sup>5</sup> des technischen Experiments vorgestellt, um anschließend eine Übersicht geben zu können, aus der die einzelnen Phasen des technischen Experiments hervorgehen.

---

<sup>3</sup> „Beim Experimentieren wird die Veränderung einer oder mehrerer Variablen und deren Ursache sowie die Veränderung der Versuchsanordnung untersucht. Geistiges wie gegenständliches Probehandeln ist kennzeichnend für das Experimentieren“ (Bünning, 2006b, S. 24).

<sup>4</sup> Bünning (2008); Pahl (2008); Pahl (2007); Bünning (2006); Hüttner (2005); Wöll (2004); Ott und Pyzalla (2003); Bloy und Bloy (2000); Seifert und Weitz (1999); Pahl und Ruppel (1998); Henseler und Höpken (1996); Bloy und Pahl (1995); Nashan und Ott (1995); Sachs (1994); Bader (1990); Schmayl (1982); Rauner (1985); Steffens (1985); Blandow et al. (1981); Sachs (1975) und Scheid (1913).

<sup>5</sup> Schmayl verwendet den Begriff Verlaufsstruktur.

Schmayl (1982) teilt das technische Experiment in einer ersten Betrachtung in drei Phasen ein (vgl. Abbildung 2.3). Auch in dieser Grobstruktur wird wieder deutlich, dass das technische Experiment und die darin enthaltene Handlungsstruktur „Sinneswahrnehmungen mit kognitiven und psychomotorischen Leistungen“ vereint (Pahl, 2008, S. 195).

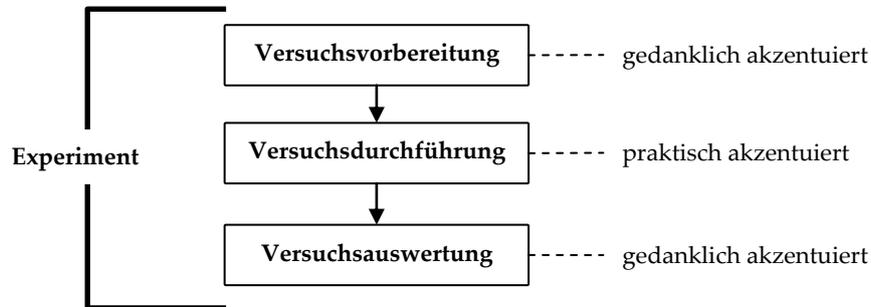


Abbildung 2.3: Grobstruktur des Experimentierprozesses nach Schmayl (1982)

Diese Grobstruktur findet sich auch in ähnlicher Form bei Blandow, Bösenberg und Sachs (1981), Ott & Pyzalla (2003), Hüttner (2005) und Pahl (2007, 2008) wieder (vgl. Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Übersicht der Grobstruktur des technischen Experiments in einschlägiger Literatur

<b>Blandow et al. (1981), S. 18</b>	Vorbereitung des Experiments	Durchführung des Experiments	Auswertung des Experiments
<b>Ott &amp; Pyzalla (2003), S. 123</b>	Versuchsvorbereitung	Versuchsdurchführung	Kontrollieren
<b>Hüttner (2005), S. 136ff</b>	Vorbereitung des Unterrichtsexperiments und Schaffung der Voraussetzung für sicheres Experimentieren	Durchführung des Unterrichtsexperiments	Auswertung des Unterrichtsexperiments
<b>Pahl (2007), S. 369 bzw. Pahl (2008), S. 205</b>	Einstieg	Hauptteil	Schluss

Im Vergleich der betrachteten Grobstrukturen zeigt sich, dass auf dieser Ebene noch ein gemeinsames Verständnis der einzelnen Phasen vertreten wird. So werden in der ersten Phase die Aufgabe, das technische Problem, erfasst und die notwendigen Informationen zusammengetragen, um im Anschluss Lösungsmöglichkeiten (Hypothesen) und aussagefähige Versuchssituationen zu formulieren<sup>6</sup>. Insbesondere die erste Phase, die **Versuchsvorbereitung**, ist durch „gedankliche Operationen“ gekennzeichnet und stellt folglich hohe kognitive Anforderungen an den Lernenden<sup>7</sup> (Schmayl, 1982, S. 309).

<sup>6</sup> Pahl (2007) bzw. Pahl (2008) weicht von dieser Struktur ab, indem er die Formulierung der Hypothesen, die Planung und die Durchführung des technischen Experiments der Hauptphase zuordnet.

<sup>7</sup> Der Lernende wird aufgefordert, das technische Problem zu erkennen und zu verstehen, um sodann Lösungsmöglichkeiten und Versuchsanordnungen entwickeln zu können.

In der zweiten Phase wird der geplante Versuchsaufbau, sofern möglich, durch die Lernenden selbst realisiert und mit der Durchführung des Experiments begonnen. Die **Versuchsdurchführung** liefert den Lernenden das Sachergebnis und ist eher praktisch akzentuiert (vgl. Ott & Pyzalla, 2003, S. 128). Hervorzuheben gilt, dass die Versuchsdurchführung nur durch eine theoretische Einbettung, also in Verbindung mit Versuchsplanung und -auswertung, einen Wert für die Erkenntnisfindung erfährt (vgl. Schmayl, 1982, S. 308).

Abschließend sind in der **Versuchsauswertung** die ermittelten Werte in Bezug auf die Problemstellung aufzubereiten und zur Problemlösung, der Erkenntnis, auszuwerten und zu bewerten. Diese Phase ist, wie die Versuchsvorbereitung auch, wieder gedanklich akzentuiert und mit hohen kognitiven Anforderungen an den Lernenden verbunden, da die Lernenden die ermittelten Ergebnisse mit der eingangs formulierten Problemstellung vergleichen und entscheiden müssen, ob diese erreicht wurde oder nicht<sup>8</sup>.

Für die nachfolgende Darstellung der in der Literatur verwendeten Phasen bzw. Feingliederungen des technischen Experiments wird zur besseren Übersicht die Grobstruktur nach Schmayl (1982) verwendet.

---

<sup>8</sup> Ggf. müssen die Lernenden die gewonnenen Ergebnisse auch auf neue Situationen übertragen/ anwenden.

Tabelle 2.2: Übersicht der Phasen des technischen Experiments in einschlägiger Literatur geordnet nach den Grobphasen von Schmayl (1982)

	Versuchsvorbereitung			Versuchsdurchführung		Versuchsauswertung			
	Gewinnen eines Erkenntnisproblems	Entfalten des Problems (Hypothesenbildung)	Planen von Versuchen	Aufbauen der Versuchsanordnung	Realisieren des Versuchsprogramms	Bearbeiten der Versuchsdaten	Formulierung der Problemlösung (Erkenntnis)	Vergleich zwischen den Ergebnissen der Einwirkung mit den Annahmen	Schlussfolgerungen
<b>Blandow et al. (1981), S. 15<sup>10</sup></b>	Annahmen über Sachverhalte und über die Folgen von Einwirkungen auf diese Sachverhalte.			Einwirkung auf den Sachverhalt.		Vergleich zwischen den Ergebnissen der Einwirkung mit den Annahmen			Schlussfolgerungen
<b>Schmayl (1982), S. 309</b>	Gewinnen eines Erkenntnisproblems	Entfalten des Problems (Hypothesenbildung)	Planen von Versuchen	Aufbauen der Versuchsanordnung	Realisieren des Versuchsprogramms	Bearbeiten der Versuchsdaten	Formulierung der Problemlösung (Erkenntnis)		Einordnen der Erkenntnisse
<b>Bader (1990), S. 26f</b>	Beobachten eines Phänomens	Planen eines Experiments		Durchführen des Experiments		Formulierung einer Aussage (Bestätigung oder Falsifizierung)	Einordnen der Teilaussagen in eine Theorie		Reflexion über Konsequenzen und Anwendungsmöglichkeiten der Aussagen
<b>Bernard et al. (1995), S. 73</b>	Herausarbeiten experimenteller Fragestellungen	Vorbereiten		Durchführen des Experiments		Überprüfung der Hypothesen			Auswerten der Ergebnisse des Experiments
<b>Seifert &amp; Weitz (1999), S. 52</b>	Erkennen eines Problems (Zielorientierung, Motivierung)	Vorbereitung Ableiten einer experimentellen Fragestellung, Hypothese, Vermutung		Durchführung		Übertragen der Ergebnisse			Auswertung
<b>Ott &amp; Pyzalla (2003), S. 123</b>	Problemanalyse	Versuchsplanung		Versuchsdurchführung		Versuchsbewertung und Anwendung			Versuchsauswertung
<b>Pahl (2007), S. 367ff</b>	Problem erfassen	Problem präzisieren (Hypothesenbildung)	Technisches Experiment planen	Technisches Experiment durchführen		Zusammenfassung/Transfer/Ausblick			Versuch auswerten <sup>9</sup>

<sup>9</sup> Dieser Schritt wurde in Pahl (2008) nochmals in drei Schritte unterteilt, welche in dieser Darstellung zur Verbesserung der Übersichtlichkeit nicht einzeln aufgeführt wurden (vgl. Pahl, 2008, S. 205).

<sup>10</sup> Eine detailliertere Übersicht kann Blandow et al. (1981) entnommen werden (vgl. Blandow et al., 1981, S. 18).

Die Übersicht der Phasen des technischen Experiments zeigt deutlich auf, dass in der Literatur die einzelnen Phasen unterschiedlich akzentuiert werden und dennoch ein gemeinsamer Phasenverlauf als kleinster gemeinsamer Nenner erkennbar wird.

Im Folgenden soll ein Phasenverlauf für das technische Experiment skizziert werden, der die in Tabelle 2.2 aufgeführten Ansätze vereint und im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet werden soll.

### **1) Erkennen des technischen Problems bzw. der Problemsituation.**

Herauslösen des Einzelproblems aus der ganzheitlichen Problemstellung, z. B. in Form eines Lastenheftes oder Ähnlichem. Ermitteln der relevanten Informationsunterlagen bzw. -möglichkeiten (z. B. Tabellenbücher, Experimentierblätter, etc.).

### **2) Entwickeln von Vermutungen (Hypothesen) und Formulieren von Ideen/Lösungsansätzen.**

Basierend auf Erfahrungswerten/dem Kenntnisstand werden Vermutungen formuliert, wie die Zielstellung zu erreichen sein könnte, bzw. erste Lösungsvorschläge für das technische Problem entwickelt, die es sodann experimentell zu prüfen gilt.

### **3) Vorbereiten des Experiments (Versuchsaufbau und Handlungsplanung).**

Zweckbezogen sind die vorhandenen Mittel auf die Eignung zur experimentellen Lösung des technischen Problems zu prüfen. Hier gilt es anzumerken, dass in der Praxis die Experimentiergegenstände/Versuchsaufbauten oftmals vorgegeben sind. Dennoch ist die Komplexität der vorhandenen Versuchsaufbauten häufig ausreichend und fordert die Lernenden zunächst auf, Anordnung und Funktion, bezogen auf die Lösung des technischen Experiments, der einzelnen Instrumente nachzuvollziehen.

Das Planen der Handlungsschritte und die darin involvierten Instrumente bilden den Übergang von Vorbereitungs- und Durchführungsphase.

### **4) Durchführen des Experiments.**

Das zielgerichtete und kontrollierte Verändern der Variablen, sowie die sorgfältige Beobachtung/Notiz der Ergebnisse, dominieren die Durchführungsphase des technischen Experiments.

### **5) Auswerten der Ergebnisse.**

Oftmals müssen die erworbenen Ergebnisse aus der Durchführungsphase noch zweckbezogen aufbereitet (z. B. Berechnungen, Grafiken, Diagramme, etc.) und auf Richtigkeit bzw. Vollständigkeit geprüft werden, um die Basis der anschließenden Bewertung/Schlussfolgerung zur Verfügung zu stellen.

## 6) Bewerten der Ergebnisse in Bezug auf die technische Problemstellung.

Zweckbezogen werden in dieser Phase die eingangs formulierten Lösungsvorschläge bzw. Hypothesen einer Prüfung unterzogen und aufgrund der ausgewerteten Ergebnisse wird entschieden, ob mit diesen Mitteln das technische Problem gelöst werden konnte oder neue Lösungsmöglichkeiten erarbeitet werden müssen.

### 2.1.6 EINTEILUNG DES TECHNISCHEN EXPERIMENTS NACH DEM GRAD DER GEGENSTÄNDLICHKEIT

Unabhängig von der Phasenstruktur kann das technische Experiment an *Originalen*, *Modellen* oder aber *rein gedanklich* durchgeführt werden. Mit dieser Einteilung wird demnach der Grad der Gegenständlichkeit der Objekte, die in einem technischen Experiment eingesetzt werden können, variiert. Angelehnt an diese Einteilung wird das technische Experiment häufig in Experimente an **Realtechnik**, Experimente an **Modelltechnik** oder aber **Gedankenexperimente** eingeteilt (vgl. Pahl, 2008, S. 192).

Kommen Originale, z. B. (Aktoren, Sensoren oder ganze technische Systeme), wie sie in der Berufs- und Arbeitswelt eingesetzt werden, im technischen Experiment zum Einsatz, so wird von einem **Realexperiment** gesprochen. Während dieses Experiments interagieren die SchülerInnen unmittelbar mit den Originalen selbst bzw. können diese manipulieren und somit direkt die Auswirkungen ihres Handelns erfahren. Des Weiteren kann mit Realexperimenten ein direkter Bezug zur Berufs- bzw. Arbeitspraxis hergestellt werden, wobei die Gefahr besteht, „dass das Realexperiment für den Schüler schwer zu durchschauen ist, wenn es nicht unter Berücksichtigung didaktischer Gesichtspunkte gestaltet wurde“ (Bünning, 2006a, S. 36f).

Eben dieser Gefahr beugen **Modellexperimente** vor, indem sie in Bezug auf ihre Komplexität an das kognitive Anforderungsniveau der SchülerInnen angepasst und unter didaktischen Gesichtspunkten aufbereitet werden. Die eingesetzten Modelle besitzen häufig zu ihrem Original analoge Strukturen, wobei Merkmale des Originals je nach Ziel besonders hervorgehoben, andere weggelassen oder neue hinzugefügt werden können (z. B. eine Schnittdarstellung eines Aktors; das Sichtbarmachen von Stoff- oder Kraftflüssen, Computersimulation o.ä.) (vgl. Stachowiak, 1980, S. 31ff). Es gilt beim Einsatz von Modellen besonders darauf zu achten, die Grenzen der Modelle und die Bezüge zu den Originalen aufzuzeigen. Folglich bieten Modellexperimente nur eingeschränkt die Möglichkeit, Bezug zur Berufs- und Arbeitswelt herzustellen. Auf unterrichtspraktischer Ebene stellt das technische Experiment an Modellen wohl die am häufigsten verwendete Form dar (vgl. Bünning, 2006a,

S. 37). Auch bei technischen Experimenten an Modellen erfahren die Lernenden direkt die Auswirkungen ihres Handelns am oder mit dem Modell.

Gänzlich ohne Objekte während des technischen Experiments kommt das **Gedankenexperiment** aus. Hier müssen die Objekte und die daran durchgeführten Manipulationen bzw. Handlungen vorgestellt und nachvollzogen werden. Die Ergebnisse des eigenen Handelns, z. B. die ermittelten Ergebnisse (Messwerte), können nur über Informationsblätter von den Lernenden erfasst werden, womit das Gedankenexperiment hohe kognitive Ansprüche und Abstraktionsfähigkeit an die Lernenden stellt. „Aus diesem Grund werden im Unterricht nur selten neue Erkenntnisse mit Gedankenexperimenten erarbeitet“ (Bünning, 2006a, S. 37). Ein Bezug zur Berufs- oder Arbeitswelt ist mit Gedankenexperimenten kaum möglich und dürfte folglich nicht im Interessenbereich der Lernenden liegen oder motivierend wirken (vgl. Pahl, 2008, S. 193).

Die bisherige Betrachtung zeigte, dass technische Experimente mit Originalen, Modellen oder rein gedanklich, ohne Objekte, durchgeführt werden können. Es wurde deutlich, dass mit dem Grad der Gegenständlichkeit auch eine Erwartungshaltung bezüglich des Lernerfolges bei den Lernenden verbunden wird. Das Experimentieren an bzw. mit Modellen bietet somit die *günstigsten* und das reine Gedankenexperiment die *ungünstigsten* Ausgangsbedingungen, um experimentierendes Lernen zu fördern, da Realerfahrungen die Basis jeder Abstraktion sind und ihr vorausgehen müssen (vgl. Pahl, 2008, S. 199).

#### 2.1.7 HANDLUNGSMÖGLICHKEITEN VON SCHÜLERINNEN WÄHREND DER BEARBEITUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN

Neben dem Grad der Gegenständlichkeit der Objekte, die im technischen Experiment eingesetzt werden, können die Handlungsmöglichkeiten, die SchülerInnen während der Bearbeitung von technischen Experimenten zugewiesen bekommen, ebenfalls variieren. Der Begriff Handlungsmöglichkeit bezieht sich dabei auf die Manipulations-/Interaktionsmöglichkeiten der SchülerInnen mit dem Versuchsaufbau. In der Bildungspraxis dominieren im Wesentlichen drei Handlungsmöglichkeiten, welche im Folgenden eingehender vorgestellt werden.<sup>11</sup>

Durch **Schülerexperimente**, also Experimente, bei denen die SchülerInnen von der Planung hin zur Durchführung und Auswertung des Experiments selbstständig arbeiten, „kann die Handlungsfähigkeit des Lernenden verbessert werden“ (Pahl & Vermehr, 1995, S. 46). Dem unmittelbaren praktischen

---

<sup>11</sup> Selbstverständlich werden auch Mischformen der drei genannten Arten in der Bildungspraxis eingesetzt, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet werden.

Handlungsvollzug wird einerseits die Funktion, Denken überhaupt erst aufzubauen, andererseits eine mediale Funktion, d. h. gedankliches Handeln zu unterstützen, unterstellt (vgl. Bader, 1990, S. 5). „Orientiert man sich an den Ansprüchen und Interessen der Lernenden, so ist das eigenständige Experiment durch die Lernenden als optimale Form anzusehen“ (Pahl, 2008, S. 193). Da nur in Schülerexperimenten „das praktische Handeln für den Lernenden theoretisch fassbarer gemacht werden“ kann (Pahl, 2008, S. 190).

Des Weiteren merken Ott und Pyszalla (2003) an, „dass allein in Schülerversuchen alle didaktisch-methodischen [Ansprüche], die an einen versuchsorientierten Unterricht gestellt werden, erfüllt werden können“ (Ott & Pyszalla, 2003, S. 128).

Bezogen auf die Sozialform von Schülerexperimenten können diese „durch selbstständiges Experimentieren der einzelnen Schüler, in Kleinstgruppen oder in Kleingruppen durchgeführt werden“, wobei sich das Schülerexperiment in Einzelarbeit kaum bzw. nur bei geringen Klassenstärken und ausreichend Experimentiereinrichtungen in der Unterrichtspraxis realisieren lassen wird (Hüttner, 2005, S. 135).

Den Ausführungen folgend wird dem Schülerexperiment per se eine hohe Lernwirksamkeit attestiert, die sich „in besseren Lernleistungen, größeren Behaltenseffekten und höherer Aktivität der Lernenden“ äußert (Hüttner, 2005, S. 136).<sup>12</sup> Entsprechend wird angenommen, dass das Schülerexperiment den SchülerInnen die größten Handlungsmöglichkeiten bietet.

**Demonstrationsexperimente** können von einem Lehrer allein oder aber unterstützend durch eine Schülerin oder einen Schüler in den Unterricht eingebettet sein. „Hierbei werden meist durch die Lehrkraft die Probleme vorgegeben und von ihr die gegenständlichen Experimentiereinrichtungen sowohl aufgebaut als auch bedient. [...] Die Schülerinnen und Schüler befinden sich dabei jedoch vorwiegend in der Rolle von Zuschauern und müssen rezipieren“ (Pahl, 2008, S. 193). Alle weiteren SchülerInnen, die nicht unmittelbar am Experiment beteiligt sind, werden aufgefordert, die „Experimentierhandlungen“ des Lehrers oder Lerners genau zu beobachten und die Experimentierergebnisse zu erfassen und zu notieren (vgl. Hüttner, 2005, S. 147). Bezogen auf die erwartete Lernwirksamkeit von Demonstrationsexperimenten wird im Vergleich zum Schülerexperiment davon ausgegangen, dass durch die eher rezipierende Rolle der SchülerInnen und des beobachtenden Nachvollzugs der Handlungsschritte während des Experimentierens die kognitiven Anforderungen an den SchülerInnen erhöht und der zu erwartende Lernerfolg verringert wird. „Ein als Lehrversuch durchgeführtes Experiment [ein Demonst-

---

<sup>12</sup> Ob diese Aussage auf Einzel-, Kleinst- und Kleingruppenarbeit übertragbar ist, lässt Hüttner (2005) jedoch an dieser Stelle offen.

rationsexperiment] ließe sich [...] nur schwer als ‚Experimentalunterricht‘ legitimieren“ (Pahl & Vermehr, 1995, S. 51). Im Vergleich der Handlungsmöglichkeiten der SchülerInnen in Demonstrations- zu Schülerexperimenten fallen diese geringer aus.

**Dem lesenden Bearbeiten von Experimenten** wird in der Literatur kaum Beachtung geschenkt, obwohl man diese Bearbeitungsform in der Bildungs- bzw. Unterrichtspraxis häufig vorfindet. Sie ist eng verbunden mit dem Gedankenexperiment (vgl. Kapitel 2.1.6). So müssen auch beim rein lesenden Bearbeiten von Experimenten die Objekte und die daran durchgeführten Manipulationen bzw. Handlungen vorgestellt und nachvollzogen werden. Die Ergebnisse des eigenen Handelns, z. B. die ermittelten Ergebnisse (Messwerte), können nur aus Informationsblättern (z. B. in Tabellenform o. ä.) von den SchülerInnen erfasst werden. Der Schwerpunkt liegt häufig auf der Aufbereitung der ermittelten Messergebnisse, z. B. in Form von Grafiken/Diagrammen und einer begründeten Bewertung der Ergebnisse. Für das lesende Bearbeiten von Experimenten kann somit festgehalten werden, dass es den SchülerInnen während der Bearbeitung die geringsten Handlungsmöglichkeiten bietet.

## 2.2 ZUSAMMENFASSUNG DER THEORETISCHEN BETRACHTUNGEN ZUM TECHNISCHEN EXPERIMENT

Die differenzierte Analyse des technischen Experiments konnte zeigen, dass alle Handlungen, vom gedanklichen „Inbeziehungsetzen“ zum Probieren, vom Üben bis zum Problemlösen und Konstruieren, experimentelle Züge aufweisen und experimentierendes Lernen als ein zielgerichtetes weitgehend selbst organisiertes, planvolles und rückgekoppeltes Handeln zu verstehen ist, welches geistiges Tun und praktisches Handeln – (Fach-)Theorie und (Fach-)Praxis – zu einem sinnvollen Ganzen vereint. Bezogen auf den Lernprozess sollte sich experimentierendes Lernen idealerweise von einer gegenständlichen hin zu einer sprachlichen/symbolisch abstrakten Ebene vollziehen.

Mit einem technischen Problem als Bezugspunkt zielt das technische Experiment darauf, zweckbezogen eine Lösung zu planen, zu erarbeiten bzw. zu bewerten und damit Fachkompetenz (deklaratives, prozedurales und konditionales Wissen) als auch Methodenkompetenz zu vermitteln, wobei für die hier vorgestellte Arbeit die Entwicklung des **deklarativen** und **prozeduralen Wissens** von besonderem Interesse ist.

Das Erreichen der betrachteten Lernziele technischer Experimente setzt das eigenständige und gegenständliche Experimentieren durch SchülerInnen zwingend voraus, da technische Handlungsfähigkeit nur durch Umgang mit Technik erworben werden kann (vgl. Pahl, 2008, S. 194). Folglich ist die Verschränkung von Theorie und Praxis „zwischen Denken und stofflichen Tun [...] konstitutiv für das [technische] Experiment“<sup>13</sup> (Schmayl, 1982, S. 307).

Weiter ist für das technische Experiment ein **Zweck-Mittel-Zusammenhang** kennzeichnend, auf dessen Basis es eine technische Problemstellung zu lösen versucht, welche **mehrdimensional** angelegt ist. Es ist folglich zweckbezogen und finalorientiert. Mit dem **Gegenstandsbezug** hebt sich das technische weiter vom naturwissenschaftlichen Experiment ab. Objekte/Gegenstände des Versuchsaufbaus im technischen Experiment können als **Originale** bzw. als **Modelle** real vorliegen, oder aber sie müssen **gedanklich** vorgestellt werden. In den Betrachtungen zum **Grad der Gegenständlichkeit** wurde deutlich, dass mit ihm auch eine Erwartungshaltung bezüglich des Lernerfolges bei den SchülerInnen verbunden wird, in der das Experimentieren an bzw. mit Modellen den *günstigsten* und das reine Gedankenexperiment den *ungünstigsten* Pol darstellt, um experimentierendes Lernen zu fördern, da Realerfahrungen die Basis jeder Abstraktion sind und ihr vorausgehen müssen (vgl. Pahl, 2008, S. 199).

---

<sup>13</sup> „Beim Experimentieren wird die Veränderung einer oder mehrerer Variablen und deren Ursache sowie die Veränderung der Versuchsanordnung untersucht. Geistiges wie gegenständliches Probehandeln ist kennzeichnend für das Experimentieren“ (Bünning, 2006b, S. 24).

Dieses Ineinandergreifen gedanklicher und konkret handelnder Komponenten findet sich auch im Phasenverlauf des technischen Experiments wieder. Die in einschlägiger Literatur aufgeführten Phasen des technischen Experiments konnten mit Hilfe der Grobstruktur (Vorbereitung, Durchführung und Auswertung) nach Schmayl (1982) analysiert und zu dem vorgestellten Phasenverlauf des technischen Experiments vereint werden, welcher dieser Arbeit zugrunde liegt (vgl. Kap. 2.1.5).

So wird das technische Experiment strukturell in folgende Phasen eingeteilt:

- Erkennen des technischen Problems bzw. der Problemsituation
- Entwickeln von Vermutungen (Hypothesen) und formulieren von Ideen/ Lösungsansätzen
- Vorbereiten des Experiments (Versuchsaufbau und Handlungsplanung)
- Durchführen des Experiments
- Auswerten der Ergebnisse
- Bewerten der Ergebnisse in Bezug auf die technische Problemstellung

Zu betonen gilt es, dass die Phasen unterschiedlich akzentuiert sind und keinesfalls in dem Sinne übersprungen werden darf, „daß der in ihr enthaltene Denkprozess entfällt, denn dieses würde zu Brüchen im Handlungsplan“ und damit auch im Lernprozess führen (Bader, 1990, S. 28f).

Abschließend wurde ein Charakteristikum für das technische Experiment vorgestellt, das von zentraler Bedeutung für diese Arbeit ist. Gemeint ist die **Handlungsmöglichkeit**, die den SchülerInnen während der Bearbeitung von technischen Experimenten zugewiesen wird.

Auf unterrichtspraktischer Ebene finden sich im Wesentlichen drei Handlungsmöglichkeiten, ein technisches Experiment durchzuführen.

Diese sind mit unterschiedlicher Beteiligung bzw. Aktivität der SchülerInnen verbunden, d. h. die Handlungen<sup>14</sup>, die SchülerInnen während des Experimentierens zugewiesen bekommen, können von selbst ausgeführten, über beobachtete, bis hin zu durch Lesen nachvollzogene Handlungen reichen.

Der „optimale Verlauf“ des technischen Experiments und der damit verbundene hohe Lernzuwachs wird laut Literatur dann zu erreichen sein, wenn das technische Experiment im Sinne von eigenständigem Planen, Durchführen,

---

<sup>14</sup> Unter einer Handlung werden im Rahmen dieser Arbeit in Anlehnung an Aebli (2001) Bereiche des Tuns mit hohem Grad der Bewusstheit und der Zielgeleitetheit bezeichnet. Die Realisierung eines Handlungsablaufs erfordert viele Teilhandlungen, wobei jede dieser Teilhandlungen ihre Mittel bzw. Elemente besitzt und als Ziel das Stiften von Beziehungen hat. Des Weiteren ist der Anteil von Automatismen beim Handeln gering. Sie treten erst auf der untersten Stufe der Realisierung der Handlung auf (vgl. Aebli, 2001, S. 20).

Aus- und Bewerten von den SchülerInnen selbst durchgeführt wird, also durch Schülerexperimente (hohe Handlungsmöglichkeit).

Demonstrationsexperimente (mittlere Handlungsmöglichkeit) sollten demnach eine geringere Lernwirksamkeit als Schülerexperimente, jedoch immer noch eine größere Lernwirksamkeit als das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten (geringe Handlungsmöglichkeit) besitzen.

---

### 3 FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUM EXPERIMENT ALS UNTER- RICHTSVERFAHREN

---

Wie bereits in den theoretischen Betrachtungen zum technischen Experiment in den vorangehenden Kapiteln deutlich wurde, werden Experimente, die SchülerInnen selbst praktisch durchführen (z. B. Schülerexperimente) als effektiver angesehen als Experimente, bei denen die SchülerInnen die Durchführung lediglich beobachten (z. B. Demonstrationsexperimente) oder das Experiment lesend (z. B. aus Schulbüchern) bearbeiten (vgl. Pahl, 2008, S. 190ff; Hüttner, 2005, S. 136; Ott & Pyzalla, 2003, S. 128; Pahl & Vermehr, 1995, S. 46). Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, ob sich die positiven Annahmen bzgl. des Unterrichtsverfahrens Experiment aus den theoretischen Betrachtungen der Literatur (vgl. Kap. 2.1 und 2.2) auch auf bildungspraktischer Ebene wiederfinden. Dazu werden Ergebnisse von Lehrerbefragungen zum Unterrichtsverfahren Experiment, bezogen auf den zeitlichen Umfang (Einsatzhäufigkeit), sowie den Erwartungen bzgl. des Lernerfolgs und des Interesses vorgestellt und zusammengefasst (vgl. Kap. 3.1), um anschließend Studien zur Wirksamkeit des Unterrichtsverfahrens Experiment in den Naturwissenschaften und der Technik zu betrachten (vgl. Kap. 3.3). Zusammenfassende Überlegungen zu den Forschungsergebnissen zum Experiment als Unterrichtsverfahren schließen das Kapitel ab (vgl. Kap. 3.4).

#### 3.1 FORSCHUNGSERGEBNISSE VON LEHRERINNENBEFRAGUNGEN ZUM UNTERRICHTSVERFAHREN EXPERIMENT

Findet sich in der Unterrichtspraxis die in der Literatur postulierte Bedeutung des Experiments wieder und welche Erwartungen werden mit dem Einsatz von Experimenten verbunden? Um diese Frage beantworten zu können, werden in den folgenden Kapiteln zunächst Arbeiten vorgestellt, die sich mit der Einsatzhäufigkeit des Experiments in der Unterrichtspraxis befassen (vgl. Kap. 3.1.1), und daran anschließend Arbeiten, die die Einschätzungen von LehrerInnen in Bezug auf den Einsatz von Experimenten und die damit verbundenen Wirkungen auf das Interesse und Wissen betrachten, vorgestellt (vgl. 3.1.2).

##### 3.1.1 EINSATZHÄUFIGKEIT DES UNTERRICHTSVERFAHREN EXPERIMENT

Befragungen von LehrerInnen zur Einsatzhäufigkeit des Unterrichtsverfahrens Experiment ergaben, dass – trotz der hohen Bedeutung des Experiments – in den Naturwissenschaften als auch im gewerblich-technischen Bereich auf Unterrichtsebene der Frontalunterricht dominiert. In der Fächergruppe Physik/Chemie/Biologie ist diese Form des Unterrichts die am häufigsten eingesetzte. „59 % der Befragten gaben an, sie häufig zu praktizieren“ (Barth &

Pfeifer, 2009, S. 68).<sup>15</sup> Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Befragung im gewerblich-technischen Bereich, wo in einer Studie von Pätzold et al. (2003)<sup>16</sup> über 70% der Befragten angaben, fünf bis zehn Unterrichtsstunden pro Woche Frontalunterricht zu praktizieren. Spezifische Ergebnisse für Technik an allgemeinbildenden Schulen liegen nicht vor.

Im gewerblich-technischen Bereich wird das technische Experiment von über 30% der Befragten jede Woche oder öfters im Unterricht eingesetzt. 13% setzen das technische Experiment fünf Unterrichtsstunden pro Woche ein (vgl. Pätzold et al., 2003, S. 124).

Die Studie von Bleher (2008)<sup>17</sup> kam zu ähnlichen, wenn auch nicht ganz so positiven Ergebnissen. Demnach wird das technische Experiment nur „gelegentlich“ eingesetzt, aber in der Häufigkeit nur noch von der Fertigungs- und Konstruktionsaufgabe übertroffen und steht damit an dritter Stelle der am häufigsten eingesetzten Unterrichtsverfahren im allgemeinbildenden Technikunterricht (vgl. Bleher, 2008, S. 61).

Eine differenziertere Aussage kann für den Einsatz des Experiments in den Naturwissenschaften gemacht werden, da in der Untersuchung von Barth und Pfeifer (2009) zwischen Schüler- und (Lehrer-) Demonstrationsexperimenten unterschieden wurde.

Demonstrationsexperimente werden demnach von ca. 60% der Befragten jede zweite Woche oder öfters im Unterricht durchgeführt. Hingegen werden Schülerexperimente nur von knapp 40% der Befragten jede zweite Woche oder aber öfters im Unterricht eingesetzt, wobei hier innerhalb der Fächer Physik, Biologie und Chemie z. T. große Diskrepanzen bestehen. So gaben 49% der befragten Lehrkräfte an, „Schülerexperimente bevorzugt in Physik durchzuführen, während nur 7% das Fach Chemie bei der Durchführung von Schülerexperimenten bevorzugen“ (Barth & Pfeifer, 2009, S. 69). Insgesamt zeigt sich, dass den handlungsorientierten, schüleraktivierenden Unterrichtsmethoden im Physik-/Chemie-/Biologie – aber auch im gewerblich-technischen – Unterricht nicht die entsprechende Bedeutung zukommt.

---

<sup>15</sup> Insgesamt wurden 189 LehrerInnen an Hauptschulen in mehreren Schulamtsbezirken Mittelfrankens befragt.

<sup>16</sup> Insgesamt wurden 170 LehrerInnen im gewerblich-technischen Bereich in sechs Bundesländern (Baden-Württemberg; Hamburg; Niedersachsen; Nordrhein-W.; Sachsen; Sachsen-Anhalt) befragt.

<sup>17</sup> Insgesamt wurden 211 LehrerInnen an Hauptschulen in Baden-Württemberg befragt. Die Einsatzhäufigkeit der Unterrichtsverfahren wurde mit Hilfe einer 5-stufigen Likert-Skala (1 = nie; 2 = selten; 3 = gelegentlich; 4 = häufig; 5 = immer) erfasst.

3.1.2 VORTEILE DES UNTERRICHTSVERFAHREN EXPERIMENT<sup>18</sup>

Allgemein verbinden LehrerInnen mit dem Experiment eine große Lernwirksamkeit, genauer in Bezug auf die Erkenntnisgewinnung (90%) und den Wissenserwerb (75%) (vgl. Bäuml-Roßnagl, 1981, S. 160; Abbildung 3.1).<sup>19</sup>

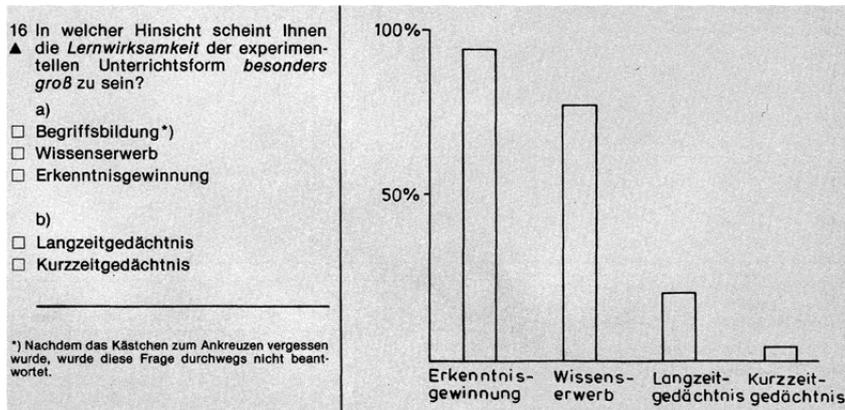


Abbildung 3.1: Mit dem Einsatz der experimentellen Unterrichtsform verbundene Lernwirksamkeit nach Bäuml-Roßnagl (1981)

Des Weiteren konnte für Schülerexperimente in den Naturwissenschaften festgestellt werden, dass unter LehrerInnen die Auffassung präsent ist, dass Schülerexperimente

- fachliche Inhalte besser vermitteln,
- Demonstrationsexperimenten überlegen sind und
- wichtige Schlüsselqualifikationen vermitteln können

(vgl. Barth & Pfeifer, 2009, S. 70; Abbildung 3.2).

**Aussagen zu Schülerexperimenten (Mittelwert)**

1 = trifft nicht zu    2 = trifft wenig zu    3 = trifft teils zu    4 = trifft ziemlich zu    5 = trifft völlig zu

	1	2	3	4	5
Schülerexperimente bieten keine Vorteile gegenüber Demonstrationsexperimenten.	2,22				
Durch Schülerexperimente werden fachliche Inhalte besser vermittelt.	4,16				
Durch Schülerexperimente können Schüler wichtige Schlüsselqualifikationen erlangen.	4,05				

Abbildung 3.2: Einschätzungen zur Wirksamkeit von Schülerexperimenten nach Barth und Pfeifer (2009)

Abschließend fasst Bäuml-Roßnagl (1981) zum Unterrichtsverfahren Experiment zusammen, dass die „Einschätzung der Lernwirksamkeit der experi-

<sup>18</sup> Einschränkung muss angemerkt werden, dass sich die nachfolgenden Ergebnisse ausschließlich auf den naturwissenschaftlichen Bereich beziehen.

<sup>19</sup> Lehrerbefragung zum Unterrichtsexperiment im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Leider wurde keine Rücklaufquote bzw. Anzahl der Befragten genannt.

mentellen Unterrichtsform [...] von den Lehrkräften sehr hoch vorgenommen“ wird (Bäuml-Roßnagl, 1981, S. 163).

Neben den überaus positiven Einschätzungen zur Lernwirksamkeit von Experimenten verbinden LehrerInnen eine Reihe weiterer positiver Wirkungen des Experimentierens auf die Lernenden.

So wird mit dem Einsatz des Unterrichtsverfahrens Experiment zugleich eine Motivationssteigerung auf Seiten der Lernenden erwartet und weiter dem Experiment die Fähigkeit zugeschrieben, das fachbezogene Interesse positiv beeinflussen zu können (vgl. Barth & Pfeifer, 2009, S. 70; Bäuml-Roßnagl, 1981, S. 161; Abbildung 3.3).

13 Welcher der angegebenen Möglichkeiten findet Ihrer Meinung nach bei den Schülern das größte Interesse?	Stelle				Mean	Rang
	1	2	3	4		
<input type="checkbox"/> selbst experimentieren	87,3	12,7	—	—	1,127	1.
<input type="checkbox"/> durch Demonstrationsexperimente lernen	—	20,7	64,6	14,6	2,939	3.
<input type="checkbox"/> Gedankenexperimente durchführen	—	4,1	16,4	79,5	3,753	4.
<input type="checkbox"/> Gruppenexperimente durchführen	18,5	65,2	13,0	3,3	2,011	2.

Abbildung 3.3: Interessensförderung von Schüler-, Demonstrations-, Gedanken- und Gruppenexperimenten nach Bäuml-Roßnagl (1981)

Entsprechend wird erwartet, dass das Interesse umso höher ausfallen wird, je größer die Aktivität der Lernenden ist (vgl. Kap. 2.1). Das selbstständige Experimentieren in Einzelarbeit stellt demnach die bestmögliche Voraussetzung für eine positive Entwicklung des fachbezogenen Interesses bereit (vgl. Bäuml-Roßnagl, 1981, S. 159).

### 3.2 ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE VON LEHRERIN- NENBEFRAGUNGEN ZUM UNTERRICHTSVERFAHREN EXPERIMENT

Zusammenfassend kann für den Einsatz des Unterrichtsverfahrens Experiment festgehalten werden, dass insbesondere der geringe Einsatz des Experiments in den Naturwissenschaften, in denen das Experimentieren als immanent und zentral für die Entwicklung eines Verständnisses zum naturwissenschaftlichen Arbeiten angesehen wird, überrascht (vgl. Barth & Pfeifer, 2009, S. 69; Wöll, 2004, S. 146f). Im allgemeinbildenden Bereich wird das technische Experiment in der Einsatzhäufigkeit nur noch von der Konstruktions- bzw. Fertigungsaufgabe übertroffen.<sup>20</sup> Dennoch muss angemerkt werden, dass das technische Experiment, gestützt durch die Studie von Bleher (2008), ein zentrales Unterrichtsverfahren mit hoher bildungspraktischer Bedeutung für den allgemeinbildenden Technikunterricht darstellt. Für den gewerblich-technischen Bereich ergibt sich aus der Studie von Pätzold et al. (2003), dass das technische Experiment in einem nur sehr geringen Umfang eingesetzt wird und ihm, ähnlich wie im naturwissenschaftlichen Bereich, nicht die entsprechende Bedeutung zukommt.

Rekapitulierend zeigen die Einschätzungen der LehrerInnen deutlich, dass bezogen auf die Lernwirksamkeit des Experiments, insbesondere des Schülerexperiments, dem experimentierenden Lernen per se ein größerer Lernerfolg zugeschrieben wird als anderen Unterrichtsverfahren. Der größte Lernerfolg ist demnach mit dem Einsatz von Schülerexperimenten zu erreichen. Festzuhalten gilt, dass der Lernerfolg nach Einschätzungen der LehrerInnen direkt davon abhängt, ob die SchülerInnen das Experiment selbst bearbeiten (Schülerexperiment), die Bearbeitung beobachten (Demonstrationsexperiment) oder nur lesend bearbeiten (z. B. Gedankenexperiment). Diese Einschätzungen zur Lernwirksamkeit von Experimenten stützen die eingangs beschriebenen Annahmen in der Literatur (vgl. Kap. 2.1.7).

Darüber hinaus werden mit dem Einsatz von Experimenten durchweg positive Auswirkungen für das **fachspezifische Interesse** der SchülerInnen geknüpft. Demnach sollten Schülerexperimente das Interesse am stärksten und das lesende Bearbeiten von Experimenten am geringsten beeinflussen.

---

<sup>20</sup> Eine quantitative Aussage (z.B. in Stunden/Wochen) über den Einsatz des technischen Experiments ist auf Basis der derzeitigen Forschungsergebnisse leider nicht möglich.

### 3.3 FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUR WIRKSAMKEIT VON SCHÜLER-, DEMONSTRATIONSEXPERIMENTEN UND DEM LESENDEN BEARBEITEN VON EXPERIMENTEN

Dem Experiment wird in der Unterrichtspraxis, wie die Befragungen von LehrerInnen zeigten, großes Potenzial zugeschrieben.

Besonders auffällig ist, dass die Lernwirksamkeit damit verbunden wird, ob die Experimente als Schüler- bzw. Demonstrationsexperiment oder durch rein lesende Bearbeitung des Experiments durchgeführt werden. So werden Experimente, die die SchülerInnen selbst praktisch durchführen (z. B. Schülerexperimente), effektiver eingeschätzt als Experimente, bei denen die SchülerInnen die Durchführung lediglich beobachten (z. B. Demonstrationsexperimente) oder das Experiment lesend (z. B. aus Schulbüchern) bearbeiten.

Ob diese Annahme gerechtfertigt ist, soll daher im Folgenden nachgegangen werden, indem Studien, die sich mit dem Vergleich von Demonstrations- und Schülerexperimenten sowie dem lesenden Bearbeiten von Experimenten in der Fachdidaktik der Naturwissenschaften und der Technikdidaktik befassen, vorgestellt werden (vgl. Kap. 3.3.1 und 3.3.2). Dem Ziel dieser Arbeit geschuldet den Einfluss von Handlungsmöglichkeiten bei der Durchführung technischer Experimente auf den deklarativen und prozeduralen Wissenserwerb zu ermitteln, werden auch Studien in die Betrachtung einbezogen, die das Schüler- bzw. Demonstrationsexperiment mit Videos und dem Einsatz von Lehrbüchern vergleichen.

#### 3.3.1 BEFUNDE AUS DER FACHDIDAKTIK DER NATURWISSENSCHAFTEN

„If asked to state in what particular the teaching of science differs from the teaching of other subjects, the average educator would probably name the laboratory method as a distinctive characteristic“ (Downing, 1931, S. 316).

Diese Anmerkung von Downing unterstreicht die zentrale Stellung des Experiments für den naturwissenschaftlichen Unterricht, weshalb es nicht verwundert, dass in diesem Bereich viele Unternehmungen, die sich insbesondere mit der Wirksamkeit von Schüler- und Demonstrationsexperimenten beschäftigten, zu verzeichnen sind. Um einen möglichst großen Überblick der Forschungsbemühungen erreichen zu können, werden im weiteren Verlauf Arbeiten von 1920-2009 dargelegt.

Einleitend werden in einer ersten Betrachtung frühe Forschungsbemühungen (1920-1943) vorgestellt und kritisch betrachtet (vgl. Kap. 3.3.1.1), um anschließend Arbeiten (1950-2007) zu präsentieren, die eine höhere Vergleichbarkeit und statistisch zuverlässigere Ergebnisse besitzen (vgl. Kap. 3.3.1.2). Arbeiten (1969-2009), die Schüler-, Demonstrationsexperimente und den Einsatz des Lehrbuches oder Video miteinander vergleichen, schließen die Betrachtungen ab (vgl. Kap. 3.3.1.3).

### 3.3.1.1 Frühe Arbeiten zum Vergleich von Schüler- und Demonstrationsexperimenten (1920-1943)

In ersten Arbeiten (1920-1943) zur Wirksamkeit des Experiments ergaben von 24 Studien 17 Vorteile für das Demonstrationsexperiment, drei fanden keine überzufälligen Unterschiede und nur vier Arbeiten stellten einen signifikanten Vorteil des Schüler- gegenüber dem Demonstrationsexperiments fest. Einen Überblick der Ergebnisse der Studien kann nachfolgender Tabelle entnommen werden (vgl. Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Übersicht der frühen Arbeiten zum Vergleich von Schüler- und Demonstrationsexperimenten

Jahr	Name <sup>21</sup>	Schüler-experiment(e) ①	Demonstrations-experiment(e) ②	Ergebnisse: <sup>22</sup>
1920	Cunningham	X	X	②>①
1922 & 1923	Cooprider	X	X	②>①
1923	Kiebler & Woody	X	X	②>①
1924b	Cunningham	X	X	②>①
1925	Downing	X	X	②>①
1925	Pruitt	X	X	②>①
1926	Ewing	X	X	②>①
1926	Anibel	X	X	②>①
1927	Knox	X	X	②>①
1927	Nash & Phillips	X	X	②>①
1927	Dyer	X	X	②>①
1927	Pugh	X	X	②>①
1928	Horton	X	X	①>②
1928	Johnson	X	X	①=②
1929	Erikson	X	X	②>①
1929	Shore	X	X	①=②
1929	Van Horne	X	X	②>①
1929	Brasure	X	X	①>②
1929	Scott	X	X	①=②
1929	De Jarnett	X	X	②>①
1930	Walter	X	X	①>②
1932	Payne	X	X	②>①
1933	Hix	X	X	②>①
1943	White	X	X	①>②

<sup>21</sup> Pruitt (1925), Ewing (1926), Erikson (1929), Shore (1929), Van Horne (1929), Brasure (1929), Scott (1929), De Jarnett (1929), Hix (1933) und White (1943) zitiert nach Garrett und Roberts (1982).

<sup>22</sup> Die Ergebnisse beziehen sich nur auf den ersten Nachtest und auch nur auf den Lernzuwachs (kognitiven Aspekt). Im zweiten Nachtest war tendenziell eine Überlegenheit des Schülerexperiments zu beobachten.

Auf den ersten Blick scheinen also die Ergebnisse der dargestellten Arbeiten eindeutig für eine Überlegenheit des Demonstrationsexperiments zu sprechen, so dass es zunächst zulässig erscheint, sich Downings (1931) Schlussfolgerung anzuschließen: „It is evident that as far as the immediate tests go there is a large preponderance of evidence in favor of the demonstration method“ (Downing, 1931, S. 318).

It does seem safe to conclude that under the present conditions of teaching science in the secondary schools the demonstration method is as effective as the laboratory method in getting over to pupils the desired information and saves time and a great deal of money“ (Downing, 1931, S. 320).

Betrachtet man jedoch den methodischen Aufbau dieser Arbeiten näher, so muss die Aussagekraft der Ergebnisse relativiert und damit auch Downings Schlussfolgerung kritisch hinterfragt werden.

Dies merkt auch Cunningham (1946) in seiner Zusammenschau der Forschungsergebnisse von 1912-1943 kritisch an.

Demnach sei die Vergleichbarkeit der Studien nur sehr eingeschränkt möglich, da

- z. T. nicht angegeben wurde, ob die Demonstrationsexperimente durch Schüler oder von der Lehrperson durchgeführt wurden,
- die Gruppengröße der Schülerexperimente nicht angegeben wurde,
- die Zeit, die auf das Schüler- bzw. Demonstrationsexperiment verwandt wurde, oftmals nicht erfasst bzw. nicht gleich gehalten wurde,
- die Anzahl der in der Studie durchgeführten Experimente von 6 bis 100 und damit auch die Dauer der Studie (von einer Woche bis hin zu zwei Jahren) variierte,
- statistische Verfahren kaum angewendet und fast immer nur Mittelwerte verglichen wurden,
- in manchen Studien kein Vortest durchgeführt wurde,
- eine Testkonstruktion nach heutigen Standards nicht erfolgte (z. B. Trennschärfen- und Schwierigkeitsanalysen),
- die Gütekriterien wie Objektivität, Reliabilität und Validität nicht bzw. nur in weniger als 1% der Studien beachtet wurde,
- die Stichprobengröße pro Treatmentgruppe von 8 bis 35 Personen reichte und damit kaum gesicherte statistische Ergebnisse zu erwarten sind

(vgl. Cunningham, 1946, S. 71ff; Garrett & Roberts, 1982, S. 116ff).

Eine Ausnahme in den frühen Arbeiten bildete Horton (1928).

Mit seinen Studien setzte er Maßstäbe, was in Forscherkreisen dazu führte, dass in nachfolgenden Studien objective “tests became the norm, indicating a recognition of this type of test as a powerful and efficient means of measuring knowledge and factual recall. However, their use, if coupled with other types of tests, which would also indicate that the shortcomings of such implements as true/false, completion and multiple-choice tests was also recognized. Increasingly the need to pre-test items was acknowledge and the concepts of test validity and reliability were developed” (Garrett & Roberts, 1982, S. 127). Als Konsequenz formulierte Cunningham (1946) Empfehlungen für Variablen, die während der Untersuchung konstant gehalten werden müssen, um die Vergleichbarkeit zukünftiger Studien zu erhöhen. Nach Cunningham sollten folglich the “1) teacher variable; 2) complexity of experiments and apparatus; 3) time spent on each method; 4) amount of science studied by students; and 5) performer of demonstrations” erfasst bzw. kontrolliert werden (Cunningham, 1946, S. 71; vgl. Majerich, 2004, S. 86).

### 3.3.1.2 Weitere Arbeiten zum Vergleich von Schüler- und Demonstrationsexperimenten (1950-2007)

Diese Kritik wurde in den darauffolgenden Studien (1950-2007) zum größten Teil berücksichtigt, was sich bezüglich des methodischen Designs, der verwendeten statistischen Methoden als auch der Berichterstattung bemerkbar machte, womit für die Arbeiten in diesem Zeitraum eine höhere Vergleichbarkeit zu erwarten ist.

Tabelle 3.2: Übersicht weiterer Arbeiten zum Vergleich von Schüler- und Demonstrationsexperimenten

Jahr	Name	Schüler-experiment(e) ①	Demonstrations-experiment(e) ②	Ergebnisse: <sup>23</sup>
1952	Kruglak	X	X	①=②
1953	Balcziak <sup>24</sup>	X	X	①=②
1956	Ward	X	X	①=②
1965	Bradley	X	X	①=②
1970	Bybee	X	X	①=②
1971	Flowers	X	X	①=②
1989	Glasson <sup>25</sup>	X	X	①=2 (dekl.); ①>② (proz.)
2007	McKee, Williamson & Ruebush	X	X	①=②

<sup>23</sup> Die Ergebnisse beziehen sich nur auf den ersten Nachtest und auch nur auf den Lernzuwachs (kognitiven Aspekt). Im zweiten Nachtest war tendenziell eine Überlegenheit des Schülerexperiments zu beobachten.

<sup>24</sup> Zitiert nach Garrett (1982).

<sup>25</sup> dekl.= deklaratives Wissen; proz.= prozedurales Wissen.

Ergebnisbezogen kann für die Studien im Zeitraum von 1950-2007 festgehalten werden, dass trotz Verbesserung des Designs, der Testkonstruktion und der Auswertungsmethoden fast alle Arbeiten (7 von 8) keine Unterschiede bezüglich der Lernwirksamkeit des Schüler- gegenüber des Demonstrationsexperiments feststellen konnten.

Einzig die Arbeit von Glasson (1989) berichtet abweichende Ergebnisse (vgl. Tabelle 3.2). Anders als die vorangegangenen Studien verfolgt er in seiner Arbeit das Ziel, den Einfluss von Schüler- und Demonstrationsexperimenten auf den Erwerb von deklarativem<sup>26</sup> und prozeduralem<sup>27</sup> Wissen unter Berücksichtigung des Vorwissens zu ermitteln, womit die Arbeit von Glasson hohe Affinität zum eigenen Forschungsvorhaben aufweist und im Folgenden näher vorgestellt werden soll.

Im Vor-Nachtest-Design bearbeiteten 54 „ninth-grade students“ entweder in Gruppen von 2 bis 4 SchülerInnen selbst drei Experimente (Schülerexperimente) zu Themenbereichen der Physik (schiefe Ebene, Hebelgesetze und Flaschenzug) oder mussten durch Lehrerdemonstrationen die Durchführung der drei Experimente beobachten und die Ergebnisse selbst notieren (vgl. Glasson, 1989, S. 121).

In der Entwicklung des deklarativen Wissens konnte kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Schüler- und Lehrerdemonstrationsexperimente) festgestellt werden. Jedoch konnte das Vorwissen 25% zur Varianzaufklärung des deklarativen Wissens beitragen.

Den Vermutungen von Glasson entsprechend stellte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen im Bereich des prozeduralen Wissenserwerbs ein. Auch hier konnte das Vorwissen den größten Teil (25%) zur Varianzaufklärung leisten. Als Erklärung für dieses Ergebnis im prozeduralen Wissensbereich merkt Glasson an, dass „students in the hands-on group [Schülerexperimente] were at an advantage because they were actively exposed to the ‚operational‘ relationships among the variables“ (Glasson, 1989, S. 128).

Die aktiv handelnde Auseinandersetzung mit den Inhalten des Experiments ist, nach Glasson, folglich verantwortlich für die Entwicklung prozeduralen Wissens und das bessere Abschneiden der SchülerInnen in Fragen, die sich auf das prozedurale Wissen bezogen, wenn sie das Experiment selbst bearbeiten durften. Leider war Glasson der einzige, in dem betrachteten Zeitraum, der die Wissensentwicklung durch die Bearbeitung von Experimenten im deklarativen und prozeduralen Bereich untersuchte.

---

<sup>26</sup> Unter deklarativem Wissen versteht Glasson in Anlehnung an Anderson „factual and conceptual“ Knowledge (vgl. Glasson, 1989, S. 121).

<sup>27</sup> Unter prozeduralem Wissen versteht Glasson in Anlehnung an Anderson „problem-solving“ (vgl. Glasson, 1989, S. 121).

### 3.3.1.3 Arbeiten zum Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten (1969-2009)

Den bisher präsentierten Forschungsstand erweiternd, werden nun Arbeiten (1969-2009) vorgestellt, die zusätzlich zu **Schüler-** und **Demonstrationsexperimenten**, das **lesende Nachvollziehen** der Experimente aus Lehrbüchern oder das **beobachtende Nachvollziehen der Experimente** per Video in die vergleichende Betrachtung mit einbeziehen.

In den betrachteten Arbeiten konnten drei (vgl. Yager, Engen & Snider, 1969; Johnson, 1991; Michel & Roebers, 2007) keine und zwei (vgl. Weltner & Warnkross, 1974; Killermann, 1996) überzufällige Unterschiede zwischen selbst durchgeführten, beobachteten oder lesend bearbeiteten Experimenten feststellen. Eine genauere Übersicht ist nachfolgender Tabelle zu entnehmen (vgl. Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Übersicht von Arbeiten zum Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten

Jahr	Name	Schülerexperimente ①	Demonstrationsexperimente ②	Weitere Unterrichtsverfahren/-methoden ③	Ergebnisse: <sup>28</sup>
1969	Yager et al.	X	X	Lesendes Bearbeiten der Experimentiererergebnisse	①=②=③
1974	Weltner & Warnkross	X	X	Informierender (Frontal-)Unterricht	①>②>③
1977	Bauer & Godan	X	X	Unterricht mit dem Lehrbuch	③>①>②
1991	Johnson	X	X	Lehrerdemonstrationsvideo zum beobachten	①=②=③
1996	Killermann	X	X	Lehrerzentrierter Unterricht	①>②>③ (Klasse 5) ②>①=③ (Klasse 7)
2005	McCarty	X		Lehrerzentrierter Unterricht nur mit Lehrbuch	①>③ <sup>29</sup>
2007	Taraban, Box, Myers, Pollard & Bowen	X		Lehrerzentrierter Unterricht nur mit Lehrbuch	①>③
2007	Michel & Roebers		X	Video (③a)) und Frontalunterricht (③b))	②=③a)=③b) <sup>30</sup>
2009	Rade		X	Lehrerzentrierter Unterricht nur mit Lehrbuch	②>③

<sup>28</sup> Die Ergebnisse beziehen sich nur auf den ersten Nachtest und auch nur auf den Lernzuwachs (kognitiven Aspekt). Im zweiten Nachtest war tendenziell eine Überlegenheit des Schülerexperiments zu beobachten.

<sup>29</sup> Eine Überlegenheit des Schülerexperiments gegenüber dem Unterricht mit dem Lehrbuch konnten nur in den Subtests „Kurzantworten“ und „Manipulieren der Experimentiergegenstände“ und nicht im multiple-choice Test festgestellt werden. Des Weiteren dürfte die statistische Absicherung der Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobengröße (18 Probanden) äußerst fragwürdig sein.

<sup>30</sup> Einzig in den offenen Fragen konnte ein signifikanter Unterschied (2>3.1>3.2) festgestellt werden, wobei die offenen Fragen inhaltlich so allgemein formuliert waren, dass zur Beantwortung auch vor der Untersuchung erworbenes Wissen über die Zuckerherstellung ausgereicht hätte (vgl. Michel & Roebers, 2007, S. 197).

In der Arbeit von Yager et al. (1969) bearbeiteten im Bereich der Biologie „60 students in eight grade“ in drei unterschiedlichen Treatments ca. 50 Experimente (vgl. Yager et al., 1969, S. 77). Die SchülerInnen der ersten Gruppe konnten die Experimente in Kleingruppen bearbeiten. In der zweiten Gruppe wurden dieselben Experimente entweder durch eine Schülerin oder einen Schüler bzw. durch den Lehrer der Klasse vorgeführt. Diese konnten die Durchführung der Experimente nur beobachten und die Ergebnisse notieren. Keine Möglichkeit, die Experimentdurchführung zu beobachten, oder die Experimentiergegenstände zu manipulieren, hatte die letzte Gruppe. Sie musste die Ergebnisse lesend nachvollziehen. Alle Gruppen bearbeiteten inhaltlich dieselben Experimente mit identischen Unterlagen (Experimentierbögen).

In der als Pre-Posttest-Design angelegten Arbeit wurden jeweils insgesamt acht Tests durchgeführt, wobei nur in dem von den Autoren entwickelten Fertigkeitstest, die Experimentiergegenstände zu manipulieren, signifikante Unterschiede zwischen den drei Tests festgestellt werden konnten. Die hier gewonnen Erkenntnisse, dass nur das aktive und selbstständige Manipulieren der Experimentiergegenstände zur Verbesserung der dazu benötigten Fertigkeiten führt, konnte auch in der Studie von McCarty (2005) bestätigt werden (vgl. McCarthy, 2005, S. 255ff)<sup>31</sup>. Die Ergebnisse von Yager et al. (1969) im kognitiven Bereich werden durch die Untersuchungen von Johnson (1991), sowie Michel und Roebbers (2007) gestützt, womit die genannten Untersuchungen den Entschluss nahelegen, dass kein Unterschied zwischen Schüler-, Demonstrationsexperimenten und lesendem Nachvollziehen von Experimenten aus Lehrbüchern oder das beobachtende Nachvollziehen von Experimenten per Video besteht.

Im Gegensatz zu den eben vorgestellten Arbeiten, welche keine Unterschiede im Wissenserwerb zwischen selbst durchgeführten, beobachteten oder lesend nachvollzogenen Experimenten feststellen konnte, wurden von Weltner und Warnkross (1974) im Physikunterricht einer 8. und 9. Jahrgangsstufe des Gymnasiums (N=62)<sup>32</sup>, im Bereich der Elektrotechnik, eine Überlegenheit von „Schülerexperimenten“ gegenüber „Demonstrationsunterricht“ oder „informierendem“ Unterricht ermittelt (vgl. Weltner & Warnkross, 1974, S. 124).

---

<sup>31</sup> „Aus dem bisherigen folgt, daß sich lediglich sicher nachweisen läßt, daß die Lernenden bei selbst durchgeführten Experimenten Fertigkeiten im Umgang mit Geräten und handwerklichen Geschicklichkeit erwerben, ein durchaus zu erwartender und nachvollziehbarer Effekt. Eine Übertragung auf den Bereich des Verstehens erscheint kaum zulässig“ (George, 1990, S. 49).

<sup>32</sup> Leider vermissen es die Autoren die Stichprobengröße der Untersuchung explizit aufzuführen. Die aufgeführte Stichprobengröße bezieht sich auf die „degrees of freedom“ der zur Arbeit gehörigen Schülerbefragung.

Erfasst wurden, durch geschlossene (multiple-choice) und offene Aufgabenformate, Antworten zu Wissens-, Konstruktionsfragen (Zeichnungen) und Fragen, in denen Phänomene gedeutet bzw. begründet werden mussten.

Dass Schülerexperimente dem lesenden Nachvollziehen des Experiments überlegen sind, konnte in weiteren Studien z. B. von McCarthy (2005) oder in der großen Studie im Bereich der Biologie von Taraban et al. (2007) mit insgesamt 406 „high school students“ nachgewiesen werden (Taraban et al., 2007, S. 960). Die bisher aufgeführten Studien lassen zwar tendenziell eine Überlegenheit des Schüler- gegenüber dem Demonstrationsexperiment und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten erkennen, wobei der eindeutige Nachweis dafür allerdings noch nicht erbracht wurde.

Für den deutschsprachigen Raum musste Killermann (1996) in einer Studie kontrastierende Ergebnisse feststellen.

So erreichten SchülerInnen der fünften Klasse (N=261) bayerischer Gymnasien im Fach Biologie mit Schüler- und Demonstrationsexperimenten annähernd gleich hohe und im lehrerzentrierten Unterricht die geringsten Lernzuwächse (vgl. Abbildung 3.4).

Entgegen den Ergebnissen aus der fünften Jahrgangsstufe profitierten SchülerInnen in der siebten Klasse (N=283) insbesondere von Demonstrationsexperimenten, wohingegen sich keine Unterschiede in den Wissenszuwächsen von selbst durchgeführten oder lesend nachvollzogenen Experimenten feststellen ließ.<sup>33</sup> Weiter konnte festgestellt werden, dass, unabhängig vom Alter, Schülerinnen am besten durch Demonstrationsexperimente lernten (vgl. Abbildung 3.5).

Die Lernerfolgsmessung erfolgte dabei in einem Pre-Posttest-Design durch einen schriftlichen Test, der in 35 Fragen knowledge of facts, the ability to transfer knowledge and the ability to solve problems erfasste (vgl. Killermann, 1996, S. 336). Abschließend merkt Killermann an, dass „demonstration experiments can lead to a considerably greater ability to transfer knowledge and solve problems than experiments that are carried out by the students themselves. In the other school types the results could be very different and it would be necessary to test this rather than to make assumptions based on the current data“ (Killermann, 1996, S. 338).

Ebenfalls kontrastierende Ergebnisse lieferte die Studie von Bauer und Godan (1977), in der festgestellt werden konnte, dass Schülerinnen und Schüler der

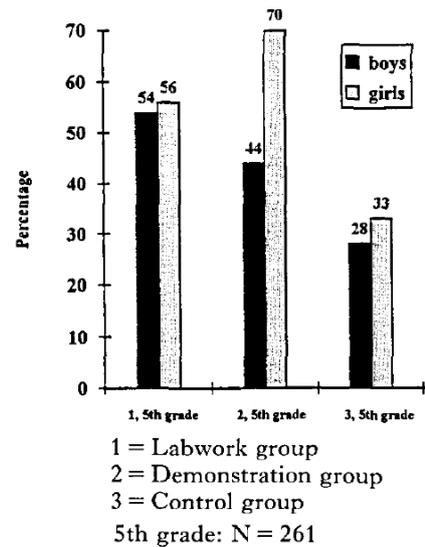


Abbildung 3.4: Vergleich der Ergebnisse von 5. Klässlern nach der Bearbeitung von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und Frontalunterricht geordnet nach Geschlecht

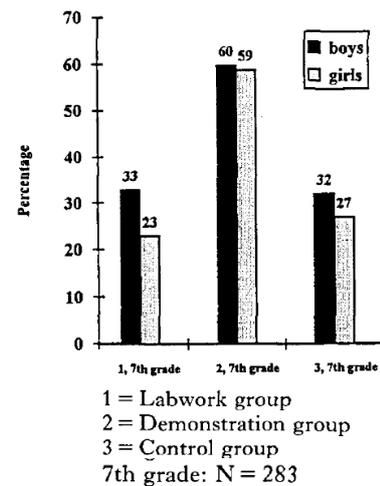


Abbildung 3.5: Vergleich der Ergebnisse von 7. Klässlern nach der Bearbeitung von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und Frontalunterricht geordnet nach Geschlecht

<sup>33</sup> Eine Überlegenheit des Demonstrationsexperiments gegenüber dem lesenden Nachvollziehen, oder dem Nachvollziehen durch Beobachtung eines Videos, konnte nur in der Studie von Rade (2009), im Bereich der Chemie mit 148 Schülerinnen und Schülern einer iranischen Schule, nachgewiesen werden.

achten Klasse<sup>34</sup> im Physikunterricht von einer lesenden Bearbeitung eines Experiments mehr profitieren, als durch ein Schüler- oder Demonstrationsexperiment. Dieser Effekt zeigte sich auch für kognitiv schwächere Schülerinnen und Schüler (vgl. Bauer & Godan, 1977, S. 141).

### 3.3.2 BEFUNDE AUS DER TECHNIKDIDAKTIK

Einleitend muss angemerkt werden, dass dem Autor **keine** Arbeit bekannt ist, die die Lernwirksamkeit bzw. den Wissenserwerb von Schüler-, Demonstrationsexperimenten oder dem lesend nachvollziehenden Bearbeiten von technischen Experimenten im allgemeinbildenden Technikunterricht untersuchte. Daher wurden auch Studien aus der Technikdidaktik bzw. dem gewerblich-technischen Bereich in die Betrachtung einbezogen. Im Folgenden wird eine Studie vorgestellt, die sich mit dem experimentierenden Lernen in der Bau- und Holztechnik beschäftigt.

Bünning (2008) entwickelte in seiner Habilitationsschrift ein fachdidaktisch begründetes Experimentalkonzept als Grundlage für die Realisierung eines handlungsorientierten Unterrichts für die Berufsfelder der Bau- und Holztechnik.<sup>35</sup> Um das entwickelte Konzept evaluieren zu können, entwarf er ein quasi-experimentelles Pre-Posttest-Design, in dem über vier Messzeitpunkte<sup>36</sup> hinweg, die Leistungen einer Kontroll- [KG] und einer Experimentalgruppe [EG] erfasst wurden. Insgesamt wurden 103<sup>37</sup> SchülerInnen aus unterschiedlichen Ausbildungsberufen der Bauwirtschaft (Maurer, Hochbaufacharbeiter, Straßen- und Tiefbauer, Dachdecker, Ausbaufacharbeiter mit der Vertiefung

<sup>34</sup> Es wurden insgesamt drei achte Klassen untersucht. Jedoch wurde keine Stichprobengröße angegeben und auf die statistische Auswertung verzichtet. Die berichteten Ergebnisse beziehen sich auf Mittelwertunterschiede (vgl. Bauer & Godan, 1977, S. 141).

<sup>35</sup> Mit der Entscheidung der Kultusministerkonferenz [KMK], die Handlungskompetenz als Bildungsziel zu formulieren, gewann das handlungsbezogene Lernen, welches als ein Lernen aus dem Handeln heraus oder auch als ein Lernen durch Handeln verstanden werden kann, an Bedeutung für den berufsbildenden Unterricht (vgl. Sekretariat der Kultusministerkonferenz, 2007; Bader & Sloane, 2000; Bader, 1990). „Ausgangspunkt für diese Ausrichtung sind mehr oder weniger gesicherte Annahmen zu Veränderungen der Qualifikationsanforderungen und zur Überlegenheit im Hinblick auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung“ (Nickolaus, 2002, S. 123). Entsprechend liegen erste Forschungsbefunde vor, die sich insbesondere mit der Wirksamkeit von selbst ausgeführten Handlungen in Lernprozessen beschäftigen. Angelehnt an das Bildungsziel, beziehen sich die Forschungsbemühungen zumeist auf methodischer Ebene auf eine Gegenüberstellung von eher handlungssystematischen gegenüber eher direktiven (fachsystematischen) Instruktionen (vgl. Pahl, 2010). Das experimentierende Lernen stellt für Bünning eine Form der Handlungsorientierung bzw. der handlungssystematischen Instruktion dar (vgl. Bünning, 2008, S. 2).

<sup>36</sup> Der erste Vortest wurde vor Beginn des Lernfeldes, der Zweite direkt vor dem Experiment, der erste Nachtest direkt nach dem Experiment und der Zweite ca. 1,5 bzw. 2,5 Monaten nach dem Experiment durchgeführt (vgl. Bünning, 2008, S. 140f).

<sup>37</sup> Die 103 Probanden setzen sich aus 59 (KG=14; EG=45) Probanden der Teilstudie 1 und 44 (KG=7; EG=37) Probanden der Teilstudie 2 zusammen (vgl. Bünning, 2008, S. 146).

Trockenbau) untersucht (vgl. Bünning, 2008, S. 130ff). Die SchülerInnen konnten aufgrund der Klassenzugehörigkeit nicht randomisiert werden.

Die EG bearbeitete ein Experiment entweder zum Thema

- „zimmermannsmäßige Verbindungen im Holzbau: Experimentelle Ermittlung des Zusammenhanges von maximaler Druckbelastung und Vorholzlänge beim Stirn- und Doppelversatz“ oder
- „Einfluss der Bewehrungslage auf die Biegezugfestigkeit eines Stahlbetonbalkens“,

das jeweils in entsprechende Lernsituationen eingebunden war, wohingegen die KG keine Experimente, aber dennoch dieselben Inhalte wie die EG bearbeitete (Bünning, 2008, S. 128). Leider spezifiziert Bünning nicht, ob die Experimente in der EG als Schüler- oder Demonstrationsexperimente durchgeführt wurden und in welcher Form die KG Instruktionen erhielt.

In Anlehnung an Arbeiten zur Kompetenzmodellierung im beruflichen Bereich greift auch Bünning auf eine horizontale Differenzierung von Wissen zurück und erfasst die Wirksamkeit des entwickelten Experimentalkonzepts in den Bereichen des deklarativen und prozeduralen Wissens sowie dem Problemlösewissen (vgl. Gschwendtner, Geißel & Nickolaus, 2010; Knöll, 2007; Nickolaus, Heinzmann & Knöll, 2004).

Bünning deduziert, gestützt durch die Ergebnisse der Studie, dass der Einsatz des Experimentierens [EG] mindestens ebenso die Entwicklung von deklarativem Wissen fördert wie ein direktiver (fachsystematischer) Unterricht [KG]. Tendenziell führt ein Experimentalunterricht [EG] zu besseren Ergebnissen im Bereich des deklarativen Wissens als ein direktiver [KG] (vgl. Bünning, 2008, S. 214ff). Signifikante Unterschiede konnten in der Entwicklung prozeduralen Wissens festgestellt werden. Experimentalunterricht wirkt sich demnach, im Vergleich zu direktivem Unterricht, besonders förderlich auf die Entwicklung prozeduralen Wissens aus. Im Bereich des Problemlösewissens zeichnet die Studie ein ähnliches Bild wie die Untersuchungen von Nickolaus et al. (2004), indem die Problemlösefähigkeit bei eher handlungssystematischen Instruktionen [EG] ebenfalls nur partiell als signifikant besser bestätigt werden konnte.

Resümierend merkt Bünning (2010) in Bezug auf das untersuchte handlungsorientierte technische Experiment<sup>38</sup> für die bau- und holztechnische Grundbildung an, „dass

- in instruktionsbezogenen Unterrichtsarrangements keine besseren Ergebnisse hinsichtlich der Entwicklung deklarativen Wissens festgestellt werden konnten,
- im Experimentalunterricht klar bessere Lerneffekte hinsichtlich der Aneignung prozeduralen Wissens vorliegen und
- vorbildungsschwache Schülerinnen und Schüler in handlungsorientierten Lernarrangements nicht benachteiligt sind“ (Bünning, 2010, S. 72).

---

<sup>38</sup> Diese Aussage bezieht sich auf das in der Habilitationsschrift entwickelte Experimentalkonzept und die darin evaluierten technischen Experimente.

### 3.4 ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUR WIRKSAMKEIT DES EXPERIMENTS ALS UNTERRICHTSVERFAHREN

Aus den Ergebnissen aller betrachteten Arbeiten (1920-2009) im naturwissenschaftlichen Unterricht kann lediglich sicher geschlossen werden, „daß die Lernenden bei selbst durchgeführten Experimenten Fertigkeiten im Umgang mit Geräten und handwerkliche Geschicklichkeit erwerben“, was einen durchaus zu erwartenden und nachvollziehbaren Effekt darstellt, wobei eine „Übertragung auf den Bereich des Verstehens“ kaum zulässig erscheint (George, 1990, S. 49).<sup>39</sup>

Bezogen auf die Ergebnisse zur Wirksamkeit von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten im oben genannten Zeitraum konnten acht Arbeiten eine Überlegenheit des Schülerexperiments, 19 eine Überlegenheit des Demonstrationsexperiments und nur eine Arbeit eine Überlegenheit der lesenden Bearbeitung von Experimenten nachweisen. Kein Unterschied konnte in 13 Arbeiten festgestellt werden (vgl. Kap. 3.3.1).

Daher kann die Befundlage zu den Determinanten der Wirksamkeit des Experiments, wie gezeigt werden konnte, als diffus und die „Lernwirksamkeit [...] von Experimenten, und zwar von Lehrerdemonstrationsexperimenten als auch von Schülerexperimenten [als weitgehend ungeklärt bezeichnet werden], obwohl sie unbestritten inhärenter Bestandteil naturwissenschaftlichen Unterrichts sind“ (Fischer et al., 2003, S. 194). Insbesondere für die Lernwirksamkeit von Schülerexperimenten fasst Hopf (2007) zusammen, dass diese „trotz langjähriger empirischer Forschung nicht eindeutig belegt“ werden konnte (Hopf, 2007, S. 35ff).

Mögliche Ursachen für die heterogene Ergebnislage der berichteten Forschungsergebnisse können in den Anlagen der Untersuchungen gesehen werden. Trotz der Kritik Cunninghams (1946) wurden in den meisten Arbei-

---

<sup>39</sup> Zusätzliche Diskrepanzen zwischen erwarteter und tatsächlicher Lernwirksamkeit von (Schüler-)Experimenten, wie dass sich die SchülerInnen nur geringe experimentelle Fähigkeiten durch das Experimentieren aneignen konnten, zeigten weitere Studien auf (vgl. Watson, 2000; Hodson, 1993; Hegarty-Hazel, 1990). Ein weiteres Problem ist, dass es den SchülerInnen kaum gelingt, Theorie, also die Gesetzmäßigkeiten und Praxis, also die Handlungsabsichten bzw. das ausgeführte Experiment selbst, miteinander zu verbinden (vgl. Hofstein & Lunetta, 2004; Hart, Mulhall, Berry, Loughran & Gunstone, 2000; Atkinson, 1990).

Die Experimentierunterlagen, welche oftmals „kochbuchartige Handlungsanweisungen“ beinhalten, schränken die SchülerInnen zu sehr in ihrem Handeln ein und verlangen ihnen kaum bzw. keine gedankliche Eigenleistung (vgl. Hopf, 2007; Hofstein & Lunetta, 2004). Ebenfalls besteht häufig eine Diskrepanz zwischen den Zielen der Lehrkräfte und denen der SchülerInnen, welche das Experiment eher als „manipulating equipment but not manipulating ideas“ verstehen (Hofstein & Lunetta, 2004, S. 38). So verwundert es nicht, dass SchülerInnen experimentieren ohne Nachzudenken und zudem durch falsche Alltagsvorstellungen und fehlendes Vorwissen nur einen geringen Wissenszuwachs durch Experimentieren erfahren (vgl. Hodson, 1993).

ten die Variablen wie z. B. Gruppengrößen der Experimentalgruppen, Umfang, Inhalt und Ziel der Experimente sowie die Unterrichtszeit weder konstant gehalten noch erfasst bzw. kontrolliert. Auch der Einfluss der Lehrperson blieb oftmals unberücksichtigt, womit eine Konfundierung der Ergebnisse wohl sehr wahrscheinlich ist. Bezogen auf den Phasenverlauf des Experiments wurden ebenfalls in keiner der Studien Angaben gemacht, ob und in welcher Form diese durchlaufen wurden, wodurch auch hier mögliche Ursachen für die unklare Ergebnislage liegen können. Ein weiterer zentraler Kritikpunkt ist die oftmals fehlende kognitionspsychologische Basis oder der Einsatz von nicht adäquaten kognitionspsychologischen Erklärungsansätzen für die Hypothesengenerierung der dargestellten Untersuchungen.

Dennoch kann für den Wissenserwerb durch Experimentieren angemerkt werden, dass alle Arbeiten, deren Tests eine horizontale Differenzierung aufweisen, also **prozedurales** und **deklaratives** Wissen<sup>40</sup> – oder zu diesen Bereichen affines Wissen<sup>41</sup> – erfassten, einen Trend erkennen lassen.

So zeigen die Arbeiten von Glasson (1989) im naturwissenschaftlichen Bereich und Bünning (2008) im gewerblich-technischen Bereich, dass durch eigenständiges Experimentieren SchülerInnen deklaratives Wissen tendenziell und prozedurales Wissen statistisch signifikant besser erwerben als SchülerInnen, die die Bearbeitung des Experiments nur beobachten durften. Diesen Trend belegen auch die Arbeiten von Weltner und Warnkross (1974) und Killermann (1996) im deutschsprachigen Raum. In den Arbeiten konnte eine Überlegenheit von selbst ausgeführten gegenüber beobachteten Experimenten und lesendem Bearbeiten von Experimenten festgestellt werden, wobei in der Darstellung der Ergebnisse leider nicht darauf geachtet wurde, zwischen beiden Wissensbereichen zu unterscheiden.

Abschließend kann für den Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten festgehalten werden, dass im Bereich der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik Ergebnisse vorliegen, welche jedoch nur bedingt vergleichbar sind. Im **allgemeinbildenden Technikunterricht** hingegen fehlen vergleichbare Untersuchungen gänzlich.

---

<sup>40</sup> Insbesondere die Arbeiten von Glasson (1989) und Bünning (2008).

<sup>41</sup> Insbesondere die Arbeiten von Weltner und Warnkross (1974), die Wissensfragen (eher deklarativ), Konstruktionsfragen (Zeichnungen) und Fragen, in denen Phänomene gedeutet bzw. begründet werden mussten (eher prozedural) erfassten, und Killermann (1996), der Fragen zu knowledge of facts (eher deklarativ), the ability to transfer knowledge and the ability to solve problems (eher prozedural) erfasste.

---

#### 4 KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHER ERKLÄRUNGSANSATZ FÜR DEN ZUSAMMENHANG VON SELBST AUSGEFÜHRTEN HANDLUNGEN UND WISSEN IN TECHNISCHEN EXPERIMENTEN

---

Will man die unterschiedliche Wirksamkeit von Schüler- oder Demonstrationsexperimenten gegenüber dem lesenden Bearbeiten von Experimenten auf kognitionspsychologischer Ebene betrachten, stellt sich grundsätzlich die Frage, worin sich die drei Anforderungen an die SchülerInnen beim Bearbeiten von Experimenten unterscheiden und welcher Erklärungsansatz diese Unterschiede berücksichtigt.

Im Folgenden sollen zunächst die Anforderungen, die die Bearbeitung von technischen Experimenten an die SchülerInnen stellt, erörtert und abschließend Ansprüche an ein kognitionspsychologisches Erklärungsmodell formuliert werden.

In der Unterrichtspraxis werden SchülerInnen bei der Bearbeitung von technischen Experimenten mit den Anforderungen konfrontiert aus

- Texten bzw. Tabellen (z. B. Anforderungsbeschreibungen, Tabellen mit Messwerten),
- Bildern (z. B. Schaltplänen, Anordnung der Instrumente des Versuchsaufbaus) und
- wahrgenommenen bzw. ausgeführten Handlungen und deren Ergebnissen (z. B. Beobachten der eigenen Handlung oder der Handlung einer anderen Person mit den Instrumenten des Versuchsaufbaus)

Verständnis bzw. Wissen<sup>42</sup> über den Gegenstandsbereich des technischen Experiments zu erwerben/anzueignen.

Selbstverständlich finden sich die Anforderungen in unterschiedlicher Ausprägung in Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten wieder.

---

<sup>42</sup> Vgl. Kap. 5.2.

Dennoch muss ein kognitionspsychologischer Erklärungsansatz diesen Anforderungen Rechnung tragen, will er Unterschiede im erworbenen Verständnis bzw. Wissen der SchülerInnen nach der Bearbeitung von technischen Experimenten erklären.<sup>43</sup>

Folgt man dieser Argumentation ergibt sich, dass der Art und Weise, wie die Informationen aus Texten, Bildern und wahrgenommenen bzw. ausgeführten Handlungen und deren Ergebnisse ins Gedächtnis aufgenommen und enkodiert<sup>44</sup> werden, eine entscheidende Rolle zukommt, die es im Erklärungsansatz zu berücksichtigen gilt. Neben sensomotorischen Prozessen der Informationsaufnahme und -ausgabe sind Prozesse der Informationsspeicherung und der Zusammenhang mit den zuvor genannten Prozessen nicht weniger von Bedeutung.

Nachfolgend sind die erörterten Anforderungen an den kognitionspsychologischen Erklärungsansatz skizziert (vgl. Abbildung 4.1).

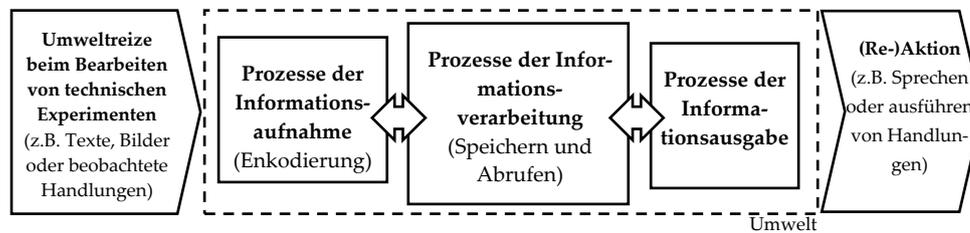


Abbildung 4.1: Anforderungen an den kognitionspsychologischen Erklärungsansatz

In den kommenden Kapiteln wird die multimodale Gedächtnistheorie als kognitionspsychologischer Erklärungsansatz vorgestellt (vgl. Kap. 4.1), anschließend Forschungsergebnisse zur Wirksamkeit von selbst ausgeführten, beobachteten und gelesenen Handlungen berichtet (vgl. Kap. 4.2) und abschließend zusammengefasst (vgl. Kap. 4.3).

<sup>43</sup> Bisherige Forschungsarbeiten (vgl. Kap. 3.4) stellten zwar Unterschiede zwischen Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten fest, konnten diese aber nicht aus kognitionspsychologischen Modellen ableiten oder begründen, d.h. das in vielen Forschungsarbeiten theoretisch abgeleitete und begründete Hypothesen fehlten oder auf kognitionspsychologischen Erklärungsmodellen beruhten, aus denen keine plausible Vorhersagen von Instruktion und erworbenen Wissen hätte abgeleitet werden können.

<sup>44</sup> In Anlehnung an Seel (2000) meint der Prozess der Enkodierung die Übersetzung von eintreffenden Informationen in einen Kode, der dann im Gedächtnis weiterverarbeitet werden kann (vgl. Seel, 2000, S. 371).

#### 4.1 DIE MULTIMODALE GEDÄCHTNISTHEORIE [MG] ALS KOGNITIONS- PSYCHOLOGISCHER ERKLÄRUNGSANSATZ FÜR DEN ZUSAMMENHANG VON SELBST AUSGEFÜHRTEN HANDLUNGEN UND WISSEN IN TECHNI- SCHEN EXPERIMENTEN

Bestärkt durch Ergebnisse aus Experimenten, in denen Personen nach Aufforderung, eine Liste einfacher Handlungen zu lernen, diese dann am besten erinnerten, wenn sie diese beim Lernen selbst ausführten, als wenn sie die Ausführung an einer anderen Person beim Lernen beobachten konnten oder einfach nur aufgefordert wurden, so viele Handlungen wie möglich zu lernen, bemängelt Engelkamp an den bisherigen Gedächtnistheorien, dass diese zu wenig differenziert sind und es nicht ausreichend ist, verbale und nonverbale Eingangssysteme von einem konzeptuellen System zu unterscheiden, wie z. B. bei der dualen Kodierungstheorie von Pavio (1986) bzw. Mayer (2001). Vielmehr muss zusätzlich zu den Eingangssystemen, wo sensorische Informationen aus der Umwelt enkodiert werden, ein Ausgangssystem angenommen werden, in dem motorische Informationen verarbeitet werden.

Für Engelkamp ist es gedächtnispsychologisch nicht das gleiche, ob man ein Wort nur wahrnimmt (z. B. hört oder liest), ob man sich zusätzlich vorstellt, es auszusprechen, oder es tatsächlich ausspricht. Analoges gilt für die Unterscheidung, ob man eine Handlung beobachtet, sich nur vorstellt, diese Handlung auszuführen, oder ob man die Handlung wirklich selbst ausführt (vgl. Engelkamp, 1997, S. 214).

Mit dieser Auffassung kommt Engelkamp den einleitend postulierten Anforderungen an den kognitionspsychologischen Erklärungsansatz nach (vgl. Kap. 4). Die Theorien von Pavio und Mayer greifen hier insoweit zu kurz, als diese nur Systeme der Informationsaufnahme (visuell/auditiv) annehmen und damit auf kognitionspsychologischer Ebene Unterschiede zwischen Schüler- und Demonstrationsexperimenten, aufgrund der fehlenden motorischen Ausgangssysteme, nicht erklären können. Damit geht Engelkamps multimodale Gedächtnistheorie, insbesondere seine Forderung nach einem motorischen Ausgangssystem, über bisherige Ansätze hinaus, indem sie Unterschiede zwischen Schüler- und Demonstrationsexperimenten sowie dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten und die daran beteiligten Prozesse berücksichtigt und daher als kognitionspsychologischer Erklärungsansatz für diese Arbeit im weiteren Verlauf vorgestellt werden soll.

Im Folgenden werden grundlegende strukturelle (Kap. 4.1.1) und prozessuale (Kap. 4.1.2) Annahmen der multimodalen Gedächtnistheorie (im weiteren Verlauf als MG bezeichnet) vertiefend betrachtet.

4.1.1 GRUNDKONZEPTION DER MULTIMODALEN GEDÄCHTNISTHEORIE [MG]<sup>45</sup>

Bezogen auf das menschliche Gedächtnis unterstellt die MG im Wesentlichen ein modalitätsspezifisches **Eingangs-** und **Ausgangssystem** sowie ein **konzeptuelles System** (vgl. Abbildung 4.2).

Damit werden Teilsysteme des Gedächtnisses postuliert, „die auf die Verarbeitung spezifischer Informationen spezialisiert sind“ (Engelkamp, 1990, S. 9). D. h. bei der Informationsverarbeitung finden modalitätsspezifische (in den Ein- und Ausgangssystemen) und modalitätsunspezifische (im konzeptuellen System) Prozesse statt (vgl. Engelkamp, 1990, S. 10). Dieser Annahme folgend wird präsupponiert, dass das konzeptuelle System auf Basis von Informationen arbeitet, die die modalitätsspezifischen Systeme zur Verfügung stellen. Der Begriff *multimodal* weist weiter darauf hin, dass „Gedächtnisleistungen auf Informationen verschiedener Modalitäten beruhen und in Abhängigkeit von diesen variieren können“ (Engelkamp, 1990, S. 11).

Bevor nun die Struktur der drei vorgestellten Systeme näher betrachtet werden soll, ist abschließend anzumerken, dass verbale (vgl. Abbildung 4.2, dunkelgraue Schattierungen) und nonverbale (vgl. Abbildung 4.2, hellgraue Schattierungen) Ein- und Ausgangssysteme unterschieden werden.

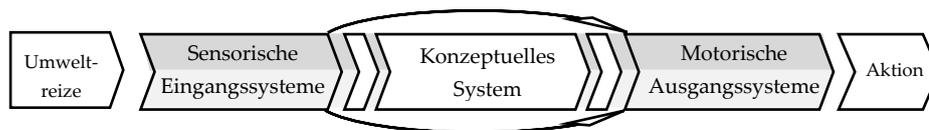


Abbildung 4.2: Modalitätsspezifische (verbal = dunkel; nonverbal = hell) Eingangssysteme sowie das modalitätsunspezifische konzeptuelle System

In Bezug auf die in Abbildung 4.2 aufgeführten Systeme der MG nimmt Engelkamp an, dass das menschliche Gedächtnis aus **sensomotorischem** und **kategorialem Wissen** (vgl. Engelkamp, 1990, S. 56) besteht.

Das *sensorische Wissen* ist in den modalitätsspezifischen Eingangssystemen zu verorten und beschränkt sich auf verbales und nonverbales Wissen, in diesem Fall auf sprachliche (hören und sehen) und nichtsprachliche (Bilder und dynamische Bilder [z. B. Handlungssequenzen]) Informationen (vgl. Engelkamp, 1990, S. 16f). Die Einheit des sensorischen Wissens wird als Marke bezeichnet. Sie repräsentieren alle (modalitätsspezifischen) sensorischen Erfahrungen einer Person. Man könnte das sensorische Wissen auch als erfahrungsbasiertes Wissen bezeichnen, wobei es präsemantisch und damit vom bedeutungs-

<sup>45</sup> Auf eine Darstellung der empirischen Untersuchungen zur Bestätigung der hier vorgestellten strukturellen und prozessualen Grundannahmen muss im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die MG als die am detailliertesten beschriebene Theorie zur Erinnerungsleistung an Handlungsausführung darstellt (vgl. Steffens, 1998, S. 18). Für einen Überblick sei auf Engelkamp (2006), (1997) und (1990) verwiesen.

basierten (kategorialen) Wissen abzugrenzen ist (vgl. Engelkamp, 1990, S. 56f).

*Motorisches Wissen* hingegen ist in den modalitätsspezifischen Ausgangssystemen angesiedelt. Dessen Einheiten werden als Programme bezeichnet (diese Bezeichnung gilt für verbale, z. B. Sprechen, als auch für nonverbale Programme, z. B. Handeln) und beinhaltet alle motorischen Innervationsmuster<sup>46</sup> einer Person (vgl. Engelkamp, 1990, S. 57).

Im modalitätsunspezifischen konzeptuellen System befindet sich das *kategoriale*, also das bedeutungshaltige *Wissen*. Als kleinste Einheit des kategorialen Wissens fungieren Konzepte die, ähnlich wie Propositionen, zusammengefasst werden können und dadurch das "Verstehen" komplexer Sachverhalte ermöglichen. Vereinfacht gesagt, entspricht das konzeptuelle System etwa dem, was traditionell als semantisches Gedächtnis bezeichnet wird (vgl. Engelkamp & Zimmer, 1983, S. 118).<sup>47</sup>

Eine letzte wichtige Annahme bzgl. der Konzepte bezieht sich darauf, dass sensorisch wahrgenommene Informationen oder auch motorische Programme, sofern sie die gleiche Bedeutung aufweisen, auch auf dasselbe Konzept verweisen bzw. dasselbe Konzept aktivieren (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 292; Engelkamp, 1990, S. 57).

Abschließend sei angemerkt, dass Engelkamp in seiner MG nur intentionales Lernen und explizites Erinnern betrachtet, wobei Lernen nur dann möglich ist, wenn das konzeptuelle System zentral bei der Verarbeitung beteiligt ist. Weiter spricht er dem konzeptuellen System die größte Bedeutung beim expliziten Erinnern zu, das jedoch von sensomotorischen Informationen/Prozessen, die im Rahmen der Konzeptaktivierung in der Lernepisode enkodiert wurden, beeinflusst werden kann (vgl. Engelkamp, 1997, S. 58; Engelkamp, 1990, S. 469).

---

<sup>46</sup> Hierunter werden zentral gespeicherte Pläne für selbst ausgeführte Bewegungssequenzen verstanden.

<sup>47</sup> Engelkamp erwähnt zwar unterschiedliche Gedächtnissysteme (z.B. deklarativ/prozedural), vermeidet es jedoch bewusst, sich diesbezüglich festzulegen (vgl. Engelkamp, 1990, S. 49ff).

## 4.1.2 PROZESSANNAHMEN DER MG

Das Erinnern hängt, wie in dem vorangegangenen Kapitel angedeutet, von konzeptuellen und modalitätsspezifischen Enkodierungsprozessen ab.<sup>48</sup> Bevor auf diese Annahme weiter eingegangen werden soll, werden zunächst grundlegende Aktivationsmöglichkeiten und Verbindungen/Prozesse der einzelnen Systeme vorgestellt.

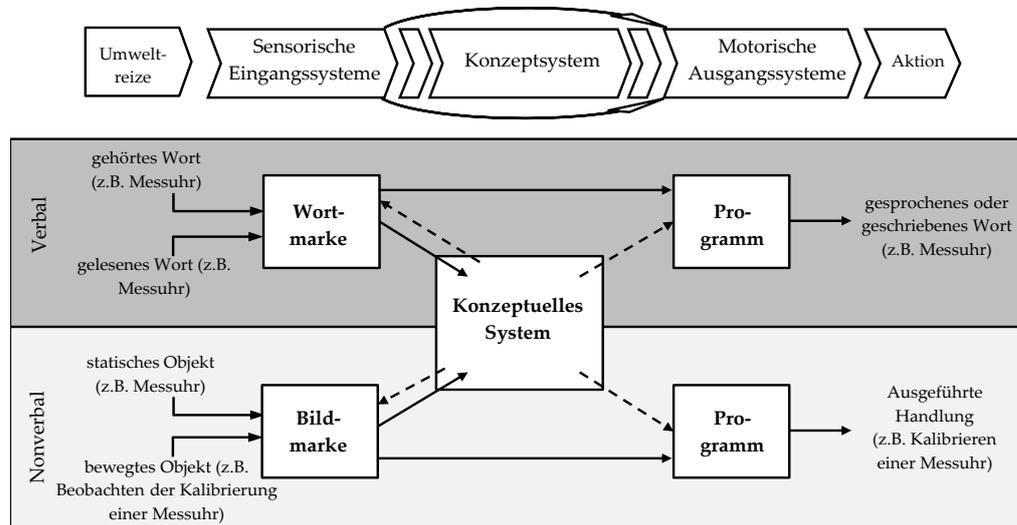


Abbildung 4.3: Struktur- und Prozessannahmen der MG

Anmerkung: Die Linien zwischen den Systemen stellen die Aktivationsmöglichkeiten bzw. den Informationsfluss dar; gestrichelte Linien sind abhängig von der Instruktion; bei durchgezogenen Linien erfolgt automatisch die Aktivierung des verbundenen Systems.

Zur Unterscheidung zwischen der Aktivierung von Marken, als Einheiten der sensorischen Eingangssystemen, und Programmen, als Einheiten der motorischen Ausgangssysteme, ist es wichtig anzumerken, dass Marken zumeist von Außenreizen (verbal oder nonverbal), also bottom-up, Programme zumeist aus dem konzeptionellen System, also top-down aktiviert werden (vgl. Engelkamp, 1990, S. 64; Abbildung 4.3). Für die Aktivierung des verbalen Eingangssystems kann festgehalten werden, dass es durch Reize auditiver (verbaler) oder optischer (symbolischer) Natur erfolgen kann (vgl. Abbildung 4.3, verbales Eingangssystem). Zu ergänzen ist hierbei die Annahme, dass sich die Modalität der Wörter unabhängig von ihrer Reizmodalität (verbal/symbolisch) nicht ändert. Engelkamp nimmt damit an, dass es die gleichen Wörter bleiben, unabhängig ob das Wort gehört oder gelesen wurde. Folglich werden diese auch durch eine gemeinsame Wortmarke repräsentiert bzw. bei verbaler oder symbolischer Reizmodalität dieselbe Wortmarke aktiviert (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 196; Engelkamp, 1990, S. 59f).

<sup>48</sup> Im Rahmen der MG wird angenommen, dass verbale und nonverbale Enkodierungsprozesse (des Eingangs- sowie des Ausgangssystems) auf dieselben Konzepte verweisen bzw. diese aktivieren (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 292).

Eine Aktivierung des nonverbalen Eingangssystems erfolgt durch nonverbale Reize (Bilder bzw. dynamische Bilder (z. B. beobachtete Handlungen)) (vgl. Abbildung 4.3, Eingangssystem (nonverbal)). Die direkten Verbindungen von Eingangs- zum Ausgangssystem (ohne Beteiligung des konzeptuellen System) wird von Engelkamp als *privileged loop* bezeichnet und tritt nur dann auf,

- wenn der Prozess der Informationsverarbeitung nur innerhalb des verbalen oder nonverbalen Systems abläuft (z. B. wenn man aufgefordert wird, eine fremde Sprache direkt nachzusprechen) (vgl. Engelkamp, 1997, S. 160ff) oder
- wenn eine große Reiz-Reaktionskompatibilität vorliegt und die Reaktion hochgeübt bzw. automatisiert ist (z. B. beim lauten Lesen oder aber beim Schreiben von Wörtern) (vgl. Engelkamp, 1990, S. 114) (vgl. Abbildung 4.3; direkte Pfeile von den Eingangs- zu den Ausgangssystemen).<sup>49</sup>

Da in solchen Fällen keine Beteiligung des konzeptuellen Systems vorhanden ist, ist damit auch keine verbesserte Erinnerungsleistung (Lernleistung) zu erwarten. Dies konnte von Engelkamp empirisch fundiert werden (vgl. Engelkamp, 1997, S. 160ff). Eine konzeptvermittelte Handlungsausführung, d. h. das bewusste Erleben von Handlungskonzepten, ist nach Engelkamp immer dann zu erwarten, wenn ein Wechsel zwischen verbalem und nonverbalem System erfolgt (vgl. Abbildung 4.3, z. B. von den Marken des verbalen Eingangssystems über das konzeptuelle System hin zu den motorischen Programmen des nonverbalen Systems).

Neben den direkten Verbindungen zwischen Eingangs- und Ausgangssystemen gibt es noch eine weitere Besonderheit anzumerken. Werden verbale (z. B. durch ein gehörtes oder gelesenes Wort) oder nonverbale (z. B. durch ein Bild) Reize dargeboten, ohne die Aufforderung, dass ein motorisches Programm aktiviert werden soll, wird automatisch das entsprechende Konzept, also die Bedeutung, aktiviert. Diese automatischen Aktivierungsprozesse sind in Abbildung 4.3 als durchgezogene Pfeile dargestellt. Dabei wird angenommen, dass verbale Reize (z. B. Worte) nur auf ihre Konzepte verweisen, d. h. einem Wort nicht nur ein Konzept, sondern eine Klasse von Konzepten zugeordnet werden kann. Man denke z. B. an das Wort „Ball“ oder „Bank“ und die damit assoziierten Konzepte. Nonverbale Reize (z. B. Bilder oder dynami-

<sup>49</sup> Ein weiteres Beispiel für eine direkte, also nicht konzeptvermittelte Informationsverarbeitung im verbalen System kann beim Abschreiben eines Tafelanschriebs gesehen werden. Die lesend wahrgenommenen Informationen werden dabei nicht semantisch interpretiert, sondern veranlassen direkt die Aktivierung des motorischen Schreibprogramms im verbalen System. Nur selten wird in diesem Fall die Bedeutung des Geschriebenen direkt beim Schreiben bewusst. Konzeptvermittelte Handlungsausführung, d.h. das bewusste Erleben von Handlungskonzepten, ist nach Engelkamp immer dann zu erwarten, wenn ein Wechsel zwischen verbalem und nonverbalem System erfolgt (vgl. Engelkamp, 1997, S. 214f).

sche Bilder<sup>50</sup>), so die Annahme, begründen ihr Konzept. Um das eben genannte Beispiel aufzugreifen, repräsentiert das Bild einer Bank z. B. eindeutig eine Sitzgelegenheit oder aber ein Geldinstitut. Diese Unterscheidung spielt für die Erinnerungsleistung von verbalem und nonverbalem Lernmaterial eine zentrale Rolle (vgl. Engelkamp, 1990, S. 469). Die gestrichelten Verbindungen zwischen den einzelnen Systemen sollen verdeutlichen, dass deren Beteiligung bzw. Aktivierung nicht automatisch abläuft, sondern von der vorgegebenen Instruktion und den eingesetzten Lernmaterialien abhängt (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 292; Abbildung 4.3).

---

<sup>50</sup> Diese schließen neben wahrgenommenen Handlungen (eigene oder fremdbeobachtete) z.B. auch wahrgenommene Videosequenzen oder Simulationen mit ein.

Bezogen auf das technische Experiment sollen die eben vorgestellten Prozesse exemplifiziert und dazu ein einzelner Schüler/Schülerin in der Durchführungsphase eines technischen Schülerexperiments, bei einem Demonstrationsexperiment und beim lesenden Bearbeiten des Experiments näher betrachtet werden.

Alle SchülerInnen werden verbal, z. B. in Form eines schriftlich vorliegenden Arbeitsauftrags, aufgefordert ein einseitig eingespanntes Aluminiumprofil mit einer vorgegebenen Kraft zu belasten und die Durchbiegung zu ermitteln. Damit erfolgt zunächst in allen drei Situationen eine vergleichbare verbale Informationsaufnahme.

Im Schülerexperiment folgt nun, unter Beteiligung des konzeptuellen Systems, die Planung und Ausführung der situationsspezifischen motorischen Programme (Handlungen) im nonverbalen Ausgangssystem mit den Instrumenten des Versuchsaufbaus. Zusätzlich werden die ausgeführten Handlungen im sensorischen Eingangssystem durch die Bildmarken wahrgenommen. Im Demonstrationsexperiment können die SchülerInnen keine Handlungen (motorischen Programme) ausführen. Einzig die Beobachtung der ausgeführten Handlungen mit den Instrumenten des Versuchsaufbaus durch einen Demonstrator, oder per Video, werden im nonverbalen sensorischen Eingangssystem, ebenfalls unter Beteiligung des konzeptuellen Systems, durch Bildmarken wahrgenommen.

Für die lesende Bearbeitung soll noch ergänzend angemerkt werden, dass hier eine textuelle Beschreibung der ausgeführten Handlungen mit den Instrumenten des Versuchsaufbaus und den daraus resultierenden Ergebnissen vorliegen muss, da sonst keine lesende Bearbeitung des technischen Experiments möglich wäre. Dadurch ist in diesem Fall neben dem verbalen Eingangssystem (Wortmarken) zwar eine Beteiligung des konzeptuellen Systems vorhanden, jedoch kann eine weitere Beteiligung von Systemen ausgeschlossen werden, da sie nicht instruktionsseitig veranlasst wurde.<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> Darüber, ob sich der Schüler bzw. die Schülerin die lesend nachvollzogenen Handlungen mit den Instrumenten des Versuchsaufbaus vorstellt (visualisiert) und damit Bildmarken bzw. das nonverbale Eingangssystem aktiviert, kann hier keine Aussage getroffen werden.

## 4.2 FORSCHUNGSBEFUNDE ZUM ERINNERN VON SELBST AUSGEFÜHRTEN, BEOBACHTETEN ODER LESEND NACHVOLLZOGENEN HANDLUNGEN IM RAHMEN DER MG

Die bisherigen Ausführungen befassten sich insbesondere mit dem grundlegenden Aufbau (vgl. Kap. 4.1.1) und den Aktivierungsmöglichkeiten der einzelnen Systeme und deren Beteiligung während des Prozesses der Informationsaufnahme und -verarbeitung in Abhängigkeit vom vorgegebenen Lernmaterial bzw. der Instruktion (vgl. Kap. 4.1.2).<sup>52</sup>

Im Folgenden sollen zunächst einleitende Betrachtungen zum expliziten Erinnern im Rahmen der MG geführt werden, um sodann den strukturellen Aufbau der Versuchsanordnungen und die implizierten Prozessannahmen vorzustellen (vgl. Kap. 4.2.1). Abschließende Betrachtungen betreffen ausgewählte Forschungsbefunde der Versuchsanordnungen und die Auswirkungen der Systembeteiligung für den Prozess des expliziten Erinnerns (vgl. Kap. 4.2.2 und 4.2.3).

### 4.2.1 STRUKTURELLER AUFBAU DER VERSUCHSANORDNUNGEN UND DAMIT IMPLIZIERTE PROZESSANNAHMEN

Es wurde bereits angemerkt, dass Engelkamp dem konzeptuellen System die größte Bedeutung beim expliziten Erinnern zuspricht, jedoch sensomotorische Informationen, die im Rahmen der Konzeptaktivierung in der Lernepisode enkodiert wurden, die Erinnerungsleistung beeinflussen können (vgl. Engelkamp, 1997, S. 58). Oder anders formuliert: „Nicht multiple Enkodierung an sich ist wirksam, sondern multiple Enkodierung im Kontext konzeptueller Verarbeitung“ (Engelkamp, 1990, S. 469). Diese Aussage lässt vermuten, dass je mehr Marken und Programme und je stärker diese beim Lernen aktiviert werden, desto höher ist die Aktivierung des konzeptuellen Systems und umso besser ist die zu erwartende Erinnerungsleistung für das entsprechende Konzept (vgl. Steffens, 1998, S. 19).

Allgemein gesprochen beschränkt sich damit das explizite Erinnern nicht auf abstrakte Bedeutung, wie sie das konzeptuelle System bzw. die Konzepte repräsentieren, sondern schließt die sensorischen sowie motorischen Aspekte einer Lernepisode mit ein. Die sensomotorische Information ist von den Spezifika des jeweils zu lernenden Reizes (von der Instruktion) und der Modalität seiner Verarbeitung abhängig (vgl. Engelkamp, 1997, S. 59). Engelkamp spricht in diesem Zusammenhang auch von itemspezifischer Information.

---

<sup>52</sup> In diesem Kapitel wurde exemplarisch das Bearbeiten eines technischen Experiments nach verbaler Instruktion betrachtet. Insbesondere wurde dabei die Durchführungsphase eines Schüler-, Demonstrationsexperiments und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten sowie die nach der MG beteiligten Systeme vorgestellt.

Unter itemspezifischer Information fasst Engelkamp alle Teilrepräsentationen, also alle Bildmarken, Wortmarken, motorischen Programme sowie Konzepte die nur auf dieses Item passen bzw. zutreffen, die während der Lernepisode unter Beteiligung des konzeptuellen Systems mitaktiviert wurden (vgl. Engelkamp, 2000, S. 98; Engelkamp, 1990, S. 112).<sup>53</sup>

Um herauszufinden, welchen Anteil die einzelnen Systeme zum expliziten Erinnern beitragen, führte Engelkamp eine Reihe von Experimenten durch, in denen er insbesondere das Lernen einer Liste von Verb-Objekt-Phrasen unter verbalen (Lesen bzw. Hören von Texten), nonverbalen (Bilder, Beobachtungen von Handlungen sowie das eigene Ausführen von Handlungen) Bedingungen untersuchte (vgl. Abbildung 4.4).

Bevor ausgewählte Forschungsbefunde berichtet werden sollen, sind die Versuchsanordnungen/-instruktionen sowie das zur Erfassung der Erinnerungsleistung eingesetzte Testinstrumentarium vorzustellen.

In den nachfolgenden Untersuchungen werden ausschließlich diejenigen Ergebnisse berichtet, in denen die Erinnerungsleistung mittels freier Reproduktion (free recall) erfasst wurde, da diese, als ein Repräsentant expliziter Erinnerungstests, insbesondere die Nutzung von itemspezifischer Informationen während des Erinnerns fordert (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 264f).<sup>54</sup> In der freien Reproduktion werden die Testpersonen aufgefordert, alle Verb-Objekt-Phrasen der Lernepisode aufzuzählen, an die sie sich noch erinnern. Die Reihenfolge spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Wurde eine Verb-Objekt-Phrase korrekt benannt, so wird diese als richtig und mit einem Punkte bewertet. Das eingesetzte Lernmaterial besteht aus Listen von Verb-Objekt-Phrasen<sup>55</sup> einfacher Handlungen. Exemplarisch ist

den Hut aufsetzen  
die Geige spielen  
das Lasso werfen  
die Jacke anziehen

auf den Stuhl klopfen  
auf den Boden stampfen  
den Sicherheitsgurt anlegen  
aus dem Glas trinken  
in dem Buch blättern  
das Brot schmieren  
die Kerze ausblasen  
das Hemd zusammenlegen  
den Ast absägen  
die Flasche entkorken  
die Wäsche aufhängen  
den Umschlag frankieren  
die Zigarette anzünden  
den Zaun streichen  
die Hose bügeln  
das Pferd reiten  
die Fahne schwenken  
das Orchester dirigieren  
den Regenschirm öffnen  
die Banane schälen  
die Bälle jonglieren  
den Stock durchbrechen

Abbildung 4.4: Verb-Objekt-Phrasen aus Steffens (1998) Experiment 4

<sup>53</sup> Engelkamp unterscheidet zwischen itemspezifischer und relationaler Information. Relationale Information, deren Grundlage Prozesse der Aktivationsausbreitung im semantischen Gedächtnis, wie sie dem semantischen Priming zugrunde liegen, sind, werden im Verlauf der Arbeit nicht betrachtet (vgl. Engelkamp, 2000, S. 91ff). Diese Entscheidung wird durch die Tatsache legitimiert, dass die Erinnerungsleistung im Wesentlichen der itemspezifischen Information und den damit verbundenen Prozessen zugeschrieben wird (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 300f). Als Beispiel für itemspezifische Information für Objekte, Bezeichnungen und Handlungen führt Engelkamp die konzeptuelle Repräsentation des Objekts bzw. der Handlung und die sensorische oder motorische Repräsentation als mögliche Repräsentanten der itemspezifischen Information auf (vgl. Engelkamp, 1990, S. 76f).

<sup>54</sup> Itemspezifische Information ist nach Engelkamp im Rahmen der MG, wie einleitend im Kapitel dargelegt, zentral für das explizite Erinnern bzw. für die Erinnerungsleistung.

<sup>55</sup> Die Bezeichnungen Verb-Objekt-Phrasen und Handlungsphrasen werden synonym verwendet.

in Abbildung 4.4 eine Liste von z. T. körperbezogenen und objektbezogenen Handlungssphrasen aufgeführt. In den Untersuchungen wurden unterschiedlich lange Listen (z. B. 6-60 Handlungssphrasen) eingesetzt.

Zusammengefasst können drei unterschiedliche Untersuchungs- bzw. Versuchsanordnungen identifiziert werden. *Handeln*, *beobachten* und *lesen*. Ihnen allen gemein ist, dass durch einen Versuchsleiter oder eine Tonaufzeichnung, die Testpersonen verbal aufgefordert wurden, die ihnen vorliegenden Listen zu lernen. Des Weiteren erfolgte in allen drei Untersuchungsbedingungen eine verbale Instruktion (z. B. durch ein Tonband oder durch einen Sprecher) der zu lernenden Handlungssphrasen (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 301).

Um einen möglichst nachvollziehbaren Aufbau der Versuchsanordnungen und der darin intendierten Systemaktivierungen bzw. ablaufenden Prozesse erreichen zu können, werden im Folgenden die einzelnen Versuchsanordnungen kurz und anschließend die dadurch initiierten Prozesse in Anlehnung an Abbildung 4.3 vorgestellt.<sup>56</sup>

---

<sup>56</sup> Die ablaufenden Prozesse der Versuchsanordnungen überschneiden sich z.T. mit den Betrachtungen in Kapitel 4.1.2.

In der ersten Versuchsanordnung, im weiteren Verlauf als *handeln* bezeichnet, wurden Testpersonen aufgefordert, die Handlungsphrasen zu lernen und diese direkt im Anschluss entweder mit vorgegebenen Objekten auszuführen oder sich vorzustellen, sie würden diese Handlung mit Objekten ausführen. In beiden Fällen führten die Testpersonen jedoch die Handlungen aus, einmal mit und einmal ohne Objekte.<sup>57</sup> Die dabei angenommene Systembeteiligung bzw. -aktivierung ist in Abbildung 4.5 abgebildet.

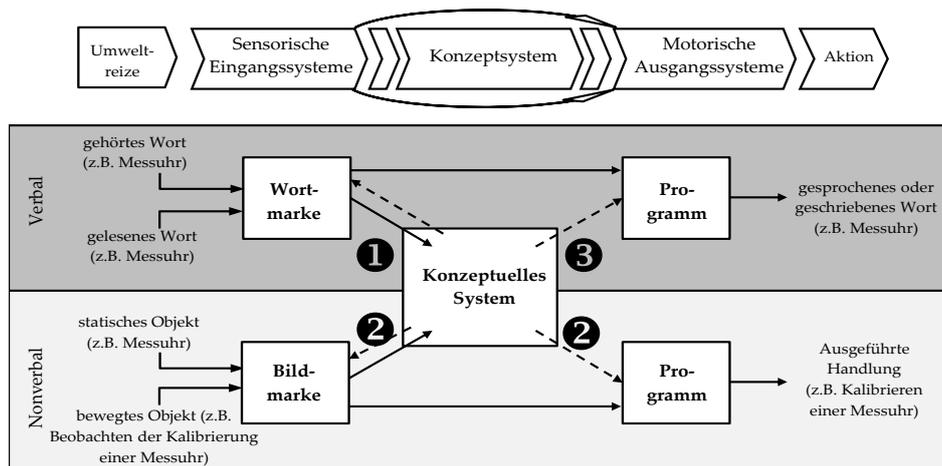


Abbildung 4.5: Beteiligte Prozesse der Versuchsanordnung *handeln* gemäß den Annahmen der MG

Zu ❶: Die verbale Instruktion, z. B. durch eine symbolisch vorliegende Liste der Handlungsphrasen, aktiviert die Wortmarken und dadurch automatisch die entsprechenden Konzepte im konzeptuellen System.

Zu ❷: Durch die Möglichkeit, die Handlungsphrasen gleichzeitig auch ausführen zu können (unabhängig ob mit oder ohne Objekte), werden im konzeptuellen System die entsprechenden Handlungskonzepte aktiviert und durch motorische Programme im nonverbalen Ausgangssystem in Handlungen umgesetzt. Zeitgleich werden die ausgeführten Bewegungen durch dynamische Bildmarken – sofern Objekte beteiligt waren – durch statische Bildmarken im nonverbalen Eingangssystem enkodiert.

Zu ❸: Im abschließenden Test, der freien Reproduktion, werden die Testpersonen aufgefordert, die Handlungsphrasen zu nennen, an die sie sich noch erinnern können. Hier wird zunächst das konzeptuelle System bzw. werden die entsprechenden Konzepte aktiviert, wobei hier gleichzeitig für den Abrufprozess des Erinnerns die sensomotorischen Informationen von den entsprechenden Ein- und Ausgangssystemen herangezogen werden. In diesem Fall stehen der Testperson, neben den Konzepten, zusätzlich Wort-, Bildmarken und motorische Programme als Informationen zum Erinnerungsprozess zur Verfügung.

<sup>57</sup> Diese Maßnahme wurde eingeführt, um den Einfluss der eingesetzten Objekte auf die Erinnerungsleistung kontrollieren und einen direkten Vergleich zu den beiden anderen Versuchsanordnungen (beobachten und lesen) ziehen zu können (vgl. Engelkamp, 1997, S. 76ff).

Testpersonen der zweiten Versuchsanordnung, im Folgenden als *beobachten* bezeichnet, wurden, zusätzlich zur verbalen Instruktion aufgefordert, die Handlungsphrasen bzw. deren Durchführung an einer anderen Person entweder per Video oder aber in Realität zu beobachten (vgl. Abbildung 4.6).<sup>58</sup>

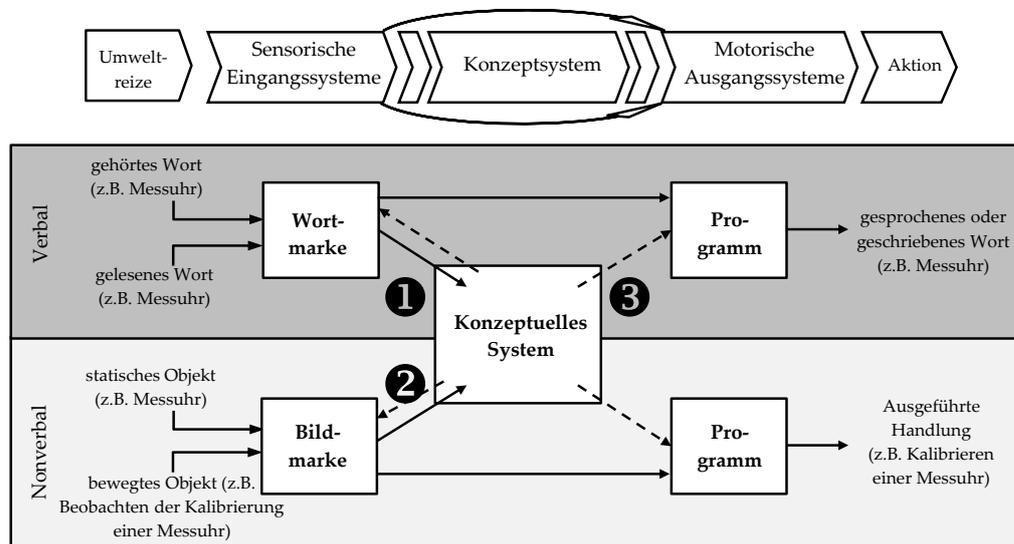


Abbildung 4.6: Beteiligte Prozesse der Versuchsanordnung *beobachten* gemäß den Annahmen der MG

Zu ❶: Auch hier werden, durch die verbale Instruktion, die Wortmarken und damit automatisch die entsprechenden Konzepte im konzeptuellen System aktiviert.

Zu ❷: Bedingt durch die Versuchsanordnung, werden während der Lernepisode bei den Testpersonen durch die Beobachtung der Handlungsausführung zusätzlich Bildmarken im nonverbalen Eingangssystem aktiviert. Im Gegensatz zur Versuchsanordnung *handeln* findet keine Planung von Handlungen und deren Umsetzung durch Aktivierung von motorischen Programmen statt.

Zu ❸: In der freien Reproduktion erfolgt, wie in der vorangegangenen Versuchsanordnung, ebenfalls die Aktivierung des verbalen motorischen Ausgangssystems beim Benennen der Handlungsphrasen. Für die Erinnerung kann, neben den Konzepten, in diesem Falle nur auf die verbalen (gehörte bzw. gelesene Handlungsphrasen) und die nonverbalen (beobachtete Handlungen) Informationen der Eingangssysteme zurückgegriffen werden. Informationen über die aktivierten Programme können, da das nonverbale motorische Ausgangssystem nicht beteiligt war, nicht abgerufen werden.

Die dritte Versuchsanordnung, *lesen* genannt, geht im Wesentlichen nicht über die verbale Aufforderung die Wörter der Listen zu lernen hinaus. Die

<sup>58</sup> Auch hier liegen Forschungsergebnisse vor, in der die Durchführung mit bzw. ohne Objekte im Video bzw. durch einen Versuchsleiter vorgenommen wurde (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 309; Engelkamp, 1997, S. 78ff).

Testpersonen werden aufgefordert, die Liste der Handlungsphrasen entweder lesend oder hörend<sup>59</sup> zu lernen. Es erfolgt keine Instruktion, dass die Testpersonen sich die Handlungen und die daran beteiligten Objekte vorstellen sollen (vgl. Abbildung 4.7).

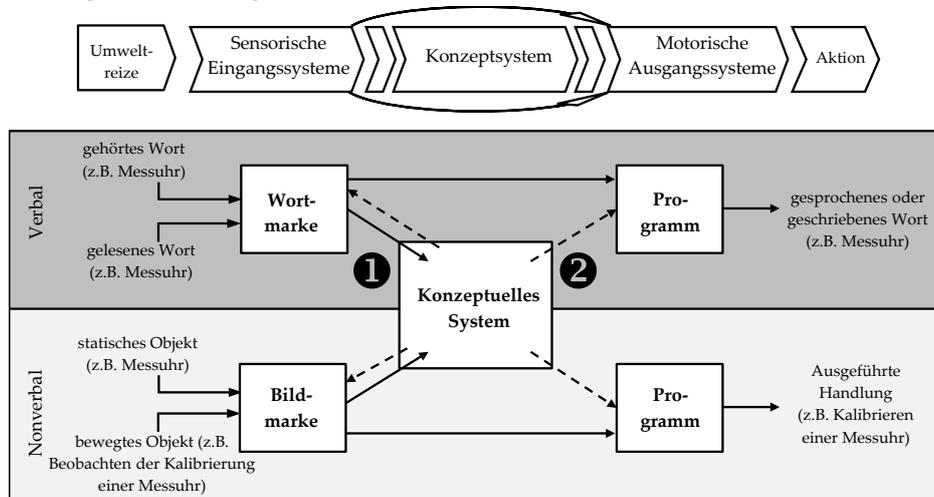


Abbildung 4.7: Beteiligte Prozesse der Versuchsordnung *lesen* gemäß den Annahmen der MG

Zu ❶: Ebenfalls werden durch die verbale Instruktion die Wortmarken im verbalen Eingangssystem und automatisch die entsprechenden Konzepte im konzeptuellen System aktiviert.

Zu ❷: Für das Benennen der erinnerten Handlungsphrasen, in der freien Reproduktion, können Testpersonen dieser Versuchsordnung nur die Informationen des sensorischen verbalen Eingangssystems aktivieren. Es gilt jedoch anzumerken, dass, abhängig vom Vorwissen (insbesondere den sensorischen Erfahrungen) der Testpersonen, diese auch eigenständig Bildmarken im nonverbalen Eingangssystem beim Erinnern aktivieren könnten.

Zusammenfassend lässt sich für die vorgestellten Versuchsordnungen (*lesen*, *beobachten* und *handeln*) festhalten, dass durch die Annahme, dass modalitätsspezifische Informationen der Ein- und Ausgangssysteme, die während der Lernepisode enkodiert wurden, das Erinnern unterschiedlich stark beeinflusst werden kann. Wie eingangs bereits vermutet, liegt es nahe, dass, je mehr Marken und Programme und je stärker diese beim Lernen aktiviert werden, desto höher die Aktivierung des konzeptuellen Systems und umso besser die zu erwartende Erinnerungsleistung für das entsprechende Konzept sein wird (vgl. Steffens, 1998, S. 19). Ob diese Vermutungen auch zutreffen, soll im Folgenden anhand ausgewählter empirischer Befunde betrachtet werden.

<sup>59</sup> Den Testpersonen wurden die Handlungsphrasen von einem Testleiter vorgelesen. Im Rahmen der MG wird angenommen, dass unabhängig von der Reizmodalität (verbal/symbolisch) dieselbe Wortmarke aktiviert wird (vgl. Kap. 4.1.2). Im Folgenden werden Versuchsordnungen in denen Testpersonen aufgefordert wurden die Handlungsphrasen hörend zu lernen auch als *lesen* bezeichnet.

#### 4.2.2 FRÜHE FORSCHUNGSBEFUNDE ZU DEN VERSUCHSANORDNUNGEN LESEN, BEOBSACHTEN UND HANDELN

Engelkamp nimmt, wie andere auch, an, dass Bilder besser erinnert werden als deren bedeutungsgleiche Wörter. Im Gegensatz zu Pavio (1986) oder auch Mayer (2001) werden die Unterschiede in der Erinnerungsleistung von Wörtern und Bildern im Rahmen der MG abweichend erklärt.

Daher sollen nachfolgend Forschungsarbeiten vorgestellt werden, die zwar nicht von Engelkamp selbst durchgeführt wurden, aber die unterschiedliche Beteiligung einzelner Systeme und deren Bedeutung für das explizite Erinnern von Wörtern und Bildern im Rahmen der MG verdeutlichen (vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 295f).

Im Experiment 1 der Studie von Madigan und Lawrence (1980) wurde die Erinnerungsleistung von Wörtern, deren Abbildungen in Form von Strichzeichnungen oder deren Abbildungen in Form von realen Fotos verglichen.<sup>60</sup> Insgesamt wurden 72 Studenten gleichmäßig in drei Versuchsgruppen aufgeteilt, und anschließend wurde das entsprechende Lernmaterial (Wörter, Strichzeichnungen oder Fotos) präsentiert. Als Test wurde ebenfalls die

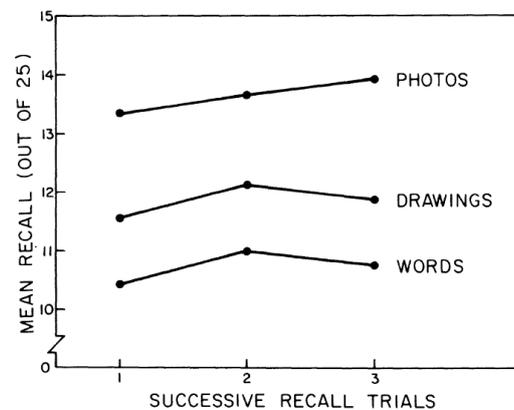


Abbildung 4.8: Mittlere Reproduktionsleistung der Versuchsgruppen (Wörter = words; Strichzeichnungen = drawings; Photographien = photos) in drei aufeinander folgenden Tests

freie Reproduktion eingesetzt. Insgesamt durchliefen alle Testpersonen dreimal dieselbe Instruktion mit anschließender freier Reproduktion (vgl. Abbildung 4.8). Eine Varianzanalyse pro Testzeitpunkt zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Versuchsgruppen ( $M_{words} \approx 10.4$ ;  $M_{drawings} \approx 11.6$ ;  $M_{photos} \approx 13.3$ ) (vgl. Madigan & Lawrence, 1980, S. 493).

<sup>60</sup> Von 25 Objekten wie Schaufel, Lampe oder Uhr wurden pro Versuchsgruppe entweder Wörter, Strichzeichnungen oder Photographien präsentiert (vgl. Madigan & Lawrence, 1980, S. 492).

Eine Replizierung der Ergebnisse von Madigan und Lawrence (1980), und zugleich eine Erweiterung, lieferte die Studie von Gollin und Sharps (1988) (vgl. Gollin & Sharps, 1988, S. 541, Experiment 3). In der Studie wurden 80 Studenten in vier Versuchsgruppen aufgeteilt, in denen sie entweder 40 Wörter, deren Strichzeichnungen, Fotos oder die Objekte selbst lernen sollten. Gollin und Sharps verfolgten, wie Madigan und Lawrence auch, die Hypothese, dass mit steigendem Informationsgehalt<sup>61</sup> die Erinnerungsleistung ebenfalls ansteigt (vgl. Gollin & Sharps, 1988, S. 539). Des Weiteren

nahmen die Autoren an, dass Wörter, Strichzeichnungen, Fotos oder deren Objekte besser erinnert werden, wenn diese einer gemeinsamen Kategorie („Blocked“) angehören als wenn sie zufällig gruppiert („Unblocked“) wurden.

Varianzanalysen mit anschließenden Post-Hoc-Vergleichen zeigten für Studenten der „Unblocked“-Bedingung über alle Versuchsgruppen hinweg (Objekte > Fotos > Strichzeichnungen > Wörter) signifikante Unterschiede, womit die Hypothese für diese Bedingung angenommen werden konnte. In der „Blocked“ Bedingung wurde im Vergleich zu der „Unblocked“-Bedingung zwar mehr erinnert, jedoch konnte die Hypothese nur für den Vergleich von Objekte > Fotos und für Strichzeichnungen > Wörter bestätigt werden.

Mit den beiden Studien von Madigan und Lawrence (1980) sowie Gollin und Sharps (1988) wurden Erinnerungsleistungen an reale Objekte, deren Fotos, Strichzeichnungen und Bezeichnungen (Wörter) vergleichend untersucht. Das eingesetzte Lernmaterial wurde lediglich bezogen auf den Informationsgehalt variiert und war in Bezug auf die Bedeutung identisch. Im Folgenden sollen die festgestellten Unterschiede der Erinnerungsleistung vor dem Hintergrund der multimodalen Gedächtnistheorie [MG] erklärt werden.

Da das eingesetzte Lernmaterial in Bezug auf die Bedeutung vergleichbar war, werden nach der MG auch dieselben Konzepte aktiviert, unabhängig ob nun reale Objekte, Fotos, Strichzeichnungen oder Wörter gelernt werden. Der entscheidende Unterschied liegt in den aktivierten modalitätsspezifischen sensorischen Eingangssystemen. Einzig die gelernten Wörter werden im ver-

	Recall Score	
	<i>M</i>	<i>SD</i>
<b>Objects</b>		
Blocked	28.10	4.38
Unblocked	26.10	3.87
<b>Photos</b>		
Blocked	25.80	3.49
Unblocked	22.80	3.46
<b>Line Drawings</b>		
Blocked	26.70	3.74
Unblocked	20.00	5.09
<b>Printed Names</b>		
Blocked	24.60	6.08
Unblocked	15.20	3.61

Abbildung 4.9: Mittlere Erinnerungsleistung pro Versuchsgruppe der freien Reproduktion des Experiments 3

Anmerkungen: *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung

<sup>61</sup> Wörter haben demzufolge den niedrigsten und reale Objekte den höchsten Informationsgehalt.

balen Eingangssystem enkodiert. In allen anderen Bedingungen werden Bildmarken des nonverbalen Eingangssystems aktiviert. Exakt in diesem Unterschied sieht Engelkamp die Begründung für die größere Erinnerungsleistung von realen Objekten, Fotos und Strichzeichnungen gegenüber Wörtern. Zusammengefasst führt Engelkamp das bessere Behalten von Bildern, im Vergleich zu Wörtern, auf die Bildmarkeninformation zurück, welche im Vergleich zur Wortmarke einen größeren Informationsgehalt aufweist (vgl. Engelkamp, 1990, S. 178; Engelkamp & Zimmer, 2006, S. 295). Eine weitere, jedoch empirisch nicht überprüfbare Begründung für das bessere Erinnern von nonverbalen Erfahrungen generell, nicht nur von Bildern, sieht Engelkamp in der konzeptbegründenden Funktion der nonverbalen sensorischen und motorischen Repräsentationen, im Gegensatz zu der bloßen Verweisfunktion auf Konzepte durch verbal-sensorische Repräsentationen (vgl. Engelkamp, 1990, S. 469).

Bisher präsentierte Forschungsarbeiten hatten ihren Schwerpunkt auf dem Vergleich der Versuchsanordnungen *lesen* und *beobachten* und bezogen sich auf die beteiligten Systeme im Vergleich von verbalen (Wortmarken) und nonverbalen (statische Bildmarken) Eingangssystemen. Die Versuchsbedingung *handeln*, und die damit verbundenen Effekte des nonverbalen motorischen Ausgangssystems auf die Erinnerungsleistung, wurde noch nicht betrachtet. Entsprechend soll im Folgenden eine frühe Studie von Engelkamp und Zimmer (1983) vorgestellt werden, die insbesondere den Vergleich aller drei Versuchsanordnungen (*lesen*, *beobachten* und *handeln*) und den dabei beteiligten Systemen betrachtet.

Engelkamp und Zimmer (1983) untersuchten den Einfluss von Wahrnehmen und Tun auf das Behalten von Verb-Objekt-Phrasen in den bereits vorgestellten Versuchsbedingungen *lesen*, *beobachten* und *handeln*.<sup>62</sup> Insgesamt nahmen 96 Studenten (*lesen*= 16; *beobachten*= 40; *handeln*= 40) teil, die 48 Handlungsphrasen<sup>63</sup> jeweils nach dem Vorlesen entweder selbst ausführen (*handeln*), die Ausführung per Video an einem Modell beobachten (*beobachten*), oder aber einfach nur die vorgelesenen Handlungsphrasen hören konnten (*lesen*).<sup>64</sup> Des Weiteren konnte jeweils die Hälfte der Studenten, in den Bedingungen *beobachten* und *handeln*, die Handlung einmal mit real vorhandenen und einmal ohne Objekte ausführen. In der Versuchsbedingung *lesen* war kein Objekt vorhanden. Am Ende der Lernepisode wurde als Test die freie Reproduktion eingesetzt. Die Auswertung der reproduzierten Handlungsphrasen wurde

---

<sup>62</sup> Engelkamp und Zimmer bezeichnen *lesen* als Kontrollbedingung, *beobachten* als Sehbedingung und *handeln* als Tunbedingung.

<sup>63</sup> Die Handlungsphrasen waren z.B. das Bandmaß herausziehen, die Bausteine aufeinander setzen, die Taste drücken etc.

<sup>64</sup> Die Enkodierung von auditiven und symbolischen Reizen wurde bereits in Kapitel 4.2.1 dargelegt.

dann als korrekt gewertet, wenn entweder Verb und Objekt exakt, wie vorgegeben, wiederholt wurden („korrekt“), z. B. Bausteine aufeinander setzen oder Taste drücken, oder wenn z. T. Synonyme oder Präzisierungen der Handlungsphrasen, wie z. B. Bausteine stapeln oder rote Taste drücken, reproduziert wurden („korrekt + sinngemäß“) (vgl. Engelkamp & Zimmer, 1983, S. 122).

Die Hypothesen der Studie wurden auf Basis theoretischer Annahmen der MG sowie aus frühen empirischen Versuchen von Engelkamp und Krumnacker formuliert, wobei nicht alle Hypothesen vorgestellt werden sollen.

Die Erinnerungsleistung von Verb-Objekt-Phrasen soll in der Versuchsbedingung *handeln* besser sein als bei *beobachten*. Des Weiteren soll die Erinnerungsleistung bei *beobachten* nur geringfügig größer sein als in der Versuchsbedingung *lesen*. Die Erinnerungsleistung soll durch reale Objekte in Versuchsbedingungen *beobachten*

und *handeln* größer sein als ohne Objekte (vgl. Engelkamp & Zimmer, 1983, S. 121).

Abbildung 4.10 zeigt die mittlere Erinnerungsleistung der Versuchsbedingungen unabhängig, ob ein Objekt vorhanden war oder nicht. Entsprechend der Hypothesen

ergab eine Varianzanalyse signifikante Unterschiede zwischen den

Versuchsbedingungen („korrekt“:  $F(2,93) = 11.74$ ,  $p < .001$ ; „korrekt + sinngemäß“:  $F(2,93) = 19.84$ ,  $p < .001$ ). Paarweise gerechnete t-Tests unterstreichen die bessere Erinnerungsleistung der Versuchsbedingung *handeln* und *beobachten* im Vergleich zu *lesen*. Es konnten zwischen den Versuchsbedingungen *handeln* > *lesen*  $t = 5.19$ ,  $p < .001$  („korrekt“) bzw.  $t = 4.49$ ,  $p < .001$  („korrekt + sinngemäß“) sowie *beobachten* > *lesen*  $t = 3.59$ ,  $p < .05$  („korrekt + sinngemäß“) signifikante Unterschiede festgestellt werden. Bezogen auf den Vergleich von „korrekt“ wiedergegebenen Handlungsphrasen wurde das Signifikanzniveau nicht erreicht.

Für den Vergleich der Versuchsbedingung *handeln* und *beobachten* wurde eine statistisch bedeutsame Überlegenheit von selbst ausgeführten gegenüber beobachteten Handlungen varianzanalytisch ermittelt („korrekt“:  $F(1,76) = 6.48$ ,  $p < .001$ ; „korrekt + sinngemäß“:  $F(1,76) = 21.28$ ,  $p < .001$ ). Auch der vermutete

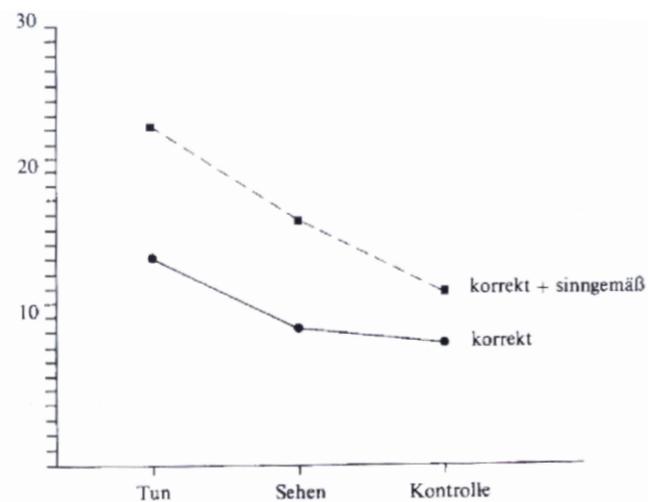


Abbildung 4.10: Mittlere Erinnerungsleistung in den Versuchsbedingungen (*lesen* = Kontrolle; *beobachten* = Sehen; *handeln* = Tun) der Untersuchung von Engelkamp und Zimmer (1983)

Einfluss des real vorhandenen Objektes konnte bestätigt werden (vgl. Engelkamp & Zimmer, 1983, S. 122f).

#### 4.2.3 WEITERE FORSCHUNGSBEFUNDE ZUM VERGLEICH DER VERSUCHSANORDNUNGEN LESEN, BEOBACHTEN UND HANDELN

In der Studie von Engelkamp und Zimmer (1997) wurde anlässlich vorausgegangener Studien (vgl. Kap. 4.2.2) eingehend untersucht, ob sich die Versuchsanordnungen *lesen*, *beobachten* und *handeln* in Bezug auf die Erinnerungsleistung unterscheiden und damit die postulierten Prozessannahmen der MG bestätigt werden können. Das Interesse lag insbesondere im Vergleich der Erinnerungsleistungen der Versuchsanordnungen *beobachten* und *handeln* (vgl. Engelkamp & Zimmer, 1997, S. 49).

Hierzu unternahmen Engelkamp und Zimmer ein Vorhaben, in dem 72 Psychologiestudenten der Universität des Saarlandes entweder eine lange Liste mit 54 Handlungsphrasen oder die gleichen Phrasen aufgeteilt in drei kurze Listen mit jeweils 18 Handlungsphrasen lernten. Die Listen umfassten körperbezogene (body-related) Handlungsphrasen sowie Handlungsphrasen ohne bzw. mit Objekt. Innerhalb dieser zwei Gruppen lernten die Studenten, zusätzlich zu der verbalen Darbietung der Handlungsphrase, diese in einer der Versuchsanordnungen (*lesen*, *beobachten* und *handeln*). Engelkamp und Zimmer merkten an, dass unter „the instruction “listen” [*lesen*], the subject was simply to listen the phrase. The instruction “see” [*beobachten*] required that the subject listens to the phrase and watches the experimenter perform the action. Under the “perform” [*handeln*] instructions, the subject was to listen to the phrase and then to perform the denoted action“ (Engelkamp & Zimmer, 1997, S. 49).<sup>65</sup> Es wurde darauf geachtet, dass die Versuchsanordnungen in beiden Gruppen gleich häufig vorkamen. Als Test wurde ebenfalls die freie Reproduktion der Handlungsphrasen eingesetzt, wobei die Gruppe mit langer Liste erst am Ende und die Gruppe mit den drei kurzen Liste jeweils am Ende einer Liste getestet wurde.

Tabelle 4.1: Prozentuale Erinnerungsleistung der freien Reproduktion (Experiment 1) von Engelkamp & Zimmer (1997)

Anmerkung: VT = verbal task = listen = *lesen*; EPT = experimenter-performed task = see = *beobachten*; SPT =

Type of item	Type of encoding		
	VT	EPT	SPT
<b>Short lists</b>			
Body-related	0.37	0.57	0.62
Object absent	0.35	0.43	0.60
Object present	0.65	0.61	0.78
<b>Long lists</b>			
Body-related	0.17	0.41	0.59
Object absent	0.13	0.27	0.46
Object present	0.36	0.42	0.63

<sup>65</sup> Die Enkodierung von auditiven und symbolischen Reizen wurde bereits in Kapitel 4.2.1 dargelegt.

Den theoretischen Erwartungen entsprechend, erinnerten Studenten, die während der Lernepisode zusätzlich die entsprechenden Handlungen ausführten (*handeln*), am meisten gegenüber Studenten der Versuchsbedingungen *beobachten* oder *lesen* (vgl. Tabelle 4.1). Varianzanalytisch ermittelt, konnte diese Überlegenheit der Gruppe *handeln* versus *beobachten*, unabhängig von der Listenlänge oder der Tatsache, dass ein Objekt vorhanden war oder nicht, festgestellt werden ( $F(1,70) = 53.77, p < .001$ ). Die Anwesenheit eines Objektes erhöhte die Erinnerungsleistung im Vergleich zur Bedingung ohne Objekte signifikant ( $F(1,70) = 45.90, p < .001$ ). Dieser Effekt trat unabhängig von der Listenlänge, jedoch abhängig von den Versuchsbedingungen (*lesen*, *beobachten* und *handeln*) auf. Besonders positiv auf die Erinnerungsleistung wirkte die Anwesenheit eines Objekts in den Versuchsbedingungen *lesen* und *beobachten* bei kurzen Listen (vgl. Tabelle 4.1, graue Markierung).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die eingangs in Kapitel 4.2.1 formulierte Vermutung, je mehr Marken und Programme und je stärker diese beim Lernen aktiviert werden, desto höher die Aktivierung des konzeptuellen Systems und umso besser die zu erwartende Erinnerungsleistung für das entsprechende Konzept sein werden, durch die Ergebnisse der Studie von Engelkamp und Zimmer bestätigt werden konnte (vgl. Engelkamp & Zimmer, 1997, S. 48ff). Die bessere Erinnerungsleistung der Versuchsbedingung *handeln* im Vergleich zu *beobachten* wird der zusätzlichen Aktivierung des nonverbalen motorischen Ausgangssystems (Handlungen) und im Vergleich der Versuchsbedingungen *beobachten* und *lesen* der zusätzlichen Aktivierung des nonverbalen Eingangssystems (Bildmarken) zugeschrieben (vgl. Kap. 4.2.1). Steffens (1998) merkte zu Forschungsarbeiten, die das Erinnern von *lesendem*, *beobachtendem* oder *handelndem* Lernen von Handlungssphrasen untersuchten, kritisch an, dass deren interne Validität, bezogen auf Alltagsituationen (z. B. auch schulische Lernprozesse), kaum oder nur im geringen Maße gegeben ist (vgl. Steffens, 1998, S. 155). Da in „laboratory studies, memory performance is typically compared using lists of unrelated verb-object phrases (e.g., ‘point to the window’, ‘break the match’). In contrast, actions typically carried out consist of related actions, of sequences carried out in order to reach goals“ (Steffens, 2007, S. 1194). Diese Kritik aufgreifend unternahm Steffens (2007) eigene Forschungsbemühungen, in denen sie die Erinnerungsleistung von zielgerichteten Handlungssequenzen, welche im Sinne der Handlungsregulationstheorie<sup>66</sup> hierarchisch-sequentiell strukturiert sind und bei denen das Handlungsziel der Gesamthandlung durch viele verbundene Teilhandlungen bzw. -ziele zusammengesetzt ist, untersuchte. Die Ergebnisse der Studie sollen im Folgenden näher berichtet werden.

---

<sup>66</sup> Vgl. Hacker (2005).

In einer experimentellen Versuchsumgebung wurden in zwei Experimenten insgesamt 120 Studenten aufgefordert (jeweils 60 pro Experiment), entweder einen Rucksack zu packen oder Tonerde/Lehm herzustellen. Die Leistungsmessung beinhaltet dabei zwei Arten der freien Reproduktion. Entweder wurden die erinnerten Objekte, die in die Handlung involviert waren (object recall), oder die Handlungen selbst (free recall) erfasst. Abweichend zu den bisher berichteten Ergebnissen mussten die Studenten in beiden Experimenten die erinnerten Objekte bzw. Handlungen aufschreiben und nicht benennen. Die zu lernenden Handlungen umfassten im ersten Experiment 25 Handlungssequenzen mit dem Handlungsziel, einen Rucksack zu packen (z. B. das Taschenmesser in schmale die Seitentasche packen) und im zweiten Experiment 68 Handlungssequenzen mit dem Ziel, Tonerde/Lehm herzustellen (z. B. alle notwendige Utensilien beschaffen) (vgl. Steffens, 2007, S. 1195f). In beiden Experimenten waren in allen Untersuchungsbedingungen (*handeln*, *beobachten* und *lesen*) die benötigten Objekte (z. B. Rucksack, Messer, Salz, Schüssel) vorhanden und sichtbar. Die Instruktion erfolgte durch ein Tonband, das die Studenten in den jeweiligen Versuchsbedingungen aufforderte, die gehörten Handlungen so gut wie möglich selbst auszuführen (*handeln*), die Handlungsausführung am Versuchsleiter genau zu beobachten (*beobachten*), oder einfach den vorgelesenen Handlungen gut zuzuhören und zu lernen (*lesen*). Entsprechend der Hypothese, dass die Erinnerungsleistung in den Versuchsbedingungen *handeln* und *beobachten* dem *lesen* überlegen seien, wurde diese für beide Experimente varianzanalytisch geprüft.

„Post hoc tests showed that enactment and observing did not differ, and each resulted in superior to recall after verbal learning“ (Steffens, 2007, S. 1196). Folglich unterscheiden sich die Erinnerungsleistungen für zielgerichtete Handlungssequenzen zwischen den Versuchsbedingungen *handeln* und *beobachten*

nicht, sind aber – auch wenn nicht signifikant – der Versuchsbedingung *lesen* überlegen (vgl. Abbildung 4.11).

Positiv ist hervorzuheben, dass durch die Studie von Steffens ein erster Schritt zur Erhöhung der internen Validität von Forschungsarbeiten, die das Erin-

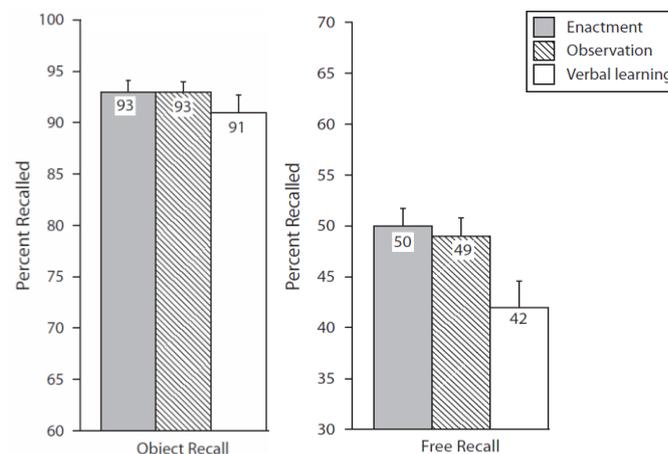


Abbildung 4.11: Prozentuale Erinnerungsleistung der freien Reproduktion von Objekten (Experiment 1: links) und Handlungen (Experiment 2: rechts) in den Versuchsbedingungen (enactment = *handeln*; observing = *beobachten*; verbal learning = *lesen*) der Studie von Steffens (2007)

nern von *lesendem*, *beobachtetem* oder *handelndem* Lernen von Handlungsphrasen untersuchen, gemacht wurde und sich damit der Abbildung alltäglicher Erinnerungs-/Lernprozessen, z. B. auch bei der Bearbeitung von technischen Experimenten, angenähert wurde. Des Weiteren wurde aufgezeigt, dass die bisherigen Ergebnisse, z. B. Engelkamp und Zimmer (1983) sowie (1997), zum Erinnern von einfachen Verb-Objekt-Phrasen nicht ohne weiteres für zielgerichtete Handlungssequenzen gelten können. Entsprechend merkt Steffens an, dass „no study has found such a difference with action sequences“ und schlussfolgert, dass es bisher keinen Nachweis für die Vermutung gibt, dass bei komplexen zielgerichteten Handlungssequenzen selbst ausgeführte Handlungen effizienter wären als deren Beobachtung (Steffens, 2007, S. 1198). Kritisch anzumerken gilt, dass die Experimente von Steffens nur in der Lage waren, starke Effekte von  $f = .4$  mit einer Power von  $1 - \beta = .8$  und einer Fehlerwahrscheinlichkeit von  $\alpha = .05$ , statistisch abzusichern und diese Absicherung für geringere Effektstärken folglich noch aussteht.

#### 4.3 ZUSAMMENFASSUNG ZUM KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHEN ERKLÄRUNGSANSATZ

Mit der multimodalen Gedächtnistheorie [MG] von Engelkamp wurde ein kognitionspsychologischer Erklärungsansatz vorgestellt, der es aufgrund seiner modalitätsspezifischen Ein- und Ausgangssysteme erlaubt, neben Texten und Bildern auch ausgeführte Handlungen und deren Bedeutung für die Erinnerungsleistung strukturell zu berücksichtigen. Dem konzeptuellen System, das für das Verstehen von komplexen Sachverhalten verantwortlich ist und vereinfacht als semantisches Gedächtnis bezeichnet werden kann, schreibt Engelkamp beim Erinnern die größte Bedeutung zu, die jedoch von der Beteiligung der Ein- und Ausgangssysteme weiter verbessert werden kann. Dieser Effekt wird der itemspezifischen Information zugeschrieben.

Allerdings ist im Rahmen der MG nur dann mit einem Zuwachs der Erinnerungsleistung zu rechnen, wenn das konzeptuelle System während der Lernepisode beteiligt ist. Des Weiteren hängt die Aktivierung der Ein- und Ausgangssysteme während der Lernepisode von der Instruktion und dem gegebenen Lernmaterial ab.

Im Fokus der MG steht das Erinnern von gelesenen, beobachteten und selbst ausgeführten Handlungen. Nach Engelkamp ist die Erinnerungsleistung von selbst ausgeführten Handlungen im Vergleich zu den zwei anderen Bedingungen am größten. Dieser Effekt wird im Rahmen der MG dadurch begründet, dass neben der Aktivierung des verbalen und nonverbalen Eingangssystems (Wortmarken, statische/dynamische Bildmarken) eine zusätzliche Beteiligung motorischer Prozesse (Handlungen) während der Lernepisode erfolgt. Beobachtete oder gelesene Handlungssphrasen werden schlechter erinnert, da in der zuerst genannten Bedingung kein motorisches Ausgangssystem, sondern nur die Eingangssysteme (verbal und nonverbal) und in der zuletzt genannten nur das verbale Eingangssystem beteiligt waren.

Diese Hypothese konnte von Engelkamp empirisch fundiert werden. So konnte in Bezug zu den Versuchsanordnungen *lesen*, *beobachten* und *handeln* von Verb-Objekt-Phrasen (z. B. „das Fenster schließen“) im Vergleich eine statistisch überzufällig höhere Erinnerungsleistung festgestellt werden, wenn diese während der Lernepisode selbst ausgeführt (*handeln*) als wenn sie beobachtet (*beobachten*) oder gelesen bzw. gehört (*lesen*) wurden. Eine Erweiterung der Forschungsarbeiten, die das Erinnern von *lesendem*, *beobachtetem* oder *handelndem* Lernen von Handlungssphrasen untersuchen, wurde von Steffens (2007) unternommen, die die Erinnerungsleistung von zielgerichteten komplexen Handlungssequenzen untersuchte. Auch hier konnte die Überlegenheit der Versuchsbedingungen *handeln* und *beobachten* gegenüber *lesen*, wenn auch nicht signifikant, festgestellt werden, wobei sich die Versuchsbe-

dingungen *handeln* und *beobachten* kaum in der Erinnerungsleistung unterschieden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die an der Lernepisode beteiligten modalitätsspezifischen Ein- und Ausgangssysteme für das Erinnern hohe Bedeutung besitzen.

Ob die beobachteten Unterschiede in der Erinnerungsleistung von selbst ausgeführten, an einem Demonstrator beobachteten, oder lesend nachvollzogenen Handlungen und deren Handlungsergebnissen auch im Rahmen von schulischen Lernprozessen, wie z. B. der Bearbeitung eines technischen Experiments, ebenfalls festgestellt werden können, wurde empirisch noch nicht untersucht.

---

## 5 ZUSAMMENFASSUNG BISHERIGER BETRACHTUNGEN UND ABLEITUNG ZENTRALER BEGRIFFE

---

In den nachfolgenden Kapiteln werden zentrale Begriffe und Erkenntnisse aus den theoretischen Betrachtungen und den damit verbundenen Forschungsarbeiten zusammengetragen. Kapitel 5.1 geht zunächst den Fragen nach, unter welchen Bedingungen Schüler-, Demonstrationsexperimente und das lesende Bearbeiten von Experimenten verglichen werden können und welchen Beitrag die System- und Prozessannahmen der MG für den Wissenserwerb bei der Bearbeitung von technischen Experimenten leisten können. Abschließend wird der Zusammenhang zwischen der Bearbeitung von technischen Experimenten und dem Wissenserwerb betrachtet. Des Weiteren wird die Operationalisierung der Wissensarten, die für die Bearbeitung von technischen Experimenten als zentral erachtet werden, vorgenommen, um daraus begründete Hypothesen für die eigene Arbeit ableiten zu können (vgl. Kap. 5.2).

### 5.1 ZUM ZUSAMMENHANG VON SELBST AUSGEFÜHRTEN HANDLUNGEN UND DER DURCHFÜHRUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN

Damit ein Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten auf struktureller und kognitiver Ebene möglich wird, werden zunächst Ursachen für eine mangelnde Vergleichbarkeit auf struktureller Ebene betrachtet und daraus Verbesserungen erarbeitet (vgl. Kap. 5.1.1). Anschließend werden die System- und Prozessannahmen der MG in kognitiver Sicht auf die Durchführungsphase des Schüler-, Demonstrationsexperiments und das lesende Bearbeiten von Experimenten übertragen (vgl. Kap. 5.1.2).

### 5.1.1 STRUKTURELLE RESTRIKTIONEN FÜR DEN VERGLEICH VON SCHÜLER-, DEMONSTRATIONSEXPERIMENT UND DEM LESENDEN BEARBEITEN VON EXPERIMENTEN

Die von Fischer et al. (2003) als diffus bezeichnete Lage zum Forschungsstand des Vergleichs von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und des lesenden Bearbeiten von Experimenten konnte auch in den betrachteten Forschungsarbeiten in Kapitel 3.3 wiedergefunden werden. Ursachen für eine Konfundierung und damit für eine mangelnde Vergleichbarkeit der Forschungsarbeiten wurden z. T. in Kapitel 3.3.1.1 erörtert. Diese Ursachen sollen im Folgenden zusammenfassend dargestellt werden, um für die Ergebnisse dieser Arbeit eine hohe Vergleichbarkeit erreichen zu können und Möglichkeiten einer Konfundierung zu vermeiden.

Erste Hinweise für die heterogene Ergebnislage der berichteten Forschungsarbeiten können in der Anlage der Untersuchungen gesehen werden, da in den Schüler-, Demonstrationsexperimenten und beim lesenden Bearbeiten

- nur z. T. ein Vor-Nachtest-Design zum Einsatz kam,
- der Umfang (Anzahl der Experimente), Inhalt, Komplexität und Ziele der Experimente und hiermit auch der unterrichtliche Zeitumfang sehr stark variierte,
- die Bearbeitung der Experimente in unterschiedlichen Gruppengrößen erfolgte, was einen Vergleich durch die unterschiedlichen gruppendynamischen sowie kooperativen Lernprozesse erschwert,
- neben selbstgesteuerten auch fremdgesteuerte Anteile enthalten waren,
- unklar ist, ob und wenn ja, welche Phasen des Experiments von den SchülerInnen durchlaufen wurden,
- nicht einheitliche Lernunterlagen<sup>67</sup> (Experimentier- und Informationsunterlagen) sowie
- unterschiedliche Lehrpersonen zum Einsatz kamen.

Aus den aufgeführten Kritikpunkten folgt, will man die Vergleichbarkeit von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten erhöhen, dass

- die Experimente inhaltlich die gleichen Ziele verfolgen sowie der Zeitumfang gleich gehalten oder zumindest erfasst wird,
- SchülerInnen das Experiment jeweils in der gleichen Sozialform (Einzelarbeit, Kleinstgruppen, etc.) selbstständig ohne Einfluss einer Lehrperson bearbeiten,

---

<sup>67</sup> In den betrachteten Forschungsarbeiten wurden innerhalb einer Untersuchung z.T. unterschiedliche Lernunterlagen zwischen Schüler-, Demonstrationsexperiment und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten eingesetzt, was den Vergleich der Arbeiten weiter einschränkt.

- in Schüler-, Demonstrationsexperiment oder beim lesenden Bearbeiten des Experiments alle Phasen des Experiments durchlaufen werden und
- die gleichen Experimentierunterlagen sowie weitere Informationsmaterialien zum Einsatz kommen.

Berücksichtigt man die eben eingeführten strukturellen Rahmenbedingungen, so erhöht sich zwar die Vergleichbarkeit, jedoch bleibt die Frage offen, worin sich Schüler-, Demonstrationsexperimente und das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten unterscheiden.

Zur Beantwortung dieser Frage kann die Phasenstruktur des technischen Experiments herangezogen werden (vgl. Kap. 2.1.5).

In Anlehnung an Schmayl (1982) kann das technische Experiment in die Phasen Versuchsvorbereitung, -durchführung und -auswertung gegliedert werden. Erste und letzte Phase besitzen eher kognitive, die Versuchsdurchführung eher praktische Akzentuierungen.

Nach Durchsicht einschlägiger Literatur wurden, für diese Arbeit, die drei Phasen nochmals untergliedert. Dabei wurden die Informations- und Planungsphase der Versuchsvorbereitung, die Durchführungsphase der Versuchsdurchführung und die Aus- und Bewertungsphase der Versuchsauswertung zugeordnet.

Die oben genannten strukturellen Restriktionen beachtend, fallen die Versuchsvorbereitung und die -auswertung zwischen Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten vergleichbar aus, womit man, dieser Argumentation folgend, zum Entschluss kommt, dass in der Durchführungsphase die entscheidenden Unterschiede liegen. Daher soll im Folgenden die Durchführungsphase näher betrachtet werden.

Die Durchführungsphase bietet SchülerInnen in Schülerexperimenten die Möglichkeit, mit dem Versuchsaufbau selbst handelnd zu interagieren und die (Handlungs-)Ergebnisse selbst zu erzeugen, wohingegen diese in Demonstrationsexperimenten nur beobachtet werden können. Das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten bietet weder die Möglichkeit, mit dem Versuchsaufbau selbst handelnd zu interagieren noch die Versuchsdurchführung zu beobachten. Sie ist dadurch geprägt, dass SchülerInnen die Versuchsdurchführung und die daraus erzeugten Ergebnisse lesend nachvollziehen.

Nachdem auf struktureller Ebene Maßnahmen für Vergleichbarkeit von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten dargestellt wurde, soll dies nachstehend auf kognitiver Ebene erfolgen.

### 5.1.2 ZUSAMMENFÜHRENDE BETRACHTUNGEN DES KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHEN ERKLÄRUNGSANSATZES UND DER DURCHFÜHRUNG VON SCHÜLER-, DEMONSTRATIONSEXPERIMENTEN UND DES LESENDEN BEARBEITENS VON EXPERIMENTEN

Der in der Literatur (vgl. Kap. 2.2) und in Befragung von LehrerInnen (vgl. Kap. 3.2) artikulierten Behauptung, Schülerexperimente seien lernwirksamer als Demonstrationsexperimente und das lesende Bearbeiten von Experimenten, muss entgegengehalten werden, dass bisherige Forschungsarbeiten (vgl. Kap. 3.4) zwar Unterschiede feststellen konnten, diese aber nicht aus kognitionspsychologischen Modellen abgeleitet oder begründet wurden. Dies bedeutet, dass in vielen Forschungsarbeiten theoretisch abgeleitete und begründete Hypothesen entweder fehlten oder auf kognitionspsychologischen Erklärungsmodellen beruhten, aus denen keine plausible Vorhersage über den Zusammenhang von erworbenem Wissen und dem Bearbeiten von technischen Experimenten hätte abgeleitet werden können. Diesem Defizit soll in dieser Arbeit durch die Integration der multimodalen Gedächnistheorie [MG], als kognitiven Erklärungsansatz für die Bearbeitung von technischen Experimenten, begegnet werden.

Mit der Betrachtung der empirischen Forschungsbefunde zur MG konnte gezeigt werden, dass es kognitionspsychologisch nicht dasselbe ist, ob man ein Wort nur wahrnimmt (z. B. hört oder liest), ob man sich zusätzlich vorstellt, es auszusprechen, oder es tatsächlich ausspricht. Analoges gilt für die Unterscheidung, ob man eine Handlung<sup>68</sup> beobachtet, sich nur vorstellt, diese Handlung auszuführen, oder ob man die Handlung wirklich selbst ausführt (vgl. Kap. 4.1). Entsprechend ist zu betonen, dass selbst ausgeführte, gegenüber beobachteten (bzw. vorgestellten) oder gelesenen Handlungen, am besten erinnert werden (vgl. Kap. 4.2).

Um den Zusammenhang zwischen den Unterschieden in der Durchführungsphase von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und beim lesenden Bearbeiten von Experimenten und den Annahmen der MG herstellen zu können, wird der Begriff der **Handlungsmöglichkeiten** herangezogen (vgl. Kap. 2.1.7).

In einem ersten Schritt werden hierfür die unterschiedlichen Durchführungsphasen der bereits aus Kapitel 2.1.7 bekannten Handlungsmöglichkeiten von

---

<sup>68</sup> Unter einer Handlung werden im Rahmen dieser Arbeit in Anlehnung an Aebli (2001) Bereiche des Tuns mit hohem Grad der Bewusstheit und der Zielgeleitetheit bezeichnet. Die Realisierung eines Handlungsablaufs erfordert viele Teilhandlungen, wobei jede dieser Teilhandlungen ihre Mittel bzw. Elemente besitzt und als Ziel das Stiften von Beziehungen hat. Des Weiteren ist der Anteil von Automatismen beim Handeln gering. Sie treten erst auf der untersten Stufe der Realisierung der Handlung auf (vgl. Aebli, 2001, S. 20).

Schüler-, Demonstrationsexperiment und des lesenden Bearbeitens von Experimenten auf der Abszisse abgetragen (vgl. Abbildung 5.1, Abszisse).

Anschließend erfolgt aus kognitionspsychologischer Sicht die Einteilung der Handlungsmöglichkeiten in Anlehnung an die Versuchsbedingungen der Forschungsarbeiten zur MG und wird nach der Höhe der itemspezifischen Information<sup>69</sup> der jeweiligen Versuchsanordnung vorgenommen. Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4.2 ist diese in der Versuchsanordnung *handeln* am höchsten, da dort neben dem konzeptuellen System auch Informationen der Eingangssysteme (verbal/nonverbal) und motorischen Ausgangssysteme für den Erinnerungsvorgang zur Verfügung stehen. Bei der Versuchsanordnung *lesen* ist diese am geringsten, da hier neben dem konzeptuellen System nur noch Informationen aus dem verbalen Eingangssystem genutzt werden können. Dieser Zusammenhang der drei Handlungsmöglichkeiten (*lesen*, *beobachten* und *handeln*) ist nachfolgend abgebildet (vgl. Abbildung 5.1; Ordinate).

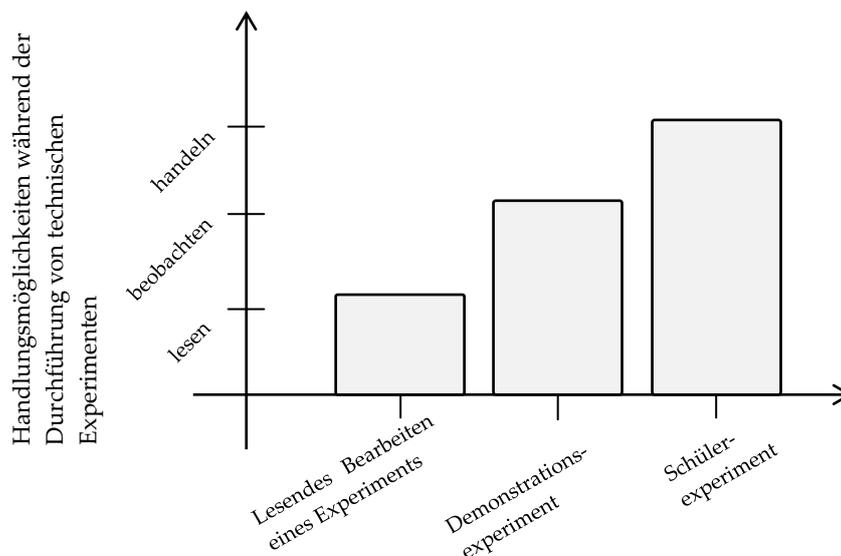


Abbildung 5.1: Zusammenhang von Schüler- und Demonstrationsexperimenten sowie des lesenden Bearbeitens von Experimenten und den Handlungsmöglichkeiten im Rahmen der MG

Diese Zuordnung erlaubt es, die Unterschiede der Durchführungsphasen abzubilden sowie kognitionspsychologisch begründete Annahmen über die Lernwirksamkeit bzw. den Wissenserwerb zu deduzieren. Die weiteren Betrachtungen sollen im Folgenden mit Hilfe der bereits aus Kapitel 4.1.2 vorgestellten System- und Prozessannahmen der MG erfolgen.

Wie bereits gegen Ende des Kapitels 5.1.1 verkürzt dargestellt, können SchülerInnen in Schülerexperimenten direkt mit dem Experimentieraufbau intera-

<sup>69</sup> Vgl. Fußnote 53 und 54.

gieren und diejenigen Handlungen selbst ausführen, aus denen die Ergebnisse gewonnen werden. Oder anders gesagt, sie können die Ergebnisgewinnung durch ihre selbst geplanten und anschließend ausgeführten Handlungen selbst beeinflussen.

Zusammenfassend ist die Möglichkeit, **Handlungen** am Experimentieraufbau und damit auch **(Handlungs-)Ergebnisse selbst ausführen bzw. erzeugen** zu können, kennzeichnend für das **Schülerexperiment**.

Will man die Zuordnung des Schülerexperiments zu der höchsten Stufe der Handlungsmöglichkeiten begründen, kann dies, bezogen auf die itemspezifische Information und die damit verbundene Systembeteiligung der MG, leicht vorgenommen werden (vgl. Abbildung 5.2).

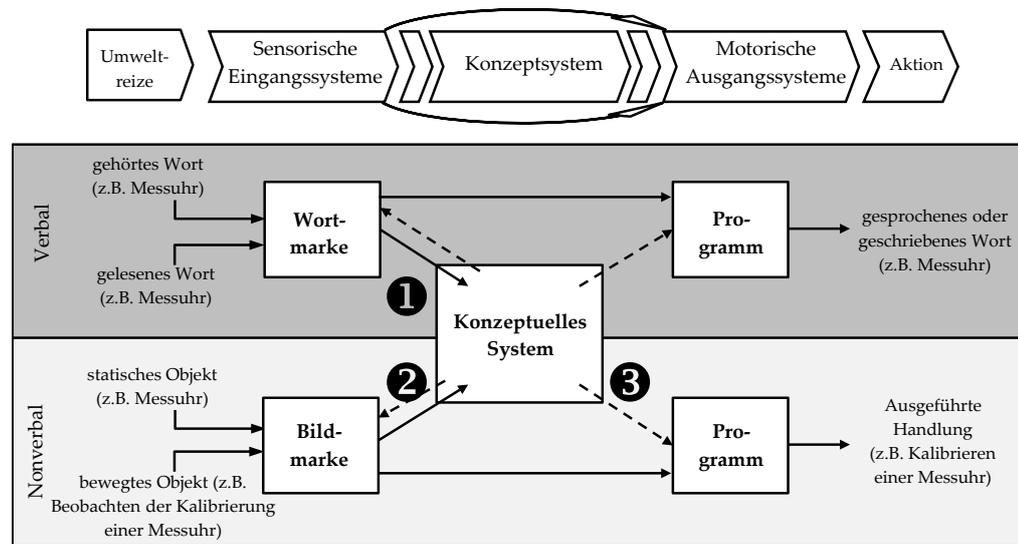


Abbildung 5.2: Beteiligte Systeme der MG in der Durchführungsphase von Schülerexperimenten

Zu ❶: Durch Lesen der Versuchsunterlagen während der Durchführungsphase, z. B. in Form einer symbolisch vorliegenden Beschreibung der Problemsituation, werden die Wortmarken und dadurch automatisch die entsprechenden Konzepte im konzeptuellen System aktiviert.

Zu ❷: Zusätzlich werden durch Abbildungen in den Versuchsunterlagen statische Bildmarken aktiviert, die wiederum automatisch die entsprechenden Konzepte aktivieren. Die ausgeführten Handlungen (vgl. ❸) mit dem Versuchsaufbau und die daraus resultierenden Ergebnisse werden im sensorischen Eingangssystem durch dynamische Bildmarken wahrgenommen. Auch hier erfolgt ebenfalls die entsprechende Konzeptaktivierung automatisch.

Zu ❸: Des Weiteren wird unter Beteiligung des konzeptuellen Systems die Planung und Ausführung der situationsspezifischen motorischen Programme (Handlungen) im nonverbalen Ausgangssystem mit den Instrumenten des Versuchsaufbaus vorgenommen.

Den SchülerInnen stehen nach der Durchführungsphase des Schülerexperiments, neben den Konzepten, Wort- und Bildmarken (statisch/dynamisch),

zusätzlich motorische Programme als Informationen für den Erinnerungsprozess zur Verfügung, und die itemspezifische Information ist damit am höchsten.

In **Demonstrationsexperimenten** werden SchülerInnen konfrontiert, sich die **Handlungen** und die **(Handlungs-)Ergebnisse** rein aus der **Beobachtung**, z. B. eines Videos oder einer Person, das bzw. die Durchführung des Experiments zeigt, anzueignen. Die SchülerInnen haben damit keinen direkten Einfluss auf die Generierung der Ergebnisse und können nicht handelnd an der Durchführungsphase des Experiments partizipieren, sondern müssen die Handlungen und Ergebnisse aus der Beobachtung nachvollziehen.

Auch hier soll die Zuordnung des Demonstrationsexperiments zu der mittleren Stufe der Handlungsmöglichkeiten durch Systembeteiligung der MG und die daraus resultierende Höhe der itemspezifischen Information vorgenommen werden (vgl. Abbildung 5.3).

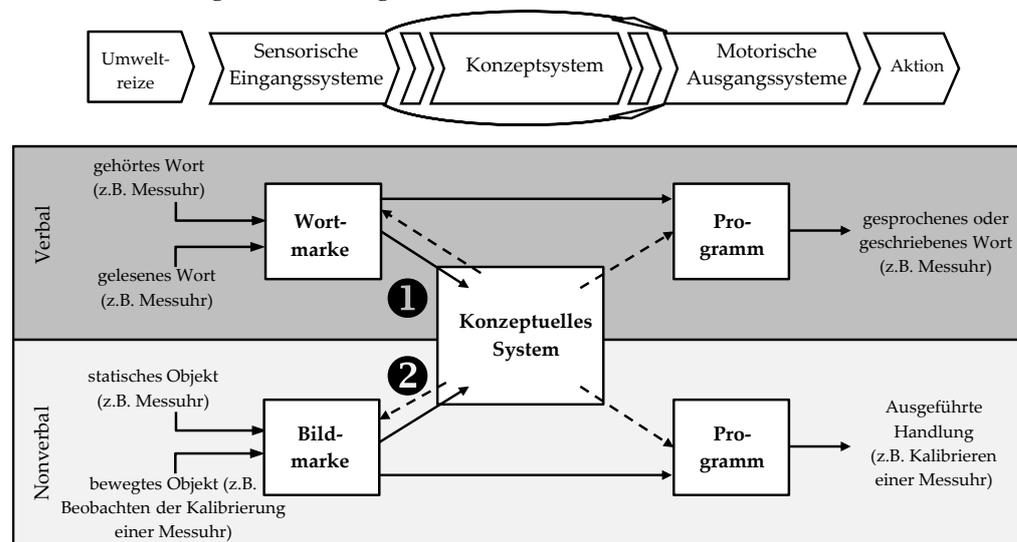


Abbildung 5.3: Beteiligte Systeme der MG bei der Bearbeitung von Demonstrationsexperimenten

Zu ❶: Analog zum Schülerexperiment werden auch im Demonstrationsexperiment durch Lesen der Versuchsunterlagen während der Durchführungsphase, z. B. in Form einer symbolisch vorliegenden Beschreibung der Problemsituation, die Wortmarken und dadurch automatisch die entsprechenden Konzepte im konzeptuellen System aktiviert.

Zu ❷: SchülerInnen können im Demonstrationsexperiment keine Handlungen (motorischen Programme) ausführen und sind somit gefordert, durch die Beobachtung der ausgeführten Handlungen mit den Instrumenten des Versuchsaufbaus, durch einen Demonstrator oder per Video, die Bearbeitung des technischen Experiments nachzuvollziehen, wodurch zusätzlich zum konzeptuellen System dynamische Bildmarken im nonverbalen Eingangssystem aktiviert werden. Wiederum können statische Bildmarken durch Abbildungen

in den Versuchsunterlagen automatisch die entsprechenden Konzepte aktivieren.

Im Gegensatz zum Schülerexperiment findet keine Planung von Handlungen und deren Umsetzung durch Aktivierung von motorischen Programmen statt, wodurch den SchülerInnen nach der Durchführungsphase des Demonstrationsexperiments, neben den Konzepten und Wortmarken, nur noch die Bildmarken (statisch/dynamisch) als Informationen für den Erinnerungsprozess zur Verfügung stehen und die Höhe der itemspezifischen Information damit als mittel einzustufen ist.

Die **lesende Bearbeitung** eines Experiments besitzt von allen drei Bearbeitungsmöglichkeiten eines Experiments die geringste Möglichkeit für die SchülerInnen, **Handlungen** am Experimentiersystem **selbst ausführen** zu können und damit auch die **(Handlungs-)Ergebnisse** zu generieren.

Im Gegensatz zum Schüler- oder Demonstrationsexperiment können sie weder Handlungen am Experimentieraufbau selbst ausführen noch diese beobachten, sondern müssen sich den Experimentieraufbau, die daran ausgeführten Handlungen und die gewonnenen Ergebnisse lesend aneignen bzw. nachvollziehen (vgl. Abbildung 5.4).

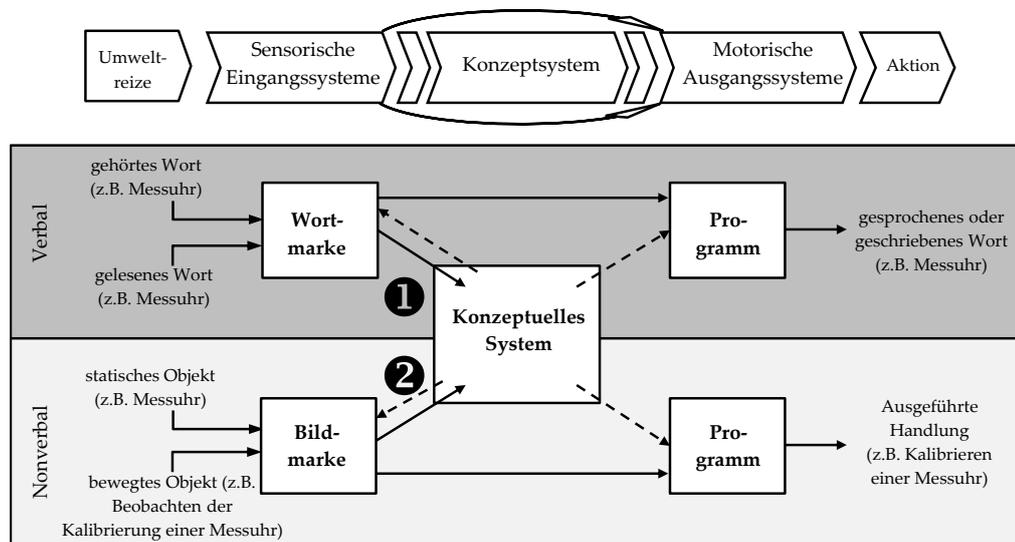


Abbildung 5.4: Beteiligte Systeme der MG bei der lesenden Bearbeitung von Experimenten

Zu ❶: Neben der durch das Lesen der Versuchsunterlagen während der Durchführungsphase verursachten Aktivierung von Wortmarken werden hier, zusätzlich durch das lesende Nachvollziehen der Versuchsergebnisse, vermehrt die entsprechenden Konzepte im konzeptuellen System aktiviert.

Zu ❷: Des Weiteren werden, wie in den anderen Bedingungen auch, durch Abbildungen in den Versuchsunterlagen statische Bildmarken und damit automatisch die entsprechenden Konzepte aktiviert.

Damit stehen SchülerInnen, nach der Durchführungsphase der lesenden Bearbeitung des Experiments, neben Konzepten und Wortmarken nur noch die statischen Bildmarken als Informationen für den Erinnerungsprozess zur Verfügung, und die Höhe der itemspezifischen Information kann folglich als gering bezeichnet werden.

Abschließend kann für den Zusammenhang von selbst ausgeführten Handlungen und der Bearbeitung technischer Experimente formuliert werden, dass es durch die Einführung der Restriktionen (vgl. Kap. 5.1.1) gelungen ist, die Durchführungsphase als zentralen Unterschied zwischen Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten zu identifizieren. Des Weiteren konnte mit Hilfe der System- und Prozessannahmen der MG die kognitiven Prozesse der unterschiedlichen Durchführungsphasen abgebildet werden. Damit wurde es möglich, Schüler-, Demonstrationsexperimente und das lesende Bearbeiten von Experimenten auf Basis der multimodalen Gedächtnistheorie [MG] zu vergleichen und hierdurch Aussagen über die Erinnerungsleistung bzw. die itemspezifische Information treffen zu können.

Aus dem Vergleich der Durchführungsphasen ging hervor, dass Schülerexperimente die höchste Systembeteiligung besitzen und damit der höchsten Stufe der Handlungsmöglichkeiten (*handeln*) zugeordnet werden können. Die Bearbeitung von Demonstrationsexperimenten geht mit einer geringeren Systembeteiligung einher und wird daher der mittleren Stufe der Handlungsmöglichkeiten (*beobachten*) zugeordnet. Am geringsten ist die Systembeteiligung beim lesenden Bearbeiten technischer Experimente, wodurch es der niedrigsten Stufe der Handlungsmöglichkeiten (*lesen*) zugeteilt wurde.

Mit der Zuordnung von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und des lesenden Bearbeitens von Experimenten zu den Handlungsmöglichkeiten auf Basis der MG konnte

- erstens ein Zusammenhang zwischen technischen Experimenten und selbst ausgeführten Handlungen hergestellt werden
- und durch die strukturellen und prozessualen Annahmen der multimodalen Gedächtnistheorie aus einem kognitionspsychologischen Erklärungsansatz abgeleitete und begründete Vermutungen über die Lernwirksamkeit bzw. den Wissenserwerb von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und des lesenden Bearbeitens von Experimenten formuliert werden.

Wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit von Handlungsmöglichkeiten mit den Stufen (*lesen*, *beobachten* und *handeln*) gesprochen, ist immer dieser Zusammenhang, bzw. diese Operationalisierung und die damit verbundenen Implikationen (itemspezifische Information bzw. Wissenserwerb in der Durchfüh-

rungsphase), zwischen Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von Experimenten gemeint.

Da bisher das zu erwerbende Wissen, das durch die Bearbeitung von technischen Experimenten erworben werden soll, noch nicht explizit diskutiert wurde, widmet sich das nächste Kapitel dem Zusammenhang der Bearbeitung technischer Experimente und dem Wissenserwerb.

## 5.2 ZUM ZUSAMMENHANG VON WISSEN BZW. WISSENSERWERB UND DER DURCHFÜHRUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN

Wenn es um die Förderung von Wissen bzw. des Wissenserwerbs geht, stellt sich zunächst die Frage, was unter dem weiten Begriff des Wissens zu subsumieren ist und insbesondere, welche Wissensarten für die Bearbeitung von technischen Experimenten benötigt werden bzw. in Frage kommen (vgl. Klix & Spada, 1998, S. 459).

Entscheidend ist dabei, den Wissenserwerb nicht einseitig als Lernen<sup>70</sup> von Faktenwissen zu verstehen.

Wissen im weitesten Sinne umfasst vielmehr verschiedene Inhalte, nämlich domänenspezifisches Wissen (deklaratives Wissen; Wissen über Sachverhalte), prozedurales Wissen (Wissen, auf dem Fertigkeiten beruhen), strategisches Wissen (heuristisches Wissen und Problemlösestrategien), metakognitives Wissen (Wissen, das der Kontrolle und Steuerung von Lern- und Denkprozessen unterliegt), verbale Fähigkeiten sowie soziale Fertigkeiten und Kompetenzen (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, 2007, S. 72f).

Dies deutete sich bereits in den Zielen technischer Experimente an (vgl. Kap. 2.1.4). So wurde insbesondere von Ott und Pyzalla (2003) für die kognitive Facette technischer Handlungsfähigkeit betont, dass die SchülerInnen durch das Bearbeiten technischer Experimente Strukturwissen ganzheitlich erwerben, welches **deklaratives** (Begriffswissen), **prozedurales** (Verfahrenswissen) und **konditionales** Wissen (Bedingungswissen) mit einschließt (vgl. Ott & Pyzalla, 2003, S. 120).<sup>71</sup>

Auch die Ergebnisse zur Wirksamkeitsforschung des technischen Experiments im gewerblich-technischen sowie im naturwissenschaftlichen Bereich legen die Unterscheidung zwischen prozeduralem und deklarativem Wissen

---

<sup>70</sup> Lernen wird dabei in Anlehnung an Seel (2000) als gradueller Aufbau und Veränderung psychischer Dispositionen, des Verarbeitens von Informationen sowie der Veränderung motorischer Verhaltensdispositionen und Wertorientierungen verstanden (vgl. Seel, 2000, S. 374).

<sup>71</sup> Das von Ott und Pyzalla (2003) aufgeführte konditionale Wissen soll nicht weiter berücksichtigt werden, da angenommen wird, dass sich dieses nur bezogen auf unterschiedliche situative Anforderungsstrukturen (also z.B. mehrere unterschiedliche technische Experimente) zeigt bzw. erfassen lässt. Eine Erfassung von konditionalem Wissen innerhalb eines technischen Experiments scheint demnach wenig aussichtsreich.

als zentrale Wissensarten nahe, die für die Bearbeitung technischer Experimente benötigt bzw. durch die Bearbeitung aufgebaut werden (vgl. Kap. 3.4). Folglich wird in dieser Arbeit ebenfalls davon ausgegangen, dass für die Bearbeitung von technischen Experimenten deklaratives und prozedurales Wissen benötigt sowie aufgebaut wird.

Im folgenden Verlauf sollen daher zunächst die Wissensarten<sup>72</sup> definiert und für diese Arbeit operationalisiert werden.<sup>73</sup>

Bereits Ryle (1969) unterscheidet zwischen prozeduralem und deklarativem Wissen, wobei er die Begriffe *knowing how* und *knowing what* verwendet (vgl. Ryle, 1969, S. 26). Eine ausführliche Diskussion über die Konzeption von deklarativem und prozeduralem Wissen findet sich auch bei Oswald und Gadenne (1984).

Für diese Arbeit wird **prozedurales Wissen** konzeptualisiert als die Kompetenz, eine kognitive und/oder motorische Operation bzw. Handlung auszuführen. Es drückt sich also im Vollzug von Prozessen oder Handlungen aus (vgl. Süß, 1996, S. 63). Es handelt sich demnach um Wissen, das sich darauf bezieht, wie man verschiedene Aufgaben ausführt (vgl. Anderson, 2001, S. 472). Jedoch kann sich prozedurales Wissen nicht nur in der Fähigkeit, Handlungen (kognitive und motorische Fertigkeiten) in einer Situation zielführend ausführen zu können, äußern, sondern auch darin, situationsadäquate sowie zielführende Handlungsanleitungen bzw. Prozeduren zu benennen (vgl. Gage & Berliner, 1996, S. 288).

Hingegen umfasst **deklaratives Wissen**, auch als Faktenwissen bezeichnet, das Wissen, das eine Person im semantischen Gedächtnis gespeichert hat und daraus wieder abrufen kann (vgl. Seel, 2000, S. 370).

Es kann – in Anlehnung an Klix und Spada (1998) – begriffen werden als Kompetenz, Fragen über verschiedene Sachverhalte zu beantworten (vgl. Anderson, 2001, S. 462).

Deklaratives und prozedurales Wissen sind jedoch nicht einander exklusive Wissensarten, im Gegenteil. Bezogen auf die Bearbeitung von technischen Experimenten sei angemerkt, dass darin sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen involviert<sup>74</sup> ist, was auch durch einschlägige Literatur unterstützt wird (vgl. Knöll, 2007, S. 25ff; Fortmüller, 1997, S. 114ff; Anderson, 1996, S. 270ff; Süß, 1996, S. 65f; Oswald & Gadenne V., 1984, S. 180f). Über-

---

<sup>72</sup> Die oftmals bei deklarativem prozeduralem Wissen diskutierte Unterscheidung zwischen explizitem und implizitem Wissen soll in dieser Arbeit nicht erfolgen. Es sei jedoch auf Knöll (2007) bzw. Becker (2008) verwiesen.

<sup>73</sup> Dies hat neben einer klaren Begriffsstruktur Vorteile bei der Konstruktion von Testaufgaben, da diese nachvollziehbarer einer der Wissensarten (prozedural und deklarativ) zugeordnet werden können.

<sup>74</sup> Welche Wissensart in welchem Umfang zur Lösung bzw. Bearbeitung von technischen Experimenten verwendet wird, hängt in großem Maße vom Vorwissen ab.

gänge zwischen den beiden Wissensformen sind ebenso möglich, jedoch oftmals nur unter erhöhtem kognitiven Aufwand. Zum einen kann deklaratives Wissen darüber, wie eine Handlung auszuführen ist, zu prozeduralem Wissen werden, z. B. durch Üben. Zum anderen können Personen deklaratives Wissen über ihre eigenen bereits vorhandenen Prozeduren erwerben.

Eng mit der Konzeption von deklarativem und prozeduralem Wissen verbunden sind die Formen des Sach- und Handlungswissen.

**Sachwissen** definiert Süß (1996) „als Wissen über Sachverhalte in einem Realitätsausschnitt“ (Süß, 1996, S. 64). Es umfasst Wissen über Objekte und deren Begriffe, Fakten, Inhaltsbereiche bzw. Sachverhalte, die in eine Situation eingebettet sind (vgl. Künsting, 2007, S. 11; Aebli, 2001, S. 120; Süß, 1996, S. 64f).

**Handlungswissen** definiert „Wissen über adäquate Handlungen bzw. kognitive Operationen in einer Situation im Hinblick auf ein Ziel“ (Süß, 1996, S. 64). Über den Zusammenhang von Sach- und Handlungswissen merkt Aebli (2001) an, dass jede Handlung die Wahrnehmung oder Vorstellung ihrer Objekte, der Situationen, auf die sie sich bezieht, der Prozesse, die sie auslöst, und der Ergebnisse, die sie erzeugt, impliziert. Demnach enthält jedes Handlungswissen ein Sachwissen, verstanden als Wissen über sachliche Zusammenhänge, in denen das Handeln steht (vgl. Aebli, 2001, S. 120).

Zusammenfassend sei angemerkt, dass die Wissensbegriffe in der Literatur nicht immer eindeutig differenziert werden können, was eine Grenzziehung zwischen den Wissensarten erschwert (vgl. Süß, 1996, S. 65).

Tabelle 5.1: Matrix der Wissensarten dieser Arbeit in Anlehnung an Süß (1996) und Künsting (2007)

	Deklaratives Wissen	Prozedurales Wissen
Sachwissen	Benennen von Fakten, Sachverhalten und Begriffen eines Realitätsausschnitts.	Erkennen und Angeben von situationsspezifischen Merkmalen und Zusammenhängen.
Handlungswissen	Angeben und Beschreiben von situationsspezifischen Handlungsschritten (die zur Zielerreichung notwendig sind).	Durchführen bzw. Ausführen einer kognitiven oder motorischen Operation/ Handlung bezogen auf einen bestimmten Kontext.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die vier vorgestellten Wissensarten verwendet, zu einer Matrix kombiniert und operationalisiert werden. So kann deklaratives, als auch prozedurales Wissen, weiter in Sach- und Handlungswissen unterteilt werden. Sofern im weiteren Verlauf dieser Arbeit von deklarativem und prozeduralem Wissen gesprochen wird, ist immer die in Tabelle 5.1 dargestellte Definition mit ihren zwei Akzentuierungen gemeint.

Weiter wird davon ausgegangen, dass für die Bearbeitung von technischen Experimenten deklaratives und prozedurales Wissen benötigt sowie aufgebaut wird und eine Abhängigkeit der Wissensaneignung von den Handlungsmöglichkeiten (*lesen, beobachten, handeln*) während der Durchführungsphase des technischen Experiments zu erwarten ist (vgl. Kap. 5.1).

---

## 6 ZIEL UND HYPOTHESEN DER UNTERSUCHUNG

---

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die zentralen Ergebnisse aus den theoretischen Betrachtungen zusammengefasst und auf die Bearbeitung von technischen Experimenten sowie das dabei zu erwerbende Wissen übertragen wurden, werden im Folgenden das zentrale Ziel sowie die Zielgruppe vorgestellt (vgl. Kap. 6.1), um anschließend die Hypothesen der Untersuchung zu entfalten (vgl. Kap. 6.2 bis 6.4).

### 6.1 ZIEL DER UNTERSUCHUNG

Der erwartete Lernerfolg von Experimenten wird in der Literatur sowie in der Bildungspraxis mit den Handlungsmöglichkeiten während des Experimentierens verbunden (vgl. Kap. 5.1). So werden Experimente, in denen die SchülerInnen Handlungen selbst praktisch ausführen (z. B. Schülerexperimente), effektiver eingeschätzt als Experimente, bei denen die SchülerInnen die durchgeführten Handlungen lediglich beobachten (z. B. Demonstrationsexperimente). Der geringste Lernerfolg wird erwartet, wenn die SchülerInnen das Experiment lesend bearbeiten.

Diese Annahmen konnten durch empirische Untersuchungen im naturwissenschaftlichen Bereich bisher nicht eindeutig bestätigt werden, oder es liegen z. T. auch uneinheitliche Befunde vor (vgl. Kap. 3.4).

Trotz intensiver Recherche konnten keine Forschungsarbeiten über die Wirksamkeit von technischen Experimenten im Rahmen des allgemeinbildenden Technikunterrichts ermittelt werden. Folglich muss davon ausgegangen werden, dass hierzu noch keine Forschungsbefunde vorliegen.

In den betrachteten Forschungsarbeiten zeigte sich, dass alle Arbeiten, deren Tests eine horizontale Differenzierung aufweisen, also **prozedurales** und **deklaratives** Wissen – oder zu diesen Bereichen affines Wissen – erfassten, einen Trend erkennen ließen.<sup>75</sup> So konnten SchülerInnen durch eigenständiges Experimentieren (z. B. Schülerexperimente) deklaratives tendenziell und prozedurales Wissen statistisch signifikant besser erwerben als SchülerInnen, die die Bearbeitung des Experiments nur beobachten (z. B. Demonstrationsexperimente) oder nur lesend Bearbeiten durften (vgl. Kap. 3.4).

Dieser Trend deutete sich bereits in den theoretischen Betrachtungen in Kapitel 2.1.4 an, indem deklaratives und prozedurales Wissen als zentral für die

---

<sup>75</sup> Dieser Trend bezieht sich insbesondere auf die Arbeiten von Glasson (1989), Bünning (2008), Weltner und Warnkross (1974) in denen Wissensfragen (eher deklarativ), Konstruktionsfragen (Zeichnungen) und Fragen, in denen Phänomene gedeutet bzw. begründet werden mussten (eher prozedural) gestellt wurden. In der Arbeit von Killermann (1996) wird zwischen Fragen zu knowledge of facts (eher deklarativ) und the ability to transfer knowledge and the ability to solve problems (eher prozedural) unterschieden.

Bearbeitung von technischen Experimenten hervorgehoben wird. Um begriffliche Unschärfe zu vermeiden, wurden die Wissensbegriffe in Kapitel 5.2 operationalisiert und auch dieser Arbeit, als Indikator für Veränderungen in den Wissensstrukturen der SchülerInnen, zugrunde gelegt.<sup>76</sup>

Weiter ergaben die betrachteten Forschungsarbeiten, dass ein Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und des lesenden Bearbeitens von technischen Experimenten nur dann gelingen kann, wenn gewisse Rahmenbedingungen eingeführt und berücksichtigt werden (vgl. Kap. 5.1.1). Die Rahmenbedingungen berücksichtigend, konnte als Ergebnis die Durchführungsphase als zentrales Element identifiziert werden, in dem sich Schüler-, Demonstrationsexperiment und das lesende Bearbeiten eines technischen Experiments unterscheiden. Mit Hilfe dieser Rahmenbedingungen und den theoretischen und empirischen Erkenntnissen der multimodalen Gedächtnistheorie [MG] ist es möglich, kognitionspsychologisch begründete Zusammenhänge zwischen den **Handlungsmöglichkeiten**, mit den Stufen *handeln*, *beobachten*, *lesen*, und dem Wissenserwerb in **Schüler-, Demonstrationsexperimenten** sowie beim **lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten** herzustellen (vgl. Kap. 5.1.2). Entsprechend wurde nachfolgende Zuordnung vorgenommen und dieser Arbeit zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Zentrale Annahmen der eigenen Untersuchung

Handlungsmöglichkeiten	Technisches Experiment	Erwarteter Wissenserwerb
<i>handeln</i> =	<i>Schülerexperiment</i>	<i>hoch</i>
<i>beobachten</i> =	<i>Demonstrationsexperiment</i>	<i>mittel</i>
<i>lesen</i> =	<i>Lesendes Bearbeiten eines Experiments</i>	<i>gering</i>

<sup>76</sup> Wird im weiteren Verlauf von deklarativem und prozeduralem Wissen gesprochen, ist dabei immer das in Kapitel 5.2 zugrunde gelegte Verständnis der Wissensarten gemeint.

Die in Kapitel 2 und 4 ausführlich und hier eingangs kurz umschriebenen Betrachtungen sowie die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen in Kapitel 5.1 und 5.2 legen es nahe, die Handlungsmöglichkeiten während der Bearbeitung eines technischen Experiments als bestimmendes Leistungsmerkmal in Betracht zu ziehen und als Ziel dieses Forschungsvorhabens den **Einfluss von Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb (deklarativ/prozedural) bei der Durchführung von technischen Experimenten im allgemeinbildenden Technikunterricht zu erforschen.**

Zielgruppe sind SchülerInnen der 9. bis 11. Klasse an Gymnasien bzw. Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen.

Wie gezeigt werden konnte, liegen aktuell im allgemeinbildenden Technikunterricht zu dieser Fragestellung noch keine Ergebnisse vor. Dementsprechend soll mit dieser Arbeit die bestehende Forschungslücke geschlossen, und darüber hinaus sollen bedeutsame Hinweise für die Unterrichtspraxis gewonnen werden.

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung werden dem Forschungsvorhaben die folgenden Hypothesen zugrunde gelegt.

## 6.2 HYPOTHESE H1 UND H2: DIE ANEIGNUNG VON DEKLARATIVEM UND PROZEDURALEM WISSEN DURCH DIE BEARBEITUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN

**H1: Die Aneignung von deklarativem Wissen ist von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig.**

- *H1.1: Durch selbst ausgeführte Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von deklarativem Wissen stärker gefördert als durch Beobachtung von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (handeln > beobachten).*
- *H1.2: Durch das Beobachten von Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von deklarativem Wissen stärker gefördert als durch rein lesendes Nachvollziehen von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (beobachten > lesen).*

**H2: Die Aneignung von prozeduralem Wissen ist von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig.**

- *H2.1: Durch selbst ausgeführte Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von prozeduralem Wissen stärker gefördert als durch Beobachtung von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (handeln > beobachten).*
- *H2.2: Durch Beobachten von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von prozeduralem Wissen stär-*

*ker gefördert als durch rein lesendes Nachvollziehen der Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (beobachten > lesen).*

Die Hypothesen H1 und H2 können, bezogen auf die Wissensarten, durch die geführten Betrachtungen in Kapitel 2.1.4 und 3.4 begründet werden. Deklaratives und prozedurales Wissen wird für die Bearbeitung von technischen Experimenten als grundlegend erachtet und dessen Aufbau als Ziel formuliert. Des Weiteren konnte in Arbeiten von Bünning (2008), Glasson (1989), Weltner und Warnkross (1974) und Killermann (1996) gezeigt werden, dass SchülerInnen durch eigenständiges Experimentieren (z. B. Schülerexperimente) deklaratives Wissen tendenziell und prozedurales Wissen statistisch signifikant besser erwerben als SchülerInnen, die die Bearbeitung des Experiments nur beobachten (z. B. Demonstrationsexperimente) oder nur lesend nachvollziehen konnten.

In kognitionspsychologischer Hinsicht erfahren die Hypothesen H1 und H2 durch die Ergebnisse der multimodalen Gedächtnistheorie Unterstützung (vgl. Kap. 4). Aus ihr kann abgeleitet werden, dass die Systembeteiligung und damit auch die Erinnerungsleistung beim lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten (*lesen*) am geringsten und bei selbst ausgeführten Handlungen (*handeln*) am größten ist (vgl. Kap. 5.1). Dieser Effekt konnte auch bei komplexen zielgerichteten Handlungen beobachtet werden (vgl. Kap. 4.2.3).<sup>77</sup>

### 6.3 HYPOTHESE H3: DIE ENTWICKLUNG DES FACHINTERESSES DURCH DIE BEARBEITUNG VON TECHNISCHEN EXPERIMENTEN

**H3: Die Entwicklung des Fachinteresses ist nicht von den Handlungsmöglichkeiten während der Bearbeitung von technischen Experimenten abhängig.**

Für die Entwicklung des Interesses am Fach Technik, welches in Bezug auf die Person-Gegenstands-Theorie als relativ stabiles Personenmerkmal angesehen werden kann, soll für diese Arbeit angenommen werden, dass es sich unabhängig von den Handlungsmöglichkeiten entwickelt (vgl. Krapp, 1998; Schiefele, 1996). Diese Hypothese erfährt insbesondere durch die Arbeiten von Gößling (2010), Künsting (2007) und Thillmann (2007) Unterstützung, in denen zu dieser Arbeit identische Beurteilungsaufgaben für das Interesse eingesetzt wurden. In den Arbeiten wies das Fachinteresse nur sehr niedrige Zusammenhänge zu dem Vorwissen und der Leistung im Nachtest auf. Daher verwundert es auch nicht, dass das Fachinteresse in den o. g. Arbeiten nur weniger als 0,01% zur Varianzaufklärung beitragen konnte.

<sup>77</sup> Des Weiteren sprechen auch andere Theorien für diese Vermutung, jedoch können, aus ihnen keine kognitionspsychologisch begründeten Vermutungen bzw. Vorhersagen abgeleitet werden (vgl. Hacker, 2005; Moreno, 2005; Aebli, 2001; Anderson, 1996).

#### 6.4 HYPOTHESE H4 UND H5: DER EINFLUSS DES BEREICHSSPEZIFISCHEN VORWISSENS AUF DEN ERWERB VON DEKLARATIVEM UND PROZEDURALEM WISSEN

**H4: Das bereichsspezifische Vorwissen hat den größten Einfluss auf die Aneignung von deklarativem Wissen bei der Durchführung von technischen Experimenten.**

**H5: Das bereichsspezifische Vorwissen hat den größten Einfluss auf die Aneignung von prozeduralem Wissen bei der Durchführung von technischen Experimenten.**

Bereits durch Metanalysen sowie durch weitere Arbeiten aus dem naturwissenschaftlichen Bereich nachgewiesen, besitzen kognitive Leistungsfaktoren, insbesondere das Vorwissen, den größten Einfluss auf den Lernerfolg (z. B. Leistung im Nachtest) (vgl. Knöll, 2007; Künsting, 2007; Thillmann, 2007; Helmke & Weinert, 1997; Weinert, 1996). Auch in der vorgestellten Studie von Glasson (1989) spielte das Vorwissen, sowohl für das deklarative als auch für das prozedurale Wissen im Nachtest, mit 50% der Varianzaufklärung die größte Rolle (vgl. Kap. 3.3.1.2).

## 7 FORSCHUNGSDESIGN DER UNTERSUCHUNG

Zunächst werden in diesem Kapitel Klassifikationsmöglichkeiten für empirische Untersuchungen vorgestellt (vgl. Kap. 7.1), um daran anknüpfend das Untersuchungsdesign dieser Untersuchung zu entfalten und zu beurteilen (vgl. Kap. 7.2). Abschließend werden das eingesetzte technische Experiment (vgl. Kap. 7.3) sowie die entwickelten Instrumente (Wissenstest/Fachinteresse) inhaltlich und strukturell vorgestellt (vgl. Kap. 7.4).

### 7.1 KLASSIFIKATIONSMÖGLICHKEITEN VON UNTERSUCHUNGEN

Für die Beurteilung der Qualität von wissenschaftlichen Untersuchungen und die damit erzeugten Ergebnisse werden von Bortz und Döring (2006) die **interne**, **externe** und **statistische Validität** als Kriterien vorgeschlagen, welche auch Grundlage für die hier vorgestellte Untersuchung sein sollen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 53ff).

Dabei wird die *externe Validität* als Möglichkeit verstanden, die Ergebnisse der Untersuchung zu generalisieren, d. h. auf andere Personen, Kontexte oder Zeitpunkte übertragen zu können (vgl. Schnell, Hill & Esser, 2008, S. 219f; Bortz & Döring, 2006, S. 53).

*Interne Validität* liegt dann vor, „wenn ihre Ergebnisse kausal eindeutig interpretierbar sind“, also die Veränderung einer abhängigen Variablen eindeutig auf die unabhängige Variable zurückgeführt werden kann und nicht durch Störfaktoren o. ä. beeinflusst wurde (Bortz & Döring, 2006, S. 53). Letzteres wird auch als Konfundierung bezeichnet.<sup>78</sup>

Der Zusammenhang von interner bzw. externer Validität und unterschiedlichen Forschungsdesigns kann nachfolgender Abbildung entnommen werden (vgl. Abbildung 7.1).

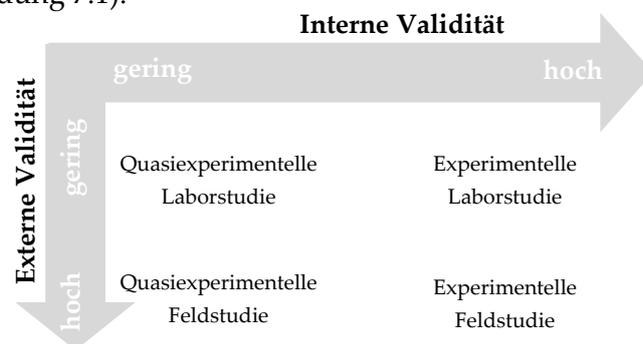


Abbildung 7.1: Zusammenhang von interner bzw. externer Validität und dem Forschungsdesign in Anlehnung an Bortz und Döring (2006)

<sup>78</sup> Ein Überblick möglicher Einflussfaktoren die zur Verringerung der internen und externen Validität beitragen können, findet sich in Schnell, Hill und Esser (2008) sowie in Bortz und Döring (2006) (vgl. Schnell et al., 2008, S. 217ff; Bortz & Döring, 2006, S. 502ff).

Grundsätzlich ist es wünschenswert, in Untersuchungen hohe externe und interne Validität zu erreichen. Dazu stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung, die im Folgenden kurz dargestellt werden.

Als erster Schritt gilt es zu entscheiden, ob die Untersuchung **experimentelle** oder **quasiexperimentelle** Züge aufweisen soll.

In *experimentellen* Untersuchungen werden die Probanden randomisiert, d. h. zufällig der jeweiligen Gruppe zugeordnet wodurch bei ausreichender Gruppengröße personenbezogene Störgrößen eliminiert werden können. *Quasiexperimentelle* Untersuchungen arbeiten mit natürlichen vorhandenen Gruppen, d. h. ganze Klassen werden einer Gruppe zugeordnet oder Geschlechterunterschiede untersucht. Bereits diese knappe Gegenüberstellung lässt erkennen, dass experimentelle Untersuchungen eine höhere interne Validität, hingegen eine geringere externe Validität als quasiexperimentelle aufweisen.

Als weiterer Schritt muss der Durchführungsort der Untersuchung geklärt werden. Hier wird zwischen **Feld-** und **Laboruntersuchungen** unterschieden (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 57f). Erfolgt die Untersuchung im natürlichen Umfeld der Probanden, z. B. am Arbeitsplatz oder in der Schule, spricht man von *Felduntersuchungen*. Hierdurch kann hohe externe Validität erreicht werden, wobei zugleich eine verringerte Kontrollmöglichkeit von Störeinflüssen in Kauf genommen wird, was zu Lasten der internen Validität gehen kann.<sup>79</sup> Das Ausschalten bzw. Konstanthalten von untersuchungsbedingten Störeinflüssen ist kennzeichnend für *Laboruntersuchungen*, was zu einer hohen internen Validität führt. Gleichzeitig bedingt die artifiziell geschaffene Untersuchungssituation eine geringe externe Validität.

Wurde der Entscheidungsprozess über die Anlage der Untersuchung – interne versus externe Validität – getroffen, gilt es abschließend, die *statistische Validität* der Untersuchung sicherzustellen, z. B. durch optimale Stichprobengrößen, Einsatz genauer Messinstrumente, korrekte Anwendung statistischer Verfahren etc.

Bevor nun die Anlage der eigenen Untersuchung vorgestellt und begründet werden soll, erfolgt zunächst noch ein Überblick über die abhängigen und unabhängigen Variablen der Studie.

---

<sup>79</sup> Ein Überblick möglicher Kontrolltechniken findet sich in Bortz und Döring (2006) (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 524ff).

## 7.2 VORSTELLUNG UND BEURTEILUNG DES ENTWICKELTEN FORSCHUNGSDESIGNS DER UNTERSUCHUNG

In einem ersten Schritt werden die erfassten Variablen und das entwickelte Forschungsdesign der Untersuchung vorgestellt (vgl. Kap. 7.2.1 und 7.2.2) und anschließend bzgl. der internen und externen Validität beurteilt (vgl. Kap. 7.2.3).

### 7.2.1 ERFASSTE VARIABLEN DER UNTERSUCHUNG

Dem Ziel der Untersuchung entsprechend, den Einfluss von Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten auf den Erwerb deklarativen und prozeduralen Wissens festzustellen, wird die **Handlungsmöglichkeit**, die während der Bearbeitung des technischen Experiments ausgeführt werden kann, in Anlehnung an den in Kapitel 5.1 vorgestellten Zusammenhang, mit den Optionen *handeln*, *beobachten* und *lesen* als **unabhängige Variable** (UV) operationalisiert.

Die **abhängige Variable** (AV) ist im Erwerb von **deklarativem** und **prozeduralem Wissen** zu sehen (vgl. Kap. 5.2). Des Weiteren werden **Kontrollvariablen** (KV) wie Alter, Schulform, Note<sup>80</sup> im und Interesse am Fach Technik sowie die Bearbeitungszeiten des technischen Experiments und der Vor- und Nachtests erhoben.

### 7.2.2 FORSCHUNGSDESIGN DER UNTERSUCHUNG

Die Anlage der Untersuchung kann insofern als Feldexperiment bezeichnet werden, als sie in allgemeinbildenden Schulen durchgeführt wurde und die Erhebung während des Regelunterrichts stattfand. Dennoch weist sie Züge eines Laborexperiments auf, da die eingesetzten Lernunterlagen sowie die Instruktionen der SchülerInnen in den einzelnen Treatments durch Protokollbögen standardisiert waren. Weiter folgte die Untersuchung einem Vor-Nachtest-Design, wobei dieses, bedingt durch die Durchführung im Regelunterricht, gewissen zeitlichen Vorgaben unterlag (vgl. Schnell et al., 2008, S. 214f).

Zunächst soll das Forschungsdesign zur Erfassung der abhängigen Variablen strukturell<sup>81</sup> (vgl. Kap. 7.2.2.1) und abschließend inhaltlich<sup>82</sup> (vgl. Kap. 7.2.2.2) vorgestellt werden.

---

<sup>80</sup> Zusätzlich wurden, zu der Note des Faches Technik, die Noten für die Fächer Mathematik, Physik, Deutsch und Englisch erhoben.

<sup>81</sup> Bezogen auf den Aufbau und den Verlauf.

<sup>82</sup> Bezogen auf die inhaltliche Umsetzung der einzelnen Treatments.

## 7.2.2.1 Struktureller Aufbau des Forschungsdesigns

Im Folgenden wird der strukturelle Aufbau des Forschungsdesigns der eigenen Untersuchung vorgestellt. Einen Überblick kann Abbildung 7.2 entnommen werden.

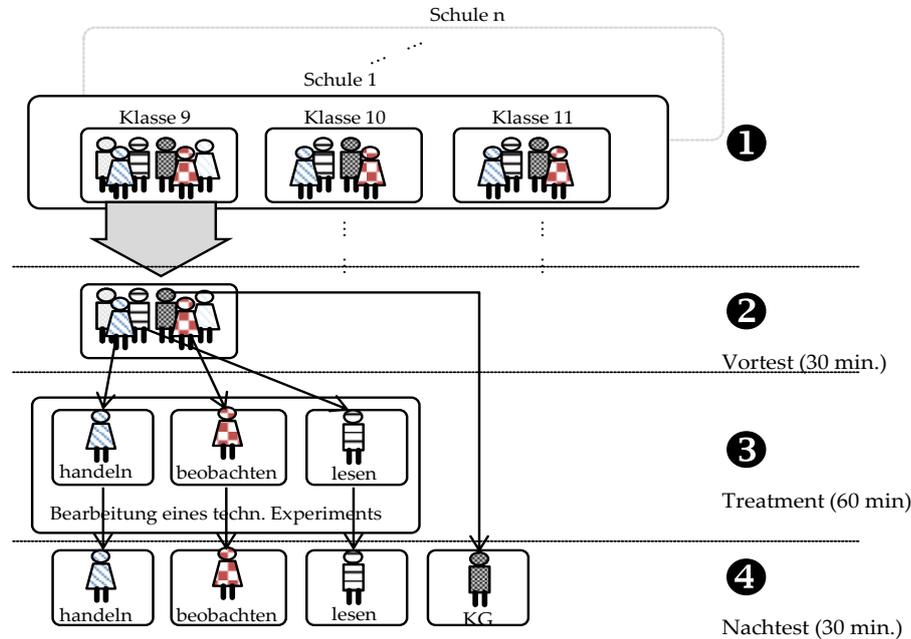


Abbildung 7.2: Struktureller Aufbau des Forschungsdesigns

Anmerkungen: ❶=Schulebene; ❷=Bearbeitung des Vortests im Klassenverband; ❸=Randomisierte Zuordnung und anschließende Bearbeitung des technischen Experiments (in Einzelarbeit); ❹=Bearbeitung des Nachttests in Einzelarbeit; KG = Kontrollgruppe

Zu ❶: Bezogen auf die zu ziehende Stichprobe wurde versucht, die Zielgruppen (Klasse 9-11) in gleichen Umfängen zu erfassen. Die Stichprobe kann dabei als mehrschichtige Klumpenstichprobe bezeichnet werden (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 440f).

Zu ❷: Der Vortest erfolgte im Klassenverband der jeweiligen Klasse und wurde durch geschulte Testanweiser<sup>83</sup> durchgeführt. Für den Wissenstest<sup>84</sup> wurde eine Bearbeitungszeit von 30 Minuten eingeplant, und er umfasste inhaltlich dieselben Aufgaben wie der Nachttest. Die Testanweiser hatten einem exakten Instruktionsprotokoll zu folgen und auftretende Ereignisse bzw. Fragen von SchülerInnen während der Testbearbeitung sowie die tatsächliche Bearbeitungszeit des Tests zu protokollieren. Mit diesem Verfahren sollten Versuchsleitereffekte und weitere Störfaktoren erkannt bzw. minimiert werden.

<sup>83</sup> Vgl. Kapitel 7.4.

<sup>84</sup> Vgl. Kapitel 7.4.1.

Zu ③: Um Testeffekte zu minimieren, erfolgte die Bearbeitung des technischen Experiments<sup>85</sup> eine Woche nach dem Vortest. Dabei wurden die SchülerInnen einer Klasse randomisiert zu einem der drei Treatments (*handeln, beobachten, lesen*) oder der Kontrollgruppe [KG] zugeordnet. Wie aus der vorherigen Abbildung entnommen werden kann, erfuhren die SchülerInnen der Kontrollgruppe kein Treatment, d. h. sie bearbeiteten kein technisches Experiment und nahmen währenddessen am Regelunterricht teil (vgl. Abbildung 7.2). Die Kontrollgruppe ermöglicht es, zwischenzeitliches Geschehen, also Reifungs- bzw. Lernprozesse, die außerhalb der Treatments lagen, z. B. durch Kommunikation von SchülerInnen unterschiedlicher Klassen oder der Lehrer, zu erfassen.

Die geplante Bearbeitungszeit für das technische Experiment betrug 60 Minuten. Dies war durch die Rahmenvorgabe bedingt, da die Erhebung im Regelunterricht und damit die Durchführung des technischen Experiments und die Bearbeitung des Nachtests in einer Doppelstunde zu erfolgen hatte.

Die Bearbeitung des technischen Experiments durch die SchülerInnen erfolgte in allen drei Treatments in Einzelarbeit, um kooperative Lernprozesse bzw. Effekte, die auf gruppenspezifische Prozesse zurückzuführen sind, ausschließen zu können. Die SchülerInnen der Treatments wurden auf drei Klassenzimmer aufgeteilt und die Sitzordnung so gewählt, dass eine Beeinflussung durch andere nicht möglich war.

Zur Bearbeitung wurden in allen drei Treatments dieselben Experimentierunterlagen eingesetzt.<sup>86</sup> Die Experimentierunterlagen umfassten dabei den Experimentierbogen und ein Informationsblatt zur Biegesteifigkeit.

Die Durchführung der Treatments erfolgte, wie beim Vortest auch, durch geschultes Personal, das sich an ein exaktes Instruktionsprotokoll zu halten hatte. Zu Beginn des Experiments wurden das Ziel bzw. die Problemstellung und die Anforderungen, die an die Profile des Längsträgers gestellt werden, vorgestellt. Im Anschluss wurde die Informations- und Planungsphase selbstständig bearbeitet. Fragen der SchülerInnen während des Experimentierprozesses sowie die benötigte Zeit wurden protokolliert. Nach Abschluss der Planungsphase wurde in dem jeweiligen Treatment entweder der Versuchsaufbau (*handeln*), die Computersimulation (*beobachten*) oder das Ergebnisblatt (*lesen*) kurz vorgestellt und abschließend das Informationsblatt zur Biegesteifigkeit ausgeteilt. Die anschließenden Phasen (Durchführung, Aus- und Bewertung) bearbeiteten die SchülerInnen selbstständig. Auch für diese Phasen wurde die tatsächlich benötigte Zeit ermittelt.

---

<sup>85</sup> Das entwickelte technische Experiment der Untersuchung wird in Kapitel 7.3 ausführlich beschrieben.

<sup>86</sup> Einen Überblick der Struktur der Experimentierunterlagen gibt Kapitel 12.1. Die Struktur des Experimentierbogens kann dem Kapitel 7.3 bzw. dem Anhang entnommen werden.

Zu ④: Der Nachtest erfolgte in den Treatmentgruppen (*handeln*, *beobachten*, *lesen*) im Anschluss an das bearbeitete technische Experiment in Einzelarbeit, wobei eine Pause von ca. 5-10 Minuten eingeplant war. In der Kontrollgruppe wurde der Nachtest im Klassenverbund durchgeführt. Alle weiteren Schritte wurden analog zum Vortest vorgenommen.

#### 7.2.2.2 Inhaltliche Struktur des Forschungsdesigns und der Treatments

Entsprechend dem Ziel der Untersuchung wurde ein Forschungsdesign entwickelt, das es erlaubt, die Handlungsmöglichkeiten während der Bearbeitung von technischen Experimenten in den drei Stufen (*handeln*, *beobachten*, *lesen*)<sup>87</sup> abzubilden und diese systematisch pro Treatment zu variieren. In Anlehnung an die Annahmen der multimodalen Gedächtnistheorie und die in Kapitel 5.1 geführten Betrachtungen zu den drei Handlungsmöglichkeiten unterscheiden sich die entwickelten Treatments lediglich darin, ob die Handlungen während der Durchführungsphase von technischen Experimenten selbst ausgeführt (*handeln*), beobachtet (*beobachten*) oder rein lesend nachvollzogen (*lesen*) werden können.

Wie aus bisherigen Ausführungen hervorging und in nachfolgender Abbildung nochmals verdeutlicht wurde, stimmen die Informations- und Planungsphase sowie die Aus- und Bewertungsphase aller drei Treatments inhaltlich und strukturell überein (vgl. Abbildung 7.2, ③; Abbildung 7.3). Der Unterschied der Treatments liegt folglich in der Durchführungsphase.

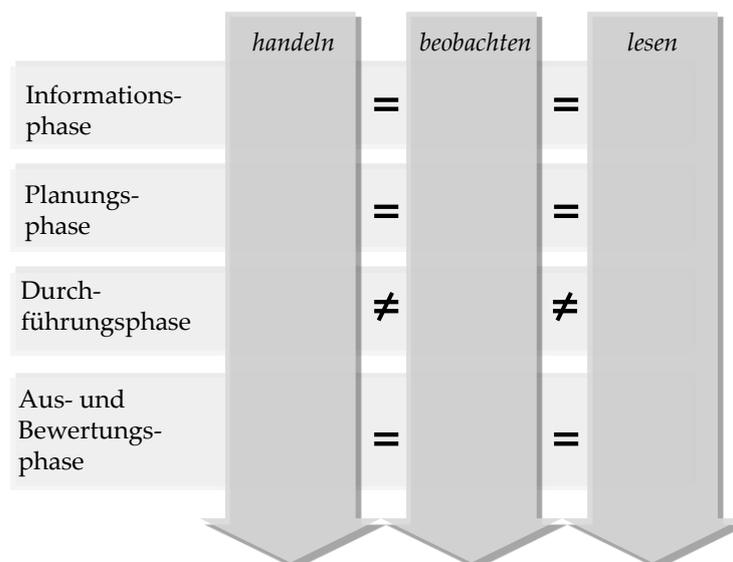


Abbildung 7.3: Vergleich der Phasen des technischen Experiments in den Treatments der Untersuchung

<sup>87</sup> Die Operationalisierung der Stufen wurde in Kapitel 5.1 vorgenommen.

Um dennoch identische Handlungen und Handlungsergebnisse in der Durchführungsphase aller Treatments und somit Vergleichbarkeit zwischen den Treatments zu erreichen, wurden die Handlungen, die während der Durchführung von technischen Experimenten selbst ausgeführt werden konnten, mit Hilfe der Handlungsregulationstheorie analysiert und in eine hierarchisch sequenzielle Ordnung gegliedert (vgl. Hacker, 2005, S. 209ff). Nachfolgende Abbildung zeigt die Handlungen, die während der Durchführungsphase des technischen Experiments ausgeführt werden können, exemplarisch für ein Profil des Längsträgers (vgl. Abbildung 7.4; Kap. 7.3).

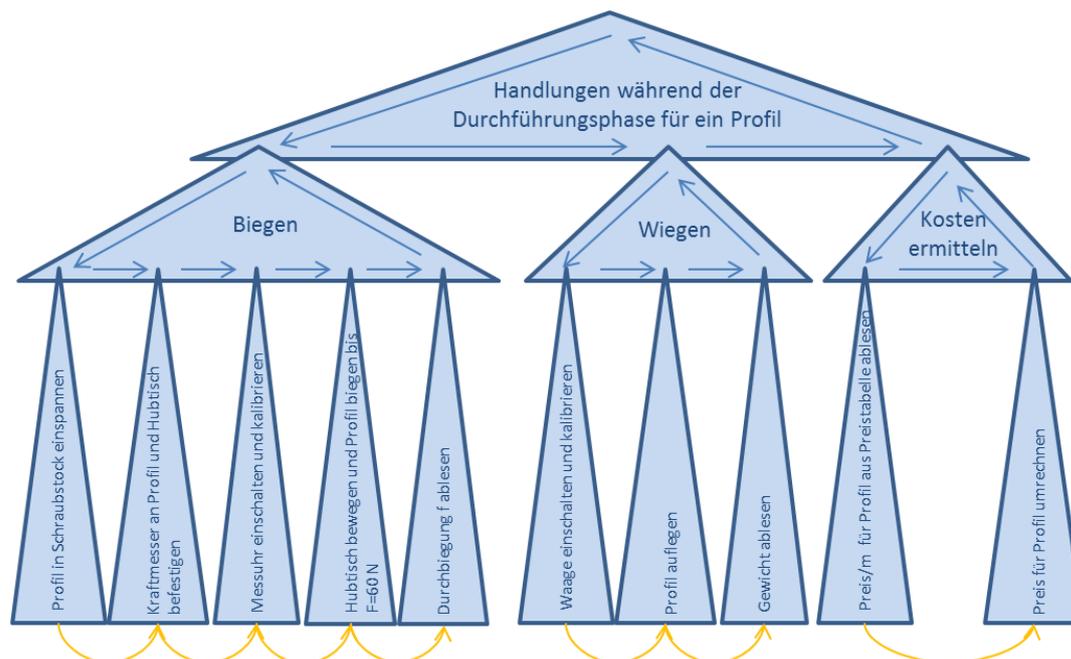


Abbildung 7.4: Hierarchisch-sequenzielle Ordnung der Handlungen während der Durchführungsphase des technischen Experiments in Anlehnung an Hacker (2005)

Bezogen auf die Handlungsergebnisse der Handlungen (Biegen, Wiegen, Kosten ermitteln) soll festgehalten werden, dass

- beim Biegen die Durchbiegung  $f$  für das jeweilige Profil, bei einer Kraft  $F= 60\text{N}$  und einem Abstand  $L= 60\text{cm}$ ,
- beim Wiegen ein Gewicht  $m$  für das jeweilige Profil und
- beim Ermitteln der Kosten  $K$  der jeweilige Preis des Profils

im Idealfall vorliegen.

Bevor nun im Folgenden die inhaltliche Umsetzung der drei Treatments erläutert wird, sei einleitend nochmals darauf hingewiesen, dass die eben dargestellten Handlungen bzw. Handlungsergebnisse in allen Treatments in gleichem Umfang vertreten sein sollten.

Des Weiteren wurden in allen drei Treatments dieselben Experimentierunterlagen<sup>88</sup> verwendet.

### *Handeln.*

Die SchülerInnen dieses Treatments können das technische Experiment und die Experimentierhandlungen

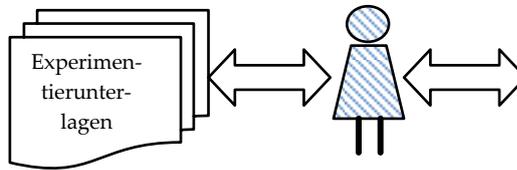


Abbildung 7.5: Inhaltliche Umsetzung des Treatments *handeln*, in dem die SchülerInnen die Durchführung des technischen Experiments an einem real vorhandenen Experimentiersystem selbst durchführen konnten

während der Durchführungsphase selbst an einem real vorhandenen Experimentiersystem ausführen und die (Handlungs-)Ergebnisse somit selbst erzeugen (vgl. Abbildung 7.5). Zum Experimentiersystem gehören Waage, Kraftmesser, Hubtisch, Messuhr, Schraubstock, Profile des Längsträgers sowie eine Preisliste.<sup>89</sup> Gemäß den Einteilungskriterien für technische Experimente handelt es sich hier um ein Schülerexperiment, das in Einzelarbeit und an Modelltechnik durchgeführt wird (vgl. Kap. 2.1.6 und 2.1.7).

<sup>88</sup> Die Experimentierunterlagen umfassen den Experimentierbogen und ein Informationsblatt zur Biegesteifigkeit.

<sup>89</sup> Ein Überblick über das Experimentiersystem bzw. den Versuchsaufbau ist in Kapitel 7.3 gegeben.

*Beobachten.*

Statt eines real vorhandenen Experimentiersystems konnten SchülerInnen in diesem Treatment die Durchführung des technischen Experiments und die darin enthaltenen Handlungen bzw. die erzeugten Handlungsergebnisse nur beobachten (vgl. Abbildung 7.6). Dazu stand jedem Schüler bzw. Schülerin eine Simulation zur Verfügung, deren Aufbau im Folgenden dargestellt wird. Nach einer kurzen Begrüßung konnten die SchülerInnen sich durch interaktive Schaltflächen bewegen (vgl. Abbildung 7.7).

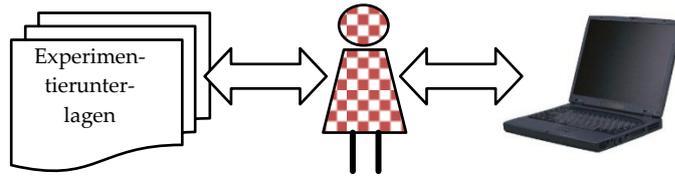


Abbildung 7.6: Inhaltliche Umsetzung des Treatments *beobachten*, in dem die SchülerInnen die Durchführung des technischen Experiments an einer Simulation beobachten konnten

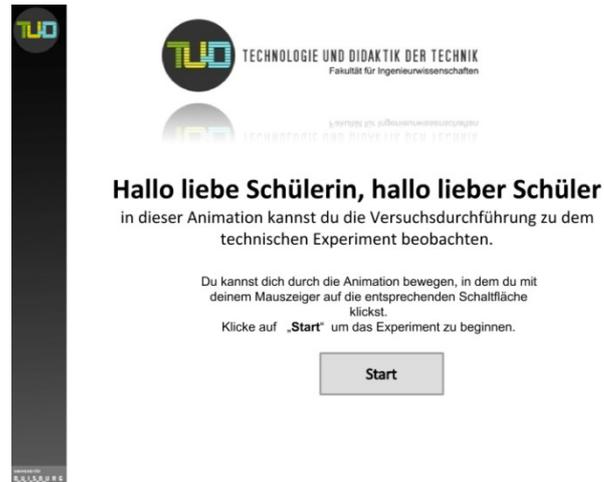


Abbildung 7.7: Startoberfläche der Simulation

Im Hauptmenü standen den SchülerInnen Möglichkeiten zur Verfügung, die Profile des Längsträgers zu untersuchen. Dabei konnten die SchülerInnen wählen, mit welchem Profil sie beginnen (vgl. Abbildung 7.8).

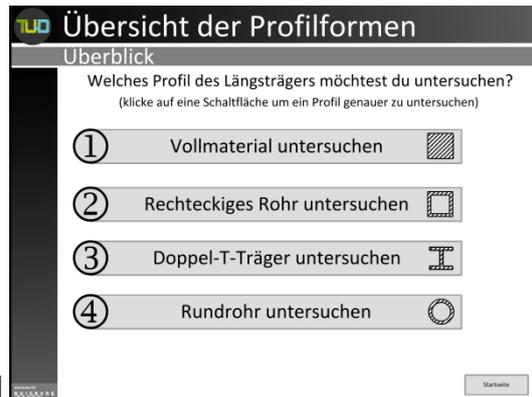


Abbildung 7.8: Hauptmenü der Simulation

Wurde ein Profil ausgewählt (hier exemplarisch die Profilform „Doppel T-Träger“ dargestellt), so konnte anschließend die Handlung, die man mit dem angewählten Profil durchführen möchte, ausgewählt werden (vgl. Abbildung 7.9).

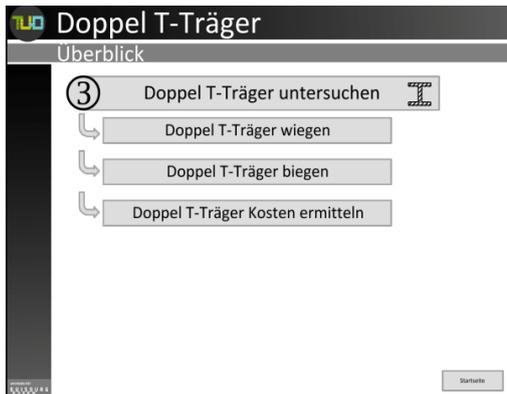


Abbildung 7.9: Auswahlmenü der Handlung exemplarisch dargestellt an der Profilform des Doppel T-Trägers

(hier exemplarisch am Handlungsschritt „biegen des Doppel T-Trägers“ dargestellt), in einer Videosequenz gezeigt (vgl. Abbildung 7.10 und Abbildung 7.11). Die SchülerInnen konnten die Videosequenz starten, unterbrechen und mit Hilfe einer Zeitleiste innerhalb der Videosequenz springen.

Es wurde akribisch darauf geachtet, dass in den Videosequenzen exakt dieselben Handlungen bzw. Handlungsergebnisse abgebildet wurden, wie sie einleitend in diesem Kapitel vorgestellt wurden.



Abbildung 7.10: Screenshots des Handlungsschrittes Biegen des Doppel T-Trägers mit exemplarischer Darstellung der Teilhandlungsschritte „Profil einspannen“ und „Messuhr einschalten bzw. kalibrieren“

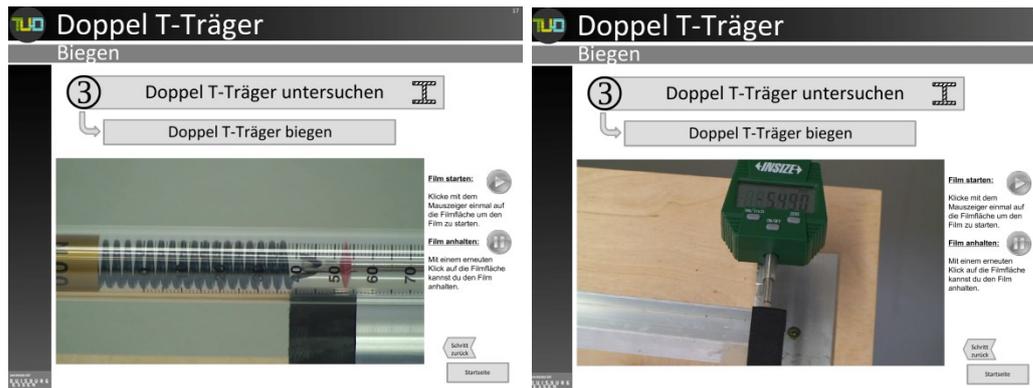


Abbildung 7.11: Screenshots des Handlungsschrittes Biegen des Doppel T-Trägers mit exemplarischer Darstellung der Teilhandlungsschritte „Profil biegen“ und „Durchbiegung f ablesen“

Analog zu dem hier vorgestellten Handlungsschritt Biegen wurde in den Handlungsschritten Wiegen und Kosten ermitteln verfahren.<sup>90</sup>

Zusammenfassend lässt sich für das Treatment beobachtend festhalten, dass die SchülerInnen ein Demonstrationsexperiment in Einzelarbeit durchführen konnten, in dem – im Vergleich zum Schülerexperiment (*handeln*) – identische Handlungen und Handlungsergebnisse abgebildet wurden.<sup>91</sup>

### Lesen.

SchülerInnen dieses Treatments konnten weder mit einem real vorhandenen Experimentiersystem inter-

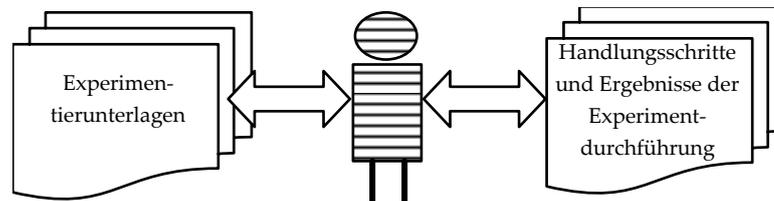


Abbildung 7.12: Inhaltliche Umsetzung des Treatments *lesen*, in dem die SchülerInnen die Durchführung des technischen Experiments rein lesend nachvollziehen mussten

agieren noch die Durchführung der Handlungen in einer Simulation am Computer beobachten. Die Handlungsschritte und -ergebnisse mussten von den SchülerInnen rein lesend nachvollzogen werden (vgl. Abbildung 7.12). Dazu diente ein Lösungsblatt<sup>92</sup> aus dem nachfolgend exemplarisch die Handlungsschritte und -ergebnisse für den Schritt „biegen“ vorgestellt werden (vgl. Abbildung 7.13).

<sup>90</sup> Ein Screenshot der Handlungsschritte Wiegen und Kosten ermitteln findet sich in Kapitel 12.2.1 wieder.

<sup>91</sup> Die Simulation besaß keine auditive Unterstützung. Die SchülerInnen konnten die vom Experimentator durchgeführten Handlungen nur sehen.

<sup>92</sup> Eine Übersicht des Lösungsblattes für die Treatmentgruppe *lesen* ist dem Kapitel 12.2.2 zu entnehmen.

**Biegen:**

Das jeweilige Profil des Längsträgers wurde in einem Schraubstock befestigt. Nach Befestigung des Profils im Schraubstock ragte das Profil 60 cm über, d.h. es hatte einen Abstand von  $L = 60\text{cm}$ . Nachdem die Messuhr auf null gestellt wurde, der Kraftmesser am Hubtisch und dem Profil befestigt war, wurde mithilfe des Hubtisches das Profil durchgebogen, bis der Kraftmesser eine Kraft  $F = 60\text{ N}$  anzeigte.

Abschließend wurde die Durchbiegung  $f$  von der Messuhr abgelesen.

Das Biegen des **rechteckigen Vollmaterials** ergab eine Durchbiegung  $f = 2,39\text{ mm}$ .

Das Biegen des **Rundrohrs** ergab eine Durchbiegung  $f = 7,92\text{ mm}$ .

Das Biegen des **rechteckigen Rohrs** ergab eine Durchbiegung  $f = 5,31\text{ mm}$

Das Biegen des **Doppel-T-Trägers** ergab eine Durchbiegung  $f = 5,49\text{ mm}$ .

Abbildung 7.13: Handlungsschritt Biegen als exemplarischer Auszug des Lösungsblattes

Wie aus dem Auszug des Lösungsblattes hervorgeht, wurden zunächst die Handlungsschritte beschrieben (hier exemplarisch am Handlungsschritt „biegen“ dargestellt), um anschließend die Handlungsergebnisse zu präsentieren. Analog wurde mit den weiteren Handlungsschritten der Durchführungsphase des technischen Experiments „wiegen“ und „Kosten ermitteln“ verfahren. Auch in diesem Treatment wurden die gleichen Handlungsschritte und -ergebnisse wie in den beiden anderen Treatments realisiert. Auf dieser Basis kann das Treatment als eine rein lesende Bearbeitung eines technischen Experiments in Einzelarbeit durch SchülerInnen bezeichnet und dennoch auf Basis der Handlungsschritte und -ergebnisse mit den Treatments *beobachten* und *handeln* verglichen werden.

### 7.2.3 BEURTEILUNG DES FORSCHUNGSDESIGNS HINSICHTLICH DER EXTERNEN UND INTERNEN VALIDITÄT

Das Forschungsdesign und damit die Anlage der Untersuchung kann als Feldexperiment bezeichnet werden, da sie in allgemeinbildenden Schulen durchgeführt wurde, die Erhebung während des Regelunterrichts stattfand und auf Klassenebene randomisiert werden konnte. Dennoch wurden zur Minimierung der Störeinflüsse einige Rahmenbedingungen, wie z. B. die eingesetzten Lernunterlagen und die Instruktionen der SchülerInnen in den einzelnen Treatments, standardisiert. Auch die fokussierten Schulformen (Gesamtschule und Gymnasium) und -klassen (9. bis 11. Klasse) schränken die Übertragbarkeit der aus dem Forschungsdesign resultierenden Ergebnisse und damit auch die *externe Validität* ein, wobei diese nach den in Kapitel 7.1. formulierten Kriterien immer noch als hoch einzustufen ist.

Der strukturelle Aufbau und die inhaltliche Umsetzung der Treatments tragen zur hohen *internen Validität* des Forschungsdesigns bei.

Durch den Einsatz von geschulten Testanweisern, deren alternierendem Einsatz in den jeweiligen Treatments oder der Kontrollgruppe sowie deren protokollgeleitete Instruktion und die dabei erfassten Daten (Bearbeitungszeit, Fragen der SchülerInnen) konnten Test- bzw. Versuchsleitereffekte, Verweigerungen der SchülerInnen oder Fehler in der Instruktion vermieden werden (vgl. Schnell et al., 2008, S. 220f). Des Weiteren ermöglicht die randomisierte Zuordnung der SchülerInnen auf Klassenebene das Ausschalten von weiteren personenbedingten Störvariablen. Hervorzuheben gilt es auch, dass durch die Kontrollgruppe, deren SchülerInnen kein Treatment erfuhren, zwischenzeitliches Geschehen ebenfalls kontrolliert werden konnte (vgl. Schnell et al., 2008, S. 217).

Einen bedeutenden Beitrag für die hohe interne Validität des Forschungsdesigns der Untersuchung ist das Konstanthalten wichtiger Faktoren (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 226; Schnell et al., 2008, S. 217ff).

Im vorliegenden Forschungsdesign wurden, den Empfehlungen Cunnighams (1946) und Majerichs (2004) entsprechend, die eingesetzten Experimentierunterlagen und auch die Inhalte und Ziele des technischen Experiments, die Hilfsmittel und die Bearbeitungszeit in den jeweiligen Treatments konstant gehalten. Bezogen auf die Phasen des technischen Experiments kann weiter festgehalten werden, dass diese in allen Treatments, bis auf die Durchführungsphase, ebenfalls identisch sind (vgl. Kap. 5.1.1). Die Analyse der Handlungen, die während der Durchführungsphase des technischen Experiments ausgeführt werden können, und deren Gliederung in eine hierarchisch-sequenzielle Ordnung erlaubte es einerseits, Treatments zu entwickeln, in denen die gleichen Handlungsschritte und -ergebnisse enthalten sind. Ande-

rerseits war es dadurch möglich, die Handlungsmöglichkeiten während der Bearbeitung von technischen Experimenten in den drei Stufen (*handeln, beobachten, lesen*) abzubilden und zwischen den Treatments systematisch zu variieren.

Kritisch kann angemerkt werden, dass diese Variation in den einzelnen Treatments auch eine Einschränkung der „Offenheit“ des technischen Experimentierprozesses nach sich ziehen könnte. Das Treatment *handeln* besäße folglich die größte Offenheit, da auch Fehlhandlungen möglich sind. Die geringste Offenheit besitzt das Treatment *lesen*, da die Ergebnisse lesend nachvollzogen werden müssen und Fehlhandlungen nicht möglich sind. Dies stellt jedoch nur augenscheinlich eine Einschränkung dar. Fehlschlüsse können sowohl aus selbst ausgeführten, beobachteten oder lesend rekonstruierten Handlungen erfolgen.

Gleiches kann auch für das Handlungsergebnis konkludiert werden. Die SchülerInnen sind in allen Treatments aufgefordert, die (Handlungs-)Ergebnisse, unabhängig davon, wie sie erworben wurden (handelnd, beobachtend oder lesend), zu interpretieren und auf die formulierte Problemstellung zu übertragen.

Zusammenfassend lässt sich zur internen Validität des Forschungsdesigns festhalten, dass durch das Vor-Nachtest-Design, die Elimination und das Konstanthalten wichtiger Faktoren die Entwicklung von Treatments gelungen ist, die einen kausal eindeutigen Rückschluss auf den Einfluss der Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten auf den Erwerb von deklarativem und prozeduralem Wissen zulässt.

### 7.3 DAS TECHNISCHE EXPERIMENT: AUSWAHL EINER GEEIGNETEN PROFILFORM FÜR DEN LÄNGSTRÄGER EINES VERPACKUNGSROBOTERS

Der Zielgruppe entsprechend wurde die Entwicklung eines technischen Experiments fokussiert, dessen inhaltliche Umsetzung in der Bildungspraxis sowohl in den Schulstufen (Gesamtschule und Gymnasium) als auch in den jeweiligen Klassen (9. bis 11. Klasse) vorgenommen wird.

In einem ersten Schritt wurden zunächst die entsprechenden Curricula des Landes Nordrhein-Westfalen im Fach Technik auf überlappende Inhaltsbereiche inspiziert (vgl. Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen 1982, 1993a, 1993b). Für die Klassen 9,10 und 11 fanden sich als gemeinsame Inhaltsbereiche das Konstruieren, Herstellen und Bewerten von Hebe- und Fördermitteln bzw. von Automaten sowie die Auswahl von Bauelementen und deren Werkstoffe bzw. Bauform in Hinblick auf den Verwendungszweck und die Kosten. Auch die Durchsicht aktueller Schulbücher des Fachs Technik ergab, dass diese Inhalte zumeist im Bereich der Bautechnik verortet sind und die Durchführung von Experimenten nahe gelegt wird, insbesondere zur Ermittlung der Biegesteifigkeit (vgl. Bleher et al., 2008; Bleher et al., 2009; Henzler, Henzler, Leins & Meidel, 1997).

Zusätzlich zur Literaturrecherche wurden Seminarleiter für das Fach Technik der Sekundarstufe 1 und 2 in die inhaltliche und zielbezogene Entwicklung sowie in die Ausgestaltung der Lernunterlagen des technischen Experiments einbezogen.

Im Folgenden werden die zentralen Ziele/Inhalte (vgl. Kap. 7.3.1) und anschließend die strukturelle Umsetzung des technischen Experiments vorgestellt (vgl. Kap. 7.3.2). Um eine möglichst hohe Anschaulichkeit des strukturellen Aufbaus des technischen Experiments erreichen zu können, werden die zentralen Elemente der entwickelten und in der Arbeit eingesetzten Experimentierunterlagen zu den jeweiligen Phasen des technischen Experiments vorgestellt.

#### 7.3.1 ZIELE UND INHALTE DES TECHNISCHEN EXPERIMENTS

Das entwickelte technische Experiment „Auswahl einer geeigneten Profilform für den Längsträger eines Verpackungsroboters“ bewegt sich inhaltlich im Bereich der Konstruktion eines technischen Systems. SchülerInnen werden zu Anfang mit der Problemsituation, einen Längsträger eines Verpackungsroboters gemäß vorgegebenen Anforderungen auszuwählen, konfrontiert. Die Anforderungen sind einem Lastenheft entsprechend formuliert. Eine Übersicht der Anforderungen ist dem nachfolgenden Kapitel zu entnehmen (vgl. Kap. 7.3.2).

Um die Anforderungen, die an das Profil des Längsträgers gestellt werden, überprüfen zu können, können die SchülerInnen

- mit dem Experimentiersystem Lastsituationen simulieren und entsprechend das Biegeverhalten von einseitig eingespannten Trägern das Gewicht und die Kosten von vier unterschiedlichen Profilformen des Längsträgers untersuchen.

Folglich müssen, neben dem Biegeverhalten, weitere Dimensionen, wie Kosten und Gewicht der Profile des Längsträgers, in die Bearbeitung des technischen Experiments mit einbezogen werden, wodurch die Mehrdimensionalität, die nicht nur Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, sondern auch Zweck-Mittel-Relationen berücksichtigt, besonders deutlich hervorgehoben wird (vgl. Kap. 2.1.4).

Das übergeordnete Ziel des technischen Experiments ist es, aus vier vorgegebenen Profilformen des Längsträgers eines Verpackungsroboters, unter Berücksichtigung von spezifischen Anforderungen (z. B. Gewicht, Kosten, Biegesteifigkeit), dasjenige auszuwählen, welches alle Anforderungen erfüllt (vgl. Abbildung 7.14).

Dazu ist das Erreichen einer Reihe von Teilzielen notwendig, die im Folgenden vorgestellt werden.

#### Ermittlung des Gewichts der Profile des Längsträgers:

Die SchülerInnen können das Gewicht der Profile selbstständig ermitteln, es in die entsprechende physikalische Größeneinheit umrechnen und das Ergebnis beurteilen.

#### Ermittlung der Kosten der Profile des Längsträgers:

Anhand der Preisliste können die SchülerInnen die Kosten der Profile erfassen und diese, bezogen auf die Länge des Längsträgers, umrechnen.

#### Ermittlung der Biegesteifigkeit der Profile des Längsträgers:

Die SchülerInnen kennen die experimentelle Ermittlung der Biegesteifigkeit für einseitig eingespannte Träger und können das Vorgehen erklären. Sie können die Form und das Material als wesentliche Einflussgrößen der Biegesteifigkeit nennen. Des Weiteren haben die SchülerInnen die Funktion und Anordnung der eingesetzten Instrumente zur Ermittlung der Durchbiegung verstanden und können diese erklären.

Sie wenden die Formel für die Biegesteifigkeit von einseitig eingespannten Trägern an, um mit Hilfe der aus dem Experiment gewonnenen physikalischen Größen (Durchbiegung  $f$  und Kraft  $F$ ) die Biegesteifigkeit  $B$  der Profile des Längsträgers berechnen zu können.

7.3.2 STRUKTURELLER AUFBAU DES TECHNISCHEN EXPERIMENTS<sup>93</sup>

Nachdem das technische Experiment inhaltlich und zielbezogen vorgestellt wurde, wird im Folgenden die strukturelle Umsetzung vorgestellt, wobei der Aufbau gemäß der Phasenstruktur technischer Experimente (vgl. Kap. 2.1.5 und 2.2) erfolgte.

### 1) Erkennen des technischen Problems bzw. der Problemsituation.

Die Problemstellung des technischen Experiments bildet die Automatisierung der Verpackung von Schokoladenaufstrich.

Diese soll mit Hilfe eines Roboters erfolgen, wobei die Gläser vom Transportband in Kartons sortiert werden (vgl. Abbildung 7.14).

Die Form für das Profil des Längsträgers des Verpackungsroboters steht nicht fest und muss aus vier möglichen Profilen ausgewählt werden.

Um eine begründete Auswahl des geeigneten Profils für den Längsträger zu ermöglichen, werden insgesamt vier

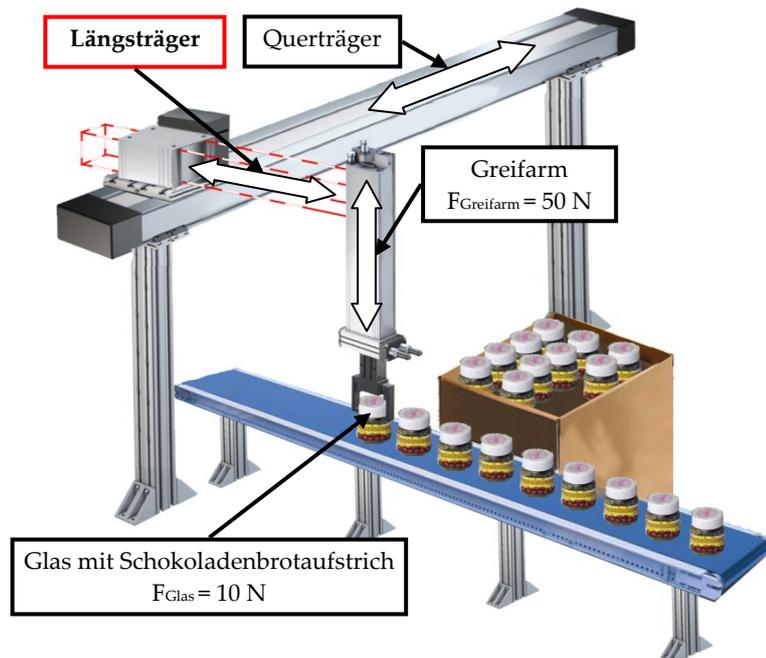


Abbildung 7.14: Verpackungsroboter des technischen Experiments

Anforderungen an die Profile gestellt (vgl. Tabelle 7.1).

Tabelle 7.1: Anforderung an die Profile des Längsträgers

1) Anforderung	2) Beschreibung	3) Grenzwert
<b>Gesamtlänge</b>	Die Gesamtlänge, die der Längsträger nicht überschreiten darf.	max. 70 cm
<b>Biegesteifigkeit B</b>	Widerstand des jeweiligen Profils gegen Biegeverformung.	$B = \text{min. } 700 \text{ Nm}^2$
<b>Kosten K</b>	Kosten des jeweiligen Profils auf die Gesamtlänge von 70 cm.	$K = \text{max. } 150\text{€}/70 \text{ cm}$
<b>Gewicht m</b>	Gewicht des jeweiligen Profils bei einer Gesamtlänge von 70 cm.	$M = \text{max. } 400 \text{ g}$

<sup>93</sup> Einen detaillierten Überblick der eingesetzten Lernmaterialien findet sich in Kapitel 12.1.

Als Unterstützungshilfe wurde in dieser Phase die Problemstellung visualisiert und abschließend wurden konkrete Arbeitsaufträge formuliert (vgl. Abbildung 7.15 und Abbildung 7.16).

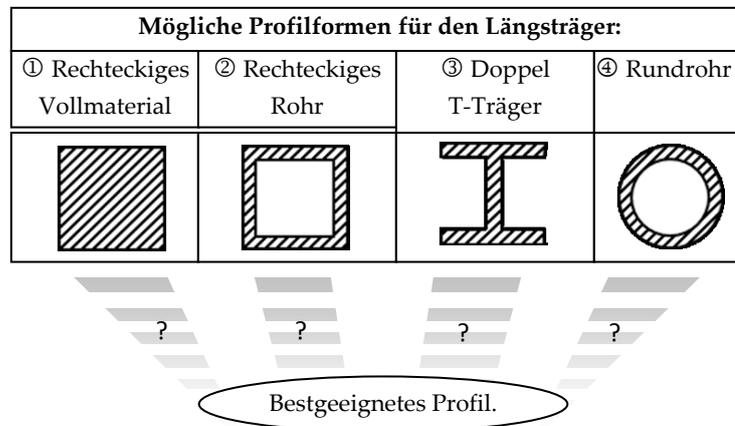


Abbildung 7.15: Visualisierung der Problemstellung des technischen Experiments

Dein Auftrag ist es, ...

- ... dich zu informieren, welche **Anforderungen** an den **Längsträger** des Roboters gestellt werden.
- ... durch Versuche herauszufinden, welches Profil die Anforderungen für den **Längsträger** erfüllt und welches nicht.
- ... das Profil auszuwählen, welches die Anforderungen am besten erfüllt.

**Los geht's!**  
**Jetzt bist Du gefragt.**

Abbildung 7.16: Arbeitsaufträge des technischen Experiments

## 2) Entwickeln von Vermutungen (Hypothesen) und Formulieren von Ideen/ Lösungsansätzen.

Bevor die SchülerInnen das technische Experiment bearbeiten, wurden sie aufgefordert, auf Basis ihres bisherigen Vorwissens erste Vermutungen über das Verhalten des jeweiligen Profils anzustellen. Dies konnten die SchülerInnen anhand einer Skala für die jeweilige Anforderung vornehmen, auf der sie die Profile (bzw. die Nummern ①-④) verorten konnten.

Als Hilfe hatten die SchülerInnen ein Informationsblatt zur Biegesteifigkeit<sup>94</sup>, in dem zentrale Begriffe (z. B. Biegesteifigkeit) und weitere, die Biegesteifigkeit beeinflussende Faktoren erklärt wurden (vgl. Abbildung 7.17).

<sup>94</sup> Siehe Anhang Kapitel 12.1.2.

- Stelle hier deine Vermutungen auf, welches Profil die Anforderungen am besten erfüllen könnte.  
Trage dazu die restlichen Anforderungen aus der Tabelle (von S. 3) unter das gegebene Beispiel „Gesamtlänge“ ein.  
Ordne dann die Profile (①②③④ von S. 3) den Anforderungen zu, indem Du die Nummern der Profile entsprechend auf dem Pfeil platzierst. Als Beispiel ist die „Gesamtlänge“ bereits eingetragen.

1. <u>  Gesamtlänge L  </u> :	Anforderung erfüllt	← ①②③④ →	Anforderung nicht erfüllt
2. _____ :	Anforderung erfüllt	← →	Anforderung nicht erfüllt
3. _____ :	Anforderung erfüllt	← →	Anforderung nicht erfüllt
4. _____ :	Anforderung erfüllt	← →	Anforderung nicht erfüllt

Abbildung 7.17: Ideen/Vermutungen über das Verhalten der jeweiligen Profile in Bezug auf die gestellten Anforderungen

### 3) Vorbereiten des Experiments (Versuchsaufbau und Handlungsplanung).

Damit die Durchführung des technischen Experiments nicht unüberlegt und überstürzt begonnen werden konnte, wurden die SchülerInnen in diesem Teil aufgefordert, den Versuchsaufbau und die darin involvierten Instrumente sowie deren Anordnung bzw. Funktion nachzuvollziehen und ihr Vorgehen zu planen. Dazu wurden die SchülerInnen angehalten, die Versuchsmaterialien des Versuchsaufbaus dem jeweiligen Handlungsschritt zuzuordnen (vgl. Abbildung 7.18; Tabelle 7.2).

- Als Hilfe für die Versuchsdurchführung ist es wichtig, Dein Vorgehen zu planen.  
Ordne dazu jedem **Handlungsschritt** des Versuches die Nummern der benötigten **Versuchsmaterialien** (z. B. Kraftmesser, Waage, Profil, etc.) des Versuchsaufbaus zu.

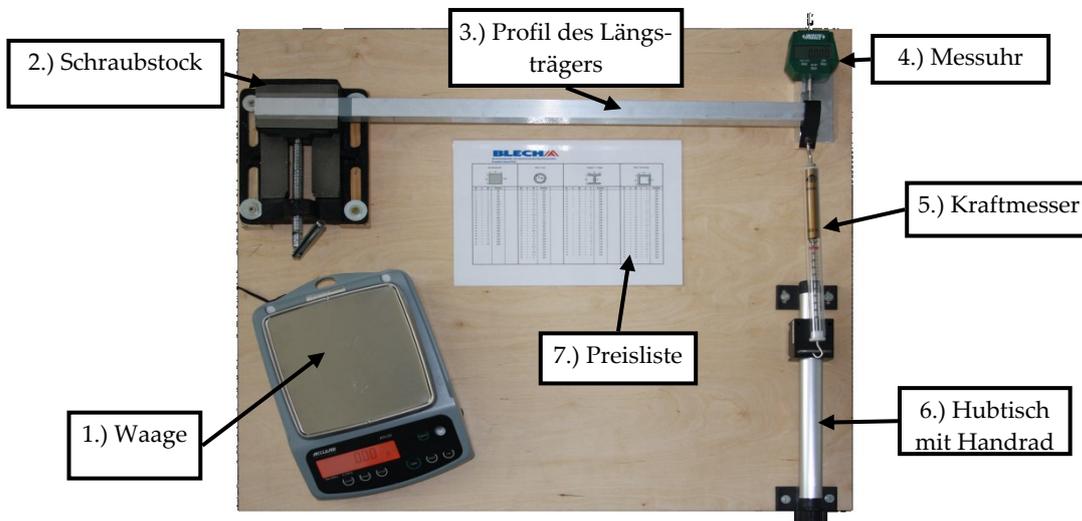


Abbildung 7.18: Versuchsaufbau und -materialien des technischen Experiments

Tabelle 7.2: Handlungsschritte des technischen Experiments

Handlungsschritte	Verwendete Versuchsmaterialien (Mehrfachnennungen sind möglich)
Wiegen der Profile des Längsträgers	
Biegen der Profile des Längsträgers	
Kosten der Profile des Längsträgers ermitteln	

Das Planen der Handlungsschritte und die darin involvierten Instrumente bildeten den Übergang zur Durchführungsphase.

#### 4) Durchführen des Experiments.

Die Möglichkeiten der Ergebnisgewinnung unterscheiden sich zentral in den einzelnen Treatmentgruppen, nicht jedoch die Struktur und die Lernunterlagen des technischen Experiments (vgl. Kap. 7.2.2.1).

So setzen in dieser Phase die SchülerInnen ihr geplantes Vorgehen<sup>95</sup> um und ermitteln die zur Aus- und Bewertung notwendigen Werte (z. B. das Gewicht, Durchbiegung oder den Preis) der vier Profilformen des Längsträgers, wozu ihnen nachfolgende Tabelle sowie das Informationsblatt zur Biegesteifigkeit zur Verfügung standen (vgl. Tabelle 7.3).

---

<sup>95</sup> Diese Phase unterscheidet sich grundlegend in den jeweiligen Treatments (vgl. Kap. 7.2.2). So können die Ergebnisse entweder „handelnd“ am realen Experiment durch die SchülerInnen selbst, „beobachtend“ durch Videos am Computer oder „lesend“ durch einen Lerntext gewonnen bzw. nachvollzogen werden.

Tabelle 7.3: Notizmöglichkeit für Ergebnisse der Versuchsdurchführung sowie der Berechnungen der Auswertungsphase

<b>Profilformen:</b>	① 	② 	③ 	④ 
<b>Abstand L [cm]</b>	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm
<b>Belastung durch die äußere Kraft F [N]</b> <i>Bitte trage hier die !maximal auftretende! Belastung des Profils in Newton ein.</i>				
<b>Durchbiegung f [mm]</b> <i>Bitte trage hier die Durchbiegung des Profils in Millimeter ein.</i>				
<b>Durchbiegung f [m]</b> <i>Bitte trage hier die Durchbiegung des Profils in Meter ein.</i>				
<b>Biegesteifigkeit B [Nm<sup>2</sup>]</b> <i>Bitte trage hier die Biegesteifigkeit des Profils in Newton mal Meter<sup>2</sup> ein.</i>				
<b>Gewicht m in Kilogramm [kg]</b> <i>Bitte trage hier das Gesamtgewicht des Profils in Kilogramm ein.</i>				
<b>Kosten K pro Zentimeter [€/70 cm]</b> <i>Bitte trage hier die Kosten für die Gesamtlänge des Profils in ein.</i>				

### 5) Auswerten der Ergebnisse.

Um aus den ermittelten Ergebnissen prüfen zu können, welches Profil die Anforderungen (bzgl. Gewicht, Durchbiegung, Kosten) erfüllt, müssen die ermittelten Werte zunächst in entsprechende Einheiten umgerechnet werden, damit diese für abschließende Berechnungen verwendet werden können (z. B. die Durchbiegung  $f$  und die Länge  $L$  des Profils für die Berechnung der Biegesteifigkeit  $B$ ). Diesen Schritt konnten die SchülerInnen ebenfalls in Tabelle 7.3 und dort enthaltenem Freiraum bearbeiten. Auch hier konnten die SchülerInnen auf das Informationsblatt zur Biegesteifigkeit zurückgreifen, wo eine Beispielrechnung abgebildet ist.

### 6) Bewerten der Ergebnisse in Bezug auf die technische Problemstellung.

In dieser Phase des technischen Experiments wurden die SchülerInnen zunächst aufgefordert, die eingangs formulierten Vermutungen mit den gewonnenen Ergebnissen zu vergleichen. Dazu mussten sie ergebnisbasiert entscheiden, welche Profile den Anforderungen nun genügten und welche nicht. Festhalten konnten sie dies wiederum auf der gleichen Skala aus Phase 2) (vgl. Abbildung 7.17). Weiter mussten sie begründen, welches Profil nun allen

Anforderungen genügt und daher am besten für den Einsatz als Längsträger des Verpackungsroboters geeignet scheint.

Abschluss der Bewertungsphase bildete eine Frage, die die SchülerInnen aufforderte, die gewonnenen Ergebnisse zu reflektieren und die Form neben dem Material als hauptsächlichen Einflussfaktor für die Biegesteifigkeit und damit auch für die Durchbiegung zu erkennen (vgl. Abbildung 7.19).

- Welche Deiner Ideen/Vermutung haben sich bestätigt und welche nicht? Ordne dazu wieder die Profile (①②③④) **aufgrund Deiner Ergebnisse** den Anforderungen zu und **vergleiche** sie mit **Deinen Zuordnungen zu Beginn** des Experiments (siehe Ideen/Vermutungen).

1. <u>Gesamtlänge L</u> :	Anforderung erfüllt	← ①②③④ →	Anforderung nicht erfüllt
2. _____ :	Anforderung erfüllt	← →	Anforderung nicht erfüllt
3. _____ :	Anforderung erfüllt	← →	Anforderung nicht erfüllt
4. _____ :	Anforderung erfüllt	← →	Anforderung nicht erfüllt

- Entscheide, welches Profil aufgrund Deiner Versuchsauswertung am besten für den Längsträger geeignet ist und schreibe Deine Antwort auf.

---



---

- Der ③ **Doppel T-Träger** und das ④ **Rundrohr** besitzen beide gleich große **Querschnittsflächen  $A_q$**  (siehe Tabelle S. 3), sind aus dem gleichen Material und wurden gleich stark belastet.  
Dennoch hast Du im Experiment unterschiedliche **Durchbiegungen  $f$**  für das jeweilige Profil ermittelt.  
Welcher weitere Faktor könnte für diesen Unterschied verantwortlich sein?

---



---

Abbildung 7.19: Ausschnitt der Bewertungsphase des eingesetzten Experimentierbogens des technischen Experiments

## 7.4 INSTRUMENTE ZUR ERFASSUNG DER ABHÄNGIGEN VARIABLEN

Um die Ausprägung der abhängigen Variablen erfassen zu können, wurden eigene Testinstrumente entwickelt, wobei sich die Konstruktion der Tests an dem in der Literatur vorgeschlagenen Vorgehen orientierte (vgl. Jankisz & Moosbrugger, 2008, S. 27ff; Bortz & Döring, 2006, S. 189ff; Bühner, 2006, S. 46ff; Rost, 1996, S. 32ff).

Unter einem Test wird in Anlehnung an Lienert und Raatz (1994) „ein wissenschaftliches Routineverfahren zur Untersuchung eines oder mehrerer empirisch abgrenzbarer Persönlichkeitsmerkmale mit dem Ziel einer möglichst quantitativen Aussage über den relativen Grad der individuellen Merkmalsausprägung“ treffen zu können, verstanden (Lienert & Raatz, 1994, S. 1). Im Falle dieser Untersuchung sind die interessierenden Merkmalsausprägungen das deklarative/prozedurale Wissen sowie das Interesse am Fach Technik (vgl. Kap. 7.2.1).

Die Qualität eines Tests kann gemäß entsprechender Gütekriterien beurteilt werden, wobei sich eine Einteilung in Haupt- und Nebengütekriterien etabliert hat (vgl. Abbildung 7.20; Bühner, 2006, S. 44; Moosbrugger & Kelaiva, 2008, S. 8).

Nachdem die für diese Untersuchung relevanten und umgesetzten Gütekriterien verkürzt vorgestellt wurden, sollen die entwickelten Testinstrumente entsprechend überprüft werden, ob sie den Kriterien genügen (vgl. Kap. 7.4.1 und 7.4.2).<sup>96</sup>

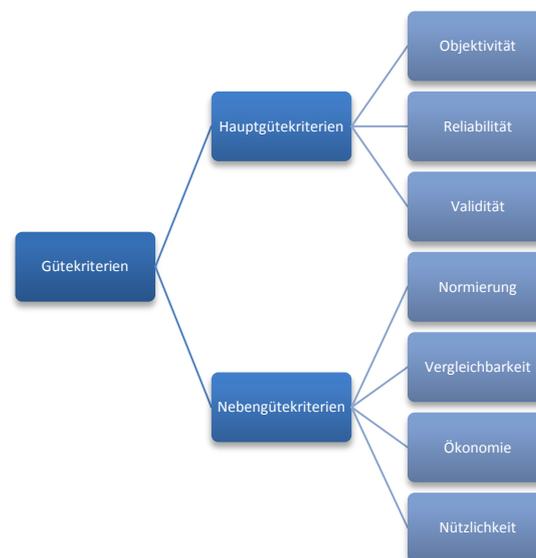


Abbildung 7.20: Gütekriterien empirisch-quantitativer Testinstrumente in Anlehnung an Bühner (2006)

### *Validität.*

Wie gut ein Test das misst, was er zu messen beansprucht, z. B. Wissen über ein gewissen Inhalt oder ein Konstrukt wie z. B. Intelligenz, wird als Validität bezeichnet (vgl. Bühner, 2006, S. 61). Neben der Konstrukt- und Kriteriumsvalidität ist in dieser Untersuchung insbesondere die Inhaltsvalidität<sup>97</sup> von gro-

<sup>96</sup> Eine Beurteilung der Instrumente bezüglich der Hauptgütekriterien (z.B. Reliabilität) sowie Aufgabenschwierigkeit und Trennschärfe wird in den Kapiteln 8.4 und 9.4 vorgenommen.

<sup>97</sup> Bortz und Döring (2006) merken kritisch an, dass die Höhe der Inhalts- bzw. Augenscheinvalidität nicht numerisch bestimmt werden kann, sondern „allein auf subjektiven Einschätzungen [beruht und es sich daher streng genommen] nicht um ein Testgütekriterium, sondern nur um eine Zielvorgabe [handelt, die] bei der Testkonstruktion bedacht werden sollte“ (Bortz & Döring, 2006, S. 200).

ßer Bedeutung. Sie kann als gegeben angesehen werden, wenn die Aufgaben des Tests das zu messende Konstrukt bzw. die zu erfassende Merkmalsausprägung in den wichtigsten Bereichen erschöpfend erfasst. Bezogen auf die diese Arbeit bedeutet dies, dass der Test bzw. die Aufgaben inhaltlich das technische Experiment und das durch die Bearbeitung erworbene deklarative und prozedurale Wissen repräsentieren muss.

#### *Reliabilität.*

Die Reliabilität eines Tests bezeichnet die Genauigkeit, mit der eine Merkmalsausprägung, z. B. deklaratives oder prozedurales Wissen, erfasst bzw. gemessen wird. Oder anders ausgedrückt: Inwieweit der Test, das was er zu messen beabsichtigt, exakt misst.

Zur Kontrolle der Reliabilität soll in dieser Untersuchung die interne Konsistenz mit dem Alphakoeffizienten nach Cronbach herangezogen werden, da dieser zu stabileren Schätzungen der Reliabilität führt als andere Reliabilitätsberechnungen bzw. -methoden (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 198f).<sup>98</sup>

#### *Objektivität.*

Ein Test ist dann objektiv, wenn die Testergebnisse unabhängig vom Testanwender sind. Weiter kann, bezogen auf den Prozess des Testens, die Objektivität weiter in Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität aufgefächert werden (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 195f; Bühner, 2006, S. 35f; Rost, 1996, S. 39f). Die Durchführungsobjektivität kann durch standardisierte Instruktionen, z. B. bei der Testausgabe o. ä., in Form eines Protokollbogens mit Bearbeitungshinweisen sichergestellt werden. Gleiches gilt auch für die Auswertungsobjektivität, wobei der Aufgabentyp<sup>99</sup> hier großen Einfluss besitzt. Auch hier ist die Vorgabe einer genauen Auswertungsvorschrift notwendig, aus der die Aufgabenbeantwortung (z. B. richtig oder falsch) und die Antwortbewertung (welche Antworten sind „richtig“, welche nicht, und wie viele Punkte werden für welche Antwort vergeben) eindeutig hervorgehen. Für die Interpretationsobjektivität müssen Vergleichswerte bzw. Normen vorliegen, mit denen die erhobenen Ergebnisse abgeglichen werden können. Bortz und Döring (2006) merken zur Objektivität an, dass diese leicht realisierbar sei, wenn man geschulte Testanweiser einsetzt, denen Protokollbögen zur Verfügung stehen, in denen festgelegt ist, wie der Test durchzuführen, auszuwerten und das Ergebnis zu interpretieren ist.

---

<sup>98</sup> Dies gilt nur für die Voruntersuchung (vgl. Kap. 8), da die Hauptuntersuchung nicht nach der klassischen, sondern auf Basis der Probabilistischen Testtheorie ausgewertet wurde, der ein anderer Reliabilitätsbegriff zugrunde liegt (vgl. Kap. 9.4.1.5).

<sup>99</sup> „Aufgabentypen“ meint im Wesentlichen das Antwortformat der Aufgaben (frei/gebunden/atypisch) (vgl. Jankisz & Moosbrugger, 2008, S. 38f).

### 7.4.1 WISSENSTEST

Unter Berücksichtigung der Zielgruppe dieser Arbeit erfolgte die Testkonstruktion mit dem Fokus, einerseits Aufgaben zu entwickeln, die inhaltlich das technische Experiment und das durch die Bearbeitung erworbene deklarative und prozedurale Wissen erfassen<sup>100</sup>, und andererseits ausreichend viele leichte, sowie schwere Aufgaben für SchülerInnen der 9. bis 11. Klasse bereitstellen. Damit sollte die Diagnose individueller Leistungsunterschiede, welche durch die Bearbeitung des technischen Experiments erworben werden sollen, ermöglicht werden.

Als Rahmenvorgabe sollte die Bearbeitungszeit für den Wissenstest insgesamt 30 Minuten nicht überschreiten, um eine Durchführung des Tests im Regelunterricht einer Einzelstunde gewährleisten zu können. Weiter sollte der Test als Paper-Pencil-Test den SchülerInnen vorgelegt werden.

Die zu erfassenden Merkmale des Tests, also deklaratives und prozedurales Wissen, sollten ebenfalls durch einen angemessenen Umfang an Aufgaben repräsentiert sein.

Insgesamt wurden 27 Aufgaben (13 deklarativ; 14 prozedural) für den Test der Voruntersuchung und 31 (16 deklarativ; 15 prozedural) für den Test der Hauptuntersuchung entwickelt.<sup>101</sup> Inhaltlich orientierten sich die Aufgaben an den in Kapitel 7.3.1 formulierten Inhalten und Zielen des technischen Experiments. Die Aufgaben wurden gemeinsam mit Seminarleitern beider Schulstufen entwickelt und auf ihre „Praxistauglichkeit“ hin evaluiert.

Das Aufgabenspektrum des entwickelten Tests reichte von Aufgaben mit offenen Antwortformaten, im Sinne von Kurzantwort- und Ergänzungsaufgaben, bis hin zu Aufgaben mit gebundenem Antwortformat (Zuordnungs- und Mehrfachwahlaufgaben) (vgl. Jankisz & Moosbrugger, 2008, S. 38ff; Rost, 1996, S. 59ff). Der Einsatz verschiedener Aufgabenformate erfolgte bewusst mit dem Ziel, die unterschiedlichen Vorteile der jeweiligen Aufgabenformate nutzen zu können.

Entsprechend wurden Aufgaben mit gebundenen Antwortformaten verwendet, da diese den Vorteil einer schnellen, also ökonomischen und objektiven Auswertung mit sich bringen. Die Ratewahrscheinlichkeit kann bei einer ausreichenden Anzahl (größer 5) von „guten“ Distraktoren vernachlässigt werden. Bei Mehrfachwahlaufgaben, auch Multiple-Choice-Aufgaben genannt, sind die SchülerInnen dazu angehalten, aus mehreren Antwortalternativen die richtige zu erkennen und auszuwählen. Dieser Aufgabentyp wird auch in aktuellen Schulleistungstudien wie PISA oder TIMSS verwendet, um das

---

<sup>100</sup> Vgl. Ausführungen in Kapitel 7.1 zur Inhaltsvalidität.

<sup>101</sup> Die Aufgaben der Tests aus Vor- und Hauptuntersuchung sind, bis auf wenige Revisionen der Distraktoren bzw. Fragestellung, fast identisch. Eine genaue Zuordnung der Testaufgaben von Vor- und Hauptuntersuchung ist in Kapitel 8.5 gegeben.

Wissen von SchülerInnen zu überprüfen (vgl. Klauer, 2001, S. 103f). Gleiches gilt auch für Um- bzw. Zuordnungsaufgaben. Hier ist insbesondere darauf zu achten, dass die Menge an Zu- bzw. Umordnungsalternativen größer ist als die Zielkategorien, da sonst die letzte Zu- bzw. Umordnung geschenkt werden würde (vgl. Klauer, 2001, S. 115). Hingegen der weitverbreiteten Meinung, Multiple-Choice-Aufgaben könnten nur Denkprozesse niedriger Ordnung, z. B. der Wissensreproduktion erfassen, weisen Gage und Berliner (1996) sowie Duit, Häußler und Prenzel (2001) darauf hin, dass Multiple-Choice-Aufgaben durchaus zur Erfassung von Denkprozessen höherer Ordnung in Form einer vertikalen Differenzierung geeignet sind (vgl. Anderson, Krathwohl & Bloom, 2001, S. 67f; Duit et al., 2001, S. 182; Gage & Berliner, 1996, S. 651ff).

Aufgaben mit freiem Antwortformat wird per se die Fähigkeit zugesprochen, neben Wissen auch Verständnis bzw. Problemlöse- oder Analyseprozesse erfassen zu können. So werden SchülerInnen sowohl bei Ergänzungs- als auch bei Kurzantwortaufgaben aufgefordert, die Lösung selbst zu formulieren, was über das reine Wiedererkennen von Wissen(-sinhalten) hinausgeht und somit Denkprozesse höherer Ordnung verlangt (vgl. Jankisz & Moosbrugger, 2008, S. 40ff). Ein großer Nachteil von Aufgaben mit freien Antwortformaten liegt in der Auswertobjektivität, da die Bewertung einer Antwort (richtig/falsch) sehr stark zwischen den Auswertern variieren kann. Diesem Nachteil kann, in Anlehnung an Klauer (2001), begegnet werden, indem die Antwortmöglichkeiten (richtig/falsch) in einem Protokoll- bzw. Lösungsbogen und deren Bewertung vorgegeben werden (vgl. Klauer, 2001, S. 105).

Nachdem nun die eingesetzten Aufgabentypen und deren Vor- bzw. Nachteile vorgestellt wurden, wird im Folgenden die Zuordnung der Aufgaben zu den Wissensbereichen vorgenommen. Basis für die Zuordnung der Aufgaben ist die in Kapitel 5.2 entwickelte und dieser Untersuchung zugrunde gelegte Matrix der Wissensarten. Exemplarisch sollen jeweils zwei Aufgaben zur Erfassung von deklarativem und prozeduralem Wissen vorgestellt und kommentiert werden.<sup>102</sup>

---

<sup>102</sup> Es gilt kritisch anzumerken, dass eine eindeutige Zuordnung der Aufgaben zu einer Wissensart aufgrund der begrifflichen Unschärfe in der Literatur nur schwer möglich ist und es weiter nicht möglich ist, von außen zu beurteilen, ob die SchülerInnen die Aufgabe vorrangig auf Basis von deklarativem und/oder prozeduralem Wissen gelöst haben (vgl. Knöll, 2007, S. 220).

*Beispielaufgaben zur Erfassung von primär deklarativem Wissen.<sup>103</sup>*

13. a) Wie nennt sich der Fachbegriff für den Widerstand, den ein Material gegen eine Biegeverformung aufbringt?

13. b) Nenne die Formel für den Fachbegriff.

Abbildung 7.21: Beispielaufgabe zur Erfassung von deklarativem Sachwissen

Die Aufgaben 13 a) und b) erfordern lediglich das Nennen des Fachbegriffes für die Biegeverformung und die zugehörige Formel, womit gemäß der der Arbeit zugrunde liegenden Definition nur deklaratives Sachwissen<sup>104</sup> für die Bearbeitung dieser Aufgaben benötigt wird (vgl. Abbildung 7.21).

11.) Du willst mithilfe eines Experiments herausfinden, welches der vier Profile als Längsträger am besten geeignet ist.

In welcher Reihenfolge würdest Du vorgehen? Kreuze an.

- A) Mithilfe eines Versuchsaufbaus die exakten Werte ermitteln.
- B) Feststellen der Anforderungen.
- C) Ideen und Vermutungen formulieren, wie die Anforderungen ermittelt werden könnten.
- D) Anhand der Versuchsergebnisse das bestgeeignetste Profil auswählen.

- |                                  |                                  |                                     |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> D-A-C-B | <input type="checkbox"/> B-C-D-A | <input type="checkbox"/> B-C-A-D    |
| <input type="checkbox"/> B-A-C-D | <input type="checkbox"/> A-D-B-C | <input type="checkbox"/> Weiß nicht |

Abbildung 7.22: Beispielaufgabe zur Erfassung von deklarativem Handlungswissen

Das Angeben und Beschreiben von situationsspezifischen Handlungsschritten, die zur Zielerreichung notwendig sind, stellt den Schwerpunkt der Aufgabe 11 dar (vgl. Abbildung 7.22). Hier werden die SchülerInnen aufgefordert, den Prozess bzw. die Phasen des technischen Experiments in der richtigen Reihenfolge zu nennen. Diese Aufgabe erfasst somit deklaratives Handlungswissen.

<sup>103</sup> Die Nummerierungen der Aufgaben beziehen sich auf den Test der Hauptuntersuchung (vgl. Kap. 12.3.2).

<sup>104</sup> Verstanden als das Benennen von Fakten, Sachverhalten und Begriffe eines Realitätsausschnitts (vgl. Kap. 5.2).

*Beispielaufgaben zur Erfassung von primär prozeduralem Wissen.<sup>105</sup>*

18.) Wie verändert sich die **Durchbiegung f** des Längsträgers, wenn sich bei gleichem **Abstand L** die **Kraft F** vergrößert?

Abbildung 7.23: Beispielaufgabe zur Erfassung von prozeduralem Sachwissen

Die Aufgabe 18 fordert die SchülerInnen heraus, zunächst die situationsspezifischen Merkmale und Zusammenhänge zu erkennen und die Veränderung der Durchbiegung f durch die Erhöhung der Kraft F anzugeben (vgl. Abbildung 7.23).<sup>106</sup> Daher scheint sie geeignet, prozedurales Sachwissen zu erfassen.

24.) In einer Messung eines Profils des Längsträgers wurden folgende Werte ermittelt:

	Kraft F	Durchbiegung f	Abstand L
1. Messung	120 N	0,02 m	1 m

Welche Biegesteifigkeit besitzt der Träger?

- Ergänze dazu die Berechnung der 1. Messung und berechne die Biegesteifigkeit des Profils.

1. Messung:

$$B = \frac{120 \text{ N} \cdot (1 \text{ m})^3}{3 \cdot \boxed{\phantom{000000}}}$$

B =

Abbildung 7.24: Beispielaufgabe zur Erfassung von prozeduralem Handlungswissen

Das Nennen der Formel für die Biegesteifigkeit oder das Angeben der Veränderung der Durchbiegung f setzt noch nicht voraus, dass die SchülerInnen in der Lage sind, die Biegesteifigkeit eines einseitig eingespannten Trägers tatsächlich zu berechnen, d. h. die kognitiven oder motorischen Operationen/Handlungen bezogen auf einen bestimmten Kontext aus- bzw. durchzuführen. Aufgaben mit diesem Schwerpunkt, wie z. B. die aufgeführte Aufgabe 24, erfassen daher prozedurales Handlungswissen (vgl. Abbildung 7.24).

<sup>105</sup> Die Nummerierungen der Aufgaben beziehen sich auf den Test der Hauptuntersuchung (vgl. Kap. 12.3.2).

<sup>106</sup> Die Veränderung kann auf Basis der Formel, siehe Aufgabe 13 b) für die Biegesteifigkeit für einseitig eingespannte Träger, leicht abgeleitet werden.

Abschließend soll nun der hier entwickelte Test entsprechend der eingangs formulierten Gütekriterien bewertet werden.

Bezogen auf die *Inhaltsvalidität* des Tests kann angemerkt werden, dass diese, bedingt durch die Orientierung an den Inhalten und Zielen des technischen Experiments und die abschließende Evaluation durch Seminarleiter und Techniklehrer, als erfüllt angesehen werden kann. Der umfangreiche Aufgabenpool stellt zusätzlich sicher, dass der entwickelte Test inhaltlich das technische Experiment erschöpfend abbildet. Die Zuordnung von Aufgaben zu den entsprechenden Wissensarten lässt eine balancierte Abbildung bzw. Erfassung von prozeduralem und deklarativem Wissen zu.

Durch den Einsatz von Aufgaben mit unterschiedlichen Antwortformaten, mit exakten Instruktions- bzw. Lösungsbögen sowie geschultem Testpersonal kann die *Durchführungs-* und *Auswertungsobjektivität* als gegeben und durch die Konstruktion des Tests als Paper-Pencil-Test der *ökonomische* Aufwand als gering bezeichnet werden.

## 7.4.2 FACHINTERESSE UND DEMOGRAFISCHE DATEN

Neben dem Wissen wird das Interesse am Fach Technik, welches in Bezug auf die Person-Gegenstands-Theorie als relativ stabiles Personenmerkmal angesehen werden kann, angelehnt an Baumert, Roeder, Sang und Schmitz (1986), durch acht Beurteilungsaufgaben mit jeweils 4 Antwortmöglichkeiten (die von „trifft gar nicht zu“ bis „trifft völlig zu“ reichen) erfasst (vgl. Kap. 7.4.2; Krapp, 1998; Schiefele, 1996; Baumert et al., 1986). Dieser Fragebogen wurde bereits in Bereichen der Naturwissenschaften eingesetzt, wo er sich durch eine sehr gute Durchführungs- und Auswertobjektivität, Reliabilität und hohe Ökonomie auszeichnete und somit auch für diese Arbeit geeignet scheint (vgl. Gößling, 2010, S. 75f; Thillmann, 2007, S. 110; Künsting, 2007, S. 89f).

Durch Adaption der Beurteilungsaufgaben des Fragebogens auf das Fach Technik und die Erweiterung der ursprünglich sechs Aufgaben um zwei selbst entwickelte wurde versucht, die Inhaltsvalidität des Fragebogens für das Interesse am Fach Technik zu gewährleisten (vgl. Tabelle 7.4).

Tabelle 7.4: Beurteilungsaufgaben über das Interesse am Fach Technik

**2.) Einstellungen zum Fach Technik:**

	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft nicht zu	Trifft gar nicht zu
a) Macht Dir das Fach Technik Spaß?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Hast Du schon mal im Technikunterricht ein Experiment bearbeitet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Beteiligst Du Dich am Technikunterricht aktiv?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Mir liegt viel daran, viel über Technik zu wissen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Ich freue mich auf den Technikunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f) Technik gehört für mich zu den wichtigen Fächern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g) Mein Interesse am Fach Technik ist hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h) Machen Dir technische Experimente Spaß?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ergänzend wurden, um den Einfluss von demografischen Daten auf die abhängigen Variablen prüfen zu können, Alter, Geschlecht, Schulform sowie die letzten Zeugnisnoten in Technik, Physik, Mathematik, Deutsch und Englisch der SchülerInnen mit Hilfe eines selbst entwickelten Fragebogens erhoben (vgl. Tabelle 7.5).

Tabelle 7.5: Fragebogen zur Ermittlung der demografischen Daten

**1.) Angaben zur Person:**

Wie alt bist Du?

Kreuze hier Dein Geschlecht an:

Mädchen

Junge

In welcher Schulform gehst Du im Moment zur Schule?

Gymnasium:

Gesamtschule:

Realschule:

Andere:

In welcher Klasse bist Du im Moment?

Bitte trage hier **Deine** letzte Zeugnisnote für folgende Fächer ein:

**Technik**

**Mathematik**

**Physik**

**Deutsch**

**Englisch**

---

## 8 VORUNTERSUCHUNG [VU]

---

Nachdem das Ziel (vgl. Kap. 8.1) und in Kapitel 8.2 die Stichprobe der Voruntersuchung vorgestellt werden, bildet der Erhebungsverlauf den Schwerpunkt des Kapitels 8.3. Im Anschluss werden die entwickelten Instrumente gemäß den Gütekriterien beurteilt (vgl. Kap. 8.4) und abschließend die Ergebnisse der Voruntersuchung vorgestellt (vgl. Kap. 8.5).

### 8.1 ZIEL

Das Ziel der Voruntersuchung bestand im Wesentlichen darin, das Forschungsdesign in inhaltlicher, organisatorischer und struktureller Hinsicht zu erproben. Insbesondere die entwickelten Instrumente zur Erfassung der abhängigen Variablen sollten auf ihre Güte untersucht werden.

### 8.2 STICHPROBE

Die Vorstudie wurde an zwei Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Insgesamt nahmen 53 SchülerInnen (56.6% männlich; 43.4% weiblich) aus den Klassen 10 (45%) und 11 (55%) mit einem Durchschnittsalter von  $M=16.7$  ( $SD=.92$ ) teil. Im Erhebungszeitraum standen an den Gesamtschulen leider keine neunten Klassen zur Verfügung. Bezogen auf die erhobene Stichprobe kann eine gleichmäßige Verteilung des Geschlechts und der Klassen verzeichnet werden. Von den 53 SchülerInnen liegen 45 (57% männlich; 43% weiblich) vollständige Datensätze aus der Voruntersuchung vor, wobei die Verteilung der SchülerInnen auf die Treatments und die Kontrollgruppe nachfolgender Tabelle entnommen werden kann (vgl. Tabelle 8.1).

Tabelle 8.1: Zuordnung der SchülerInnen der Voruntersuchung zu den Treatments sowie der Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Handeln	Beobachten	Lesen
7	12	15	11

### 8.3 VERLAUF/ABLAUF

Die Voruntersuchung wurde im Zeitraum von Mai bis Juni 2010 durchgeführt. Der Ablauf erfolgte dabei wie in Kapitel 7.2.2.1 beschrieben im Vornachtest-Design.

Der Vortest wurde von den SchülerInnen im Klassenverbund bearbeitet (30 min. Bearbeitungszeit) und konnte in einer Schulstunde durchgeführt werden. Nach einer Woche wurden die SchülerInnen randomisiert zu einem der Treatments (*handeln*, *beobachten* oder *lesen*) oder der Kontrollgruppe zugewiesen. Die SchülerInnen der Treatmentgruppen bearbeiteten in Einzelarbeit, den Treatments entsprechend, das technische Experiment (60 min. Bearbeitungs-

zeit). Die einzelnen Treatmentgruppen waren in separaten Räumen und konnten sich gegenseitig während der Bearbeitung des technischen Experiments nicht beeinflussen. Nach einer kurzen Pause wurde, im Anschluss an die Bearbeitung des technischen Experiments, der Nachtest in den Treatmentgruppen erhoben (30 min. Bearbeitungszeit). Der Nachtest wurde ebenfalls in Einzelarbeit durchgeführt. Die Kontrollgruppe bearbeitete den Nachtest direkt, ohne die Möglichkeit, ein technisches Experiment zu bearbeiten, und nahm anschließend wieder am Regelunterricht durch den Klassenlehrer teil. Die Bearbeitungszeit des Nachtests betrug auch hier 30 min.

## 8.4 INSTRUMENTE<sup>107</sup>

Da für das zu überprüfende Wissen und das Interesse am Fach Technik, keine zielgruppenadäquaten Instrumente für die Erfassung der abhängigen Variablen zur Verfügung standen, mussten diese selbst entwickelt werden. Die Entwicklung und der Aufbau wurden bereits in Kapitel 7.4 vorgestellt. Daher liegt der Schwerpunkt auf den testtheoretischen Gütekriterien der eingesetzten Instrumente. So werden im Folgenden die Aufgaben des Wissenstests (vgl. Kap. 8.4.1) und die Beurteilungsaufgaben des Tests für das Fachinteresse an dem Fach Technik (vgl. Kap. 8.4.2) hinsichtlich ihrer Schwierigkeit und Trennschärfe sowie, bezogen auf den gesamten Test, der Reliabilität betrachtet.

### 8.4.1 WISSENSTEST<sup>108</sup>

Insgesamt umfasste der eingesetzte Wissenstest 27 Aufgaben, davon 14 für prozedurales und 13 für deklaratives Wissen. Des Weiteren kamen Aufgaben mit offenen Antwortformaten, im Sinne von Kurzantwort- und Ergänzungsaufgaben, sowie Aufgaben mit gebundenen Antwortformaten (Zuordnungs- und Mehrfachwahlaufgaben) vor. Die Auswertung erfolgte auf Basis eines Lösungsbogens, außerdem wurde die Bewertung der Aufgaben dichotom (1 Pkt.= richtig; 0 Pkt.= falsch) vorgenommen. Eine Aufgabe mit offenem Aufgabenformat wurde dann als richtig bewertet, wenn alle Teilschritte korrekt oder die Antwort sinngemäß war. Folglich konnten 14 Punkte im prozeduralen und 13 Punkte im deklarativen Wissensbereich erreicht werden (vgl. Kap. 7.4.1).

Es war das Ziel der Testkonstruktion, Aufgaben zu konstruieren, die eine mittlere Aufgaben- bzw. Itemschwierigkeit ( $.2 < P < .8$ ) und eine möglichst hohe Trennschärfe ( $\text{hoch} = r_{\text{itc}} > .5$ ) aufweisen. Legt man die Beurteilungsrichtlinien für Testkennwerte und Gütekriterien nach Bühner (2006) zugrunde, fal-

---

<sup>107</sup> Im Rahmen der VU wurden die Instrumente und die damit erfassten abhängigen Variablen mit Hilfe der klassischen Testtheorie ermittelt.

<sup>108</sup> Eine Übersicht des Wissenstests der Voruntersuchung findet sich in Kapitel 12.3.1.

len die Schwierigkeiten des Nachttests mit  $P$  ( $M= .46$ ) für das prozedurale und  $P$  ( $M= .47$ ) für das deklarative Wissen in den mittleren Bereich und können damit als der Zielgruppe angemessen bezeichnet werden (vgl. Tabelle 8.2).

Tabelle 8.2: Übersicht der Aufgabenschwierigkeiten  $P$  und korrigierte Trennschärfen  $r_{itc}$  des Wissenstests aus der Voruntersuchung, getrennt nach den erfassten Wissensbereichen

Anmerkungen: Ergebnisse des Nachttests sind ohne Ergebnisse des Vortests in Klammern dargestellt.

Prozedurales Wissen			Deklaratives Wissen		
Reliabilität $\alpha= .51$ ( $\alpha= .45$ )			Reliabilität $\alpha= .76$ ( $\alpha= .30$ )		
	<b>P</b>	<b><math>r_{itc}</math></b>		<b>P</b>	<b><math>r_{itc}</math></b>
Aufgabe1	.84 (.96)	.31 (.11)	Aufgabe4	.76 (.68)	.20 (.23)
Aufgabe2	.69 (.68)	.27 (.31)	Aufgabe6	.45 (.11)	.51 (.08)
Aufgabe3 b)	.76 (.72)	.27 (.32)	Aufgabe7	.25 (.00)	.49 (.00)
Aufgabe3 a)	.53 (.36)	.24 (.21)	Aufgabe9	.22 (.04)	.34 (.40)
Aufgabe5	.24 (.13)	.30 (.11)	Aufgabe10	.55 (.43)	.43 (.12)
Aufgabe8	.53 (.53)	.37 (.11)	Aufgabe11	.84 (.53)	.25 (-.04)
Aufgabe13	.53 (.30)	.22 (.03)	Aufgabe12 a)	.35 (.04)	.65 (-.12)
Aufgabe14	.35 (.23)	.20 (.14)	Aufgabe12 b)	.31 (.00)	.57 (.00)
Aufgabe18	.24 (.06)	.11 (.04)	Aufgabe15	.67 (.43)	.45 (.30)
Aufgabe19	.94 (.87)	.06 (-.06)	Aufgabe16	.61 (.74)	.12 (.09)
Aufgabe21	.18 (.11)	-.07 (-.02)	Aufgabe17	.33 (.06)	.41 (.00)
Aufgabe23	.08 (.09)	.06 (.29)	Aufgabe20	.33 (.04)	.57 (-.19)
Aufgabe24	.43 (.38)	.27 (.27)	Aufgabe22	.37 (.28)	.07 (.20)
Aufgabe25	.08 (.00)	.13 (.00)			

Die korrigierten Trennschärfen  $r_{itc}$  fallen für das prozedurale  $r_{itc}$  ( $M= .20$ ) und deklarative  $r_{itc}$  ( $M= .39$ ) Wissen in den unteren bzw. mittleren Bereich (vgl. Bühner, 2006, S. 140). Gründe für die geringen Trennschärfen können in der Testlänge, der geringen Stichprobengröße und in der als heterogen zu bezeichnenden Zusammensetzung der Aufgaben des Tests gesehen werden (vgl. Bühner, 2006, S. 136). Zur Kontrolle der Reliabilität des Wissenstests wurde die Berechnung von Cronbachs Alpha herangezogen, da sich diese Methode für Leistungstests etabliert hat und zu stabileren Schätzungen der Reliabilität führt als andere Reliabilitätsberechnungen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 198f; Kap. 7.4).

Der Nachttest weist Reliabilitäten mit Cronbachs  $\alpha= .51$  im prozeduralen und  $\alpha= .76$  im deklarativen Wissensbereich auf. Damit fallen die Reliabilitäten in den unteren bzw. mittleren Bereich, wobei insbesondere für die prozedurale Wissensart eine Reliabilität von  $\alpha \geq .70$  anzustreben ist, da sich diese Grenze für Persönlichkeitstest etabliert hat (vgl. Schermelleh-Engel & Werner, 2008, S. 129).

Maßnahmen zur Erhöhung der Trennschärfe und Reliabilität, z. B. durch Umformulieren von Aufgaben bzw. Distraktoren-Veränderung sowie das Elimi-

nieren von zu schweren Aufgaben, und die daraus resultierte Testform für die Hauptuntersuchung werden in Kapitel 8.5 vorgestellt (vgl. Lienert & Raatz, 1994, S. 123f). Dies betrifft insbesondere die grau hinterlegten Aufgaben der Tabelle 8.2. Die Leistungsergebnisse der SchülerInnen in den einzelnen Wissensarten werden durch den Summenscore<sup>109</sup> dargestellt.

#### 8.4.2 FACHINTERESSE

Neben dem Wissen wurde das Interesse am Fach Technik, angelehnt an Baumert et al. (1986), durch acht Beurteilungsaufgaben mit jeweils 4 Antwortmöglichkeiten (die von 1= trifft gar nicht zu bis 4= trifft völlig zu reichen) erfasst (vgl. Kap. 7.4.2; Baumert et al., 1986). Dieser Fragebogen wurde bereits in Bereichen der Naturwissenschaften eingesetzt, wo er sich durch eine sehr gute Reliabilität und hohe Ökonomie auszeichnete und somit auch für diese Arbeit geeignet ist (vgl. Gößling, 2010, S. 75f; Thillmann, 2007, S. 110; Künsting, 2007, S. 89f). Um das Fachinteresse für weitere Analysen zur Verfügung zu stellen, wird der Interessensscore<sup>110</sup> gebildet.

Tabelle 8.3: Reliabilität  $\alpha$ , Mittelwerte  $M$ , Standardabweichungen  $SD$  und korrigierte Trennschärfen  $r_{itc}$  der Beurteilungsaufgaben zum Fachinteresse der Vorstudie (Vor- und Nachttest)

Vortest ( $\alpha = .87$ )				Nachttest ( $\alpha = .90$ )			
	$M$	$SD$	$r_{itc}$		$M$	$SD$	$r_{itc}$
Frage a)	3.30	.69	.77	Frage a)	3.18	.74	.77
Frage b)	3.81	.40	.29	Frage b)	3.46	.61	.51
Frage c)	3.15	.55	.43	Frage c)	2.98	.58	.42
Frage d)	2.91	.83	.79	Frage d)	2.84	.90	.83
Frage e)	3.02	.71	.68	Frage e)	2.72	.90	.83
Frage f)	2.36	.99	.62	Frage f)	2.22	.97	.69
Frage g)	2.81	.90	.86	Frage g)	2.63	.98	.82
Frage h)	3.55	.62	.55	Frage h)	3.24	.76	.53

Erwartungsgemäß konnten hier im Vor- und Nachttest hohe Reliabilitäten und mittlere Trennschärfen erreicht werden (Vortest:  $\alpha = .87$ ;  $r_{itc}$  ( $M = .62$ ) Nachttest:  $\alpha = .90$   $r_{itc}$  ( $M = .68$ )), womit dieser in der bestehenden Form in der Hauptuntersuchung eingesetzt werden kann (vgl. Tabelle 8.3).

<sup>109</sup> Dieser errechnet sich aus der Summe der richtig beantworteten Aufgaben.

<sup>110</sup> Dieser errechnet sich aus dem Mittelwert der acht Beurteilungsaufgaben des Fragebogens.

## 8.5 ERGEBNISSE DER VORUNTERSUCHUNG

Bezogen auf die Stichprobengröße der Voruntersuchung muss kritisch angemerkt werden, dass die geplante inferenzstatistische Überprüfung der Hypothesen, bedingt durch die geringe Größe der Treatmentgruppen, nicht anwendbar erscheint. Begründet wird dies durch die Sensitivität der zu verwendenden statistischen Verfahren, wie (Ko-)Varianzanalysen sowie Regressionen, auf Ausreißer und ungleiche Stichprobengrößen in den Treatmentgruppen.

Entsprechend dem Ziel der Voruntersuchung, wonach die Erprobung des Forschungsdesigns und der entwickelten Instrumente in inhaltlicher, organisatorischer und struktureller Hinsicht im Vordergrund stand, soll die im Rahmen des Untersuchungsdesign eingesetzte Randomisierung sowie die generelle Lernwirksamkeit der Treatments überprüft werden. Dazu wird die Stichprobe auf die Homogenität in den Eingangsvariablen und anschließend die Lernwirksamkeit der entwickelten Treatments untersucht.

### *Homogenität in den Eingangsvariablen.<sup>111</sup>*

Um feststellen zu können, ob sich die SchülerInnen in ihrem Fachinteresse und dem Vorwissen unterscheiden, wurde die Stichprobe getrennt nach Geschlecht (weiblich/männlich) und der aktuellen Klasse (10./11. Klasse) betrachtet. Die Geschlechtsunterschiede fallen im deklarativen ( $M= .33$ ,  $SD= 1.25$ ) und prozeduralen ( $M= .12$ ,  $SD= .24$ ) Wissen sehr gering zugunsten der Schüler aus (vgl. Abbildung 8.1, links). Hingegen besitzen SchülerInnen der 10. Klasse unerheblich mehr deklaratives ( $M= .63$ ,  $SD= .04$ ), jedoch geringeres prozedurales ( $M= .77$ ,  $SD= .50$ ) Wissen als SchülerInnen der 11. Klasse (vgl. Abbildung 8.1, rechts). Das Fachinteresse (nicht abgebildet) von SchülerInnen der 10. und 11. Klasse ist annähernd identisch ( $M= .05$ ,  $SD= .03$ ), wobei Schüler ein tendenziell höheres Fachinteresse besitzen als die Schülerinnen ( $M= .48$ ,  $SD= .08$ ).

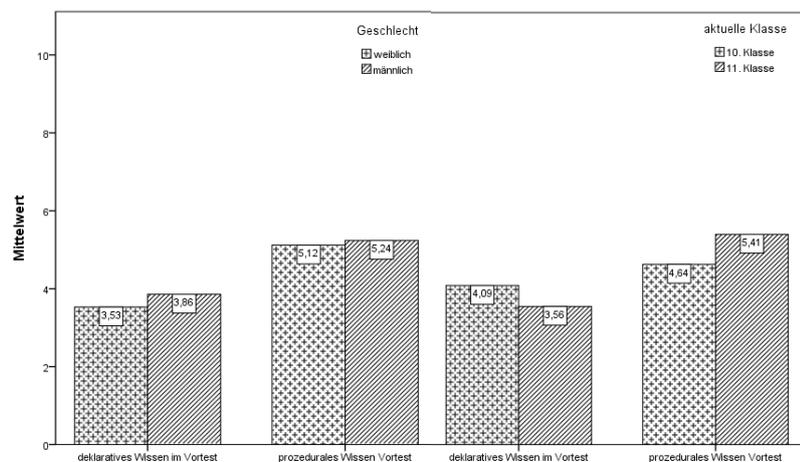


Abbildung 8.1: Mittelwerte des (deklarativen/prozeduralen) Vorwissens getrennt nach Klasse und Geschlecht betrachtet

<sup>111</sup> Für die Berechnung der Mittelwerte wurden alle 45 SchülerInnen einbezogen. Die Angaben zu den Unterschieden in den abhängigen Variablen beziehen sich auf die Mittelwerte.

*Lernwirksamkeit der Treatments (handeln, beobachten, lesen).*<sup>112</sup>

Ein gerechneter t-Test für abhängige Stichproben ergab, über alle Treatmentgruppen hinweg für beide Wissensarten und das Interesse am Fach Technik signifikante Unterschiede zwischen Vor- und Nachtest mit mittleren bis großen Effekten (vgl. Bühner & Ziegler, 2009, S. 177; Tabelle 8.4).

Tabelle 8.4: Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben

	t-Wert t	M	SD	Freiheits- grade df	Signifikanzniveau p	Effektstärke $d_z$ <sup>113</sup>
Deklaratives Wissen	-7.841	-3.74	2.94	37	< .001	-1.27
Prozedurales Wissen	-3.313	-1.05	1.96	37	< .001	-.54
Fachinteresse	3.965	.22	.348	37	< .001	.64

Folglich kann für die entwickelten Treatments festgehalten werden, dass diese allesamt lernwirksam sind und die Entwicklung deklarativen und prozeduralen Wissens fördern. Auch für das Interesse am Fach Technik kann ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Betrachtet man die Mittelwerte des deklarativen und prozeduralen Wissens in den Treatmentgruppen, so können die Ergebnisse des t-Tests gestützt werden (vgl. Abbildung 8.2).

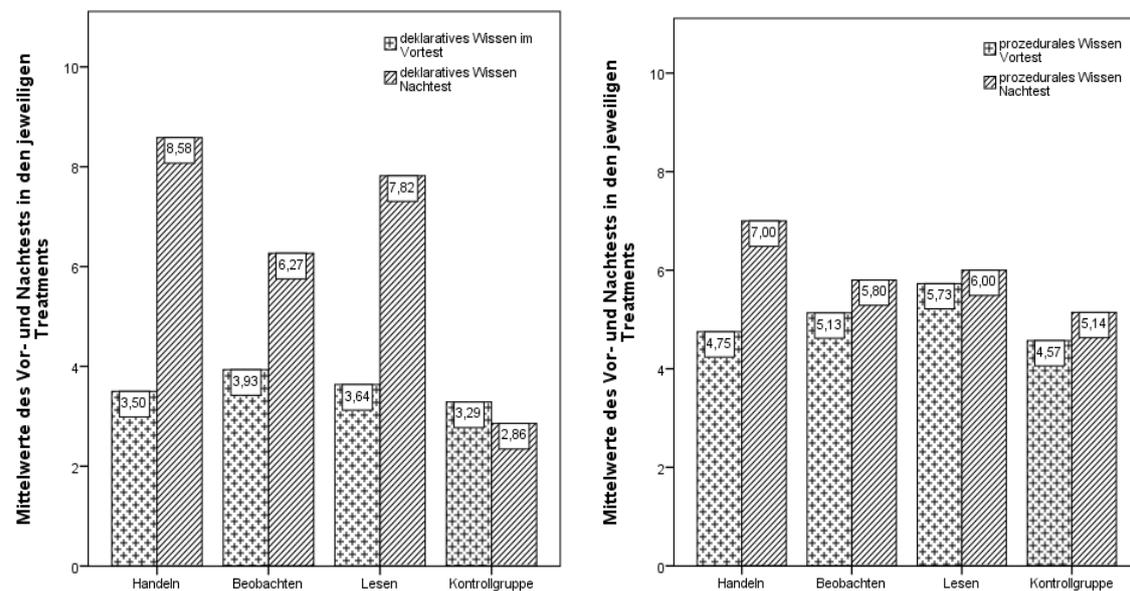


Abbildung 8.2: Mittelwerte des deklarativen und prozeduralen Wissens des Vor- und Nachtests aus der Voruntersuchung

<sup>112</sup> Die nachfolgenden eingesetzten inferenzstatistischen Verfahren wurden ohne die Kontrollgruppe berechnet. Des Weiteren waren alle Voraussetzungen (z.B. Normalverteilung bzw. Homoskedastizität) erfüllt. Tests auf Normalverteilung wurden wegen der geringen Stichprobengröße mit dem Shapiro-Wilk und nicht mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test bestimmt, da dieser, begründet durch seine stärkere Power, empfohlen wird (vgl. Bredner, 2011; Bühner & Ziegler, 2009, S. 94f und S. 368f).

<sup>113</sup> Effektstärken wurden für t-Tests für abhängige Stichproben mit G-Power berechnet (vgl. Buchner, Erdfelder & Faul, 2011; Bühner & Ziegler, 2009, S. 243). Zur Interpretation der Effektstärke  $d$  sei auf Kapitel 9.5.1.2 Fußnote 138 verwiesen.

Bezogen auf die Kontrollgruppe kann angemerkt werden, dass der Wissenszuwachs in beiden Wissensarten gering und damit Testleitereffekte bzw. zwischenzeitliches Geschehen nicht beobachtet werden konnten.

Im Bereich des deklarativen Wissens konnte die Treatmentgruppe *handeln* das beste Ergebnis im Nachtest ( $M= 8.58$ ,  $SD= 2.96$ ) erreichen. Entgegen den Erwartungen blieben SchülerInnen, die das technische Experiment *beobachten* konnten ( $M= 6.12$ ,  $SD= 2.44$ ), hinter SchülerInnen, die das Experiment *lesend* bearbeiteten ( $M= 7.82$ ,  $SD= 3.19$ ), zurück (vgl. Kap. 6.2).

Das prozedurale Wissen fiel im Vergleich zum deklarativen Wissen im Vortest höher und im Nachtest geringer aus. Generell entwickelte sich das prozedurale Wissen über alle Treatmentgruppen hinweg geringer als das deklarative. Des Weiteren kann auch für das prozedurale Wissen, wenn auch deutlich schwächer, dieselbe Entwicklung wie für das deklarative Wissen beobachtet werden. *Handeln* ( $M= 7.00$ ,  $SD= 1.12$ ) > *lesen* ( $M= 6.00$ ,  $SD= 2.76$ ) > *beobachten* ( $M= 5.80$ ,  $SD= 1.78$ ).

*Bearbeitungszeiten des technischen Experiments sowie des Vor- und Nachtests.*

Damit sichergestellt werden kann, dass die unterschiedlichen Ergebnisse in den Wissenstests nicht durch die Bearbeitungszeit beeinflusst wurden, wurde diese für den Vor- und Nachtest, für die Informations- und Planungsphase sowie für die gesamte Bearbeitung des technischen Experiments erfasst (vgl. Tabelle 8.5).

Tabelle 8.5: Bearbeitungszeiten des Vortests [VT], der Informations- und Planungsphase [I und P], gesamte Bearbeitungszeit aller Phasen für das technische Experiment [GES] sowie die des Nachtests [NT], angegeben in Minuten

	VT		I und P		GES		NT	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Handeln	22.90	4.10	13.67	1.15	57.33	2.51	13.33	2.88
Beobachten	22.67	4.04	11.33	4.72	56.67	2.88	19.00	4.72
Lesen	19.00	5.568	14.67	2.08	50.00	5.29	21.66	4.72
Kontrollgruppe	17.00	-	-	-	-	-	25.00	-

Während die Bearbeitungszeiten des Vortests noch vergleichbar sind, unterscheiden sich diese im Nachtest zwischen den Gruppen. Obwohl SchülerInnen der Gruppe *handeln* den Nachtest ca. 6 bzw. 8 min. kürzer als die anderen Gruppen bearbeiteten, erzielten diese die besten Ergebnisse. Insgesamt wurde die geplante Bearbeitungszeit von 30 min. für den entwickelten Wissenstest nicht überschritten. Dies kann auch für die Bearbeitungszeit des technischen Experiments (60 min.) festgehalten werden. SchülerInnen, die das technische Experiment *lesend* bearbeiteten (*lesen*), benötigten ca. 6 bis 7 min. weniger als SchülerInnen in den anderen Gruppen.

### Revision der Aufgaben des Wissenstests.

Die Analyse des entwickelten Wissenstests ergab z. T. zu schwierige Aufgaben mit geringer Trennschärfe, woraus nicht zufriedenstellende Reliabilitäten, insbesondere für das prozedurale Wissen, resultierten. Die grau hinterlegten Aufgaben entsprechen nicht den in Kapitel 7.4 vorgestellten Gütekriterien (vgl. Kap. 8.4.1).

Für die Hauptuntersuchung wurden daher zu schwierige Aufgaben mit geringer Trennschärfe aus dem Vortest entfernt (Aufgabe 16, 21, 23), das Antwortformat verändert (Aufgabe 7a, 7b, 22), oder die Distraktoren überarbeitet (z. B. Aufgabe 12, 26). Des Weiteren wurden vier Aufgaben, die das prozedurale, und eine Aufgabe, die das deklarative Wissen erfassen sollen, neu entwickelt. Zur Erfassung des prozeduralen und deklarativen Wissens stehen für die Hauptuntersuchung insgesamt 31 Aufgaben (16/15) zur Verfügung (vgl. Tabelle 8.6 und Tabelle 8.7).<sup>114</sup>

Tabelle 8.6: Aufgaben zur Erfassung des prozeduralen Wissens (links: Aufgaben der Voruntersuchung; rechts: Aufgaben der Hauptuntersuchung)

Anmerkung: Die grau hinterlegten Aufgaben entsprechen nicht den Gütekriterien (vgl. Tabelle 8.2 in Kap. 8.4.1).

Prozedurales Wissen (Vorstudie)			Prozedurales Wissen (Hauptstudie)		
	Sachwissen	Handlungswissen		Sachwissen	Handlungswissen
Aufgabe 1		X	Aufgabe 1		X
Aufgabe 2		X	Aufgabe 2		X
Aufgabe 3a		X	Aufgabe 3a		X
Aufgabe 3b		X	Aufgabe 3b		X
Aufgabe 5		X	Aufgabe 5		X
Aufgabe 8		X	Aufgabe 8		X
Aufgabe 14	X		Aufgabe 19		X
Aufgabe 18	X		---		
Aufgabe 19		X	Aufgabe 27		X
Aufgabe 21	X		---		
Aufgabe 23		X	---		
Aufgabe 24	X		Aufgabe 20	X	
Aufgabe 25		X	Aufgabe 24		X
			Aufgabe 25		X
			Aufgabe 9		X
			Aufgabe 14		X
			Aufgabe 18		X
			Aufgabe 21b		X

<sup>114</sup> Eine Übersicht der Wissenstest aus Vor- und Hauptuntersuchung ist in den Kapiteln 12.3.1 und 12.3.2 zu finden.

Tabelle 8.7: Aufgaben zur Erfassung des deklarativen Wissens (links: Aufgaben der Voruntersuchung; rechts: Aufgaben der Hauptuntersuchung)

Anmerkung: Die grau hinterlegten Aufgaben entsprechen nicht den Gütekriterien (vgl. Tabelle 8.2 in Kap. 8.4.1).

Deklaratives Wissen (Vorstudie)			Deklaratives Wissen (Hauptstudie)		
	Sachwissen	Handlungswissen		Sachwissen	Handlungswissen
Aufgabe 4	X		Aufgabe 4	X	
Aufgabe 6	X		Aufgabe 6	X	
Aufgabe 7	X		Aufgabe 7a	X	
Aufgabe 9	X		Aufgabe 7b	X	
Aufgabe 10		X	Aufgabe 10	X	
Aufgabe 11	X		Aufgabe 11		X
Aufgabe 12a	X		Aufgabe 12	X	
Aufgabe 12b	X		Aufgabe 13a	X	
Aufgabe 13	X		Aufgabe 13b	X	
Aufgabe 15	X		Aufgabe 15	X	
Aufgabe 16	X		Aufgabe 17	X	
Aufgabe 17	X		Aufgabe 26	X	
Aufgabe 20	X		Aufgabe 16	X	
Aufgabe 22	X		Aufgabe 23	X	
			Aufgabe 22	X	
			Aufgabe 21a	X	

---

## 9 HAUPTUNTERSUCHUNG [HU]

---

Nachdem das Ziel (vgl. Kap. 9.1) und in Kapitel 9.2 die Stichprobe der Hauptuntersuchung vorgestellt werden, bildet der Erhebungsverlauf den Schwerpunkt des Kapitels 9.3. Im Anschluss werden die entwickelten Instrumente gemäß den Gütekriterien beurteilt, wobei die Beurteilung nicht wie in der Voruntersuchung auf Basis der klassischen, sondern der Probabilistischen Testtheorie vorgenommen wurde (vgl. Kap. 9.4). Die mit Hilfe der Software ConQuest ermittelten Ergebnisse werden in Kapitel 9.5 inferenzstatistischen Verfahren unterzogen und die Hypothesenprüfung vorgenommen. Die Diskussion über die Ergebnisse der Hauptuntersuchung bildet den Schwerpunkt des abschließenden Kapitels (vgl. Kap. 9.6).

### 9.1 ZIEL

Das zentrale Interesse der Hauptuntersuchung liegt in der statistischen Absicherung und Ausdifferenzierung der in Kapitel 6 postulierten und in der eigenen Voruntersuchung partiell nachgewiesenen Hypothesen.

Damit sollen statistisch abgesicherte Aussagen über den Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb (deklarativ/prozedural) bei der Durchführung von technischen Experimenten im allgemeinbildenden Technikunterricht getroffen werden können.

### 9.2 STICHPROBE

Für die Hauptuntersuchung konnten Daten von insgesamt 305<sup>115</sup> SchülerInnen (65.6% männlich; 34.4% weiblich) der Klassen 9 (11.5%), 10 (36.4%) und 11 (52.1%), von Gymnasien (8.2%) und Gesamtschulen (91.8%), mit einem Durchschnittsalter von  $M= 16.05$  ( $SD= 1.00$ ) Jahren, von insgesamt 6 Schulen aus Nordrhein-Westfalen erhoben werden. Die erhobene Stichprobe setzt sich somit überwiegend aus SchülerInnen der Gesamtschule aus den Klassen 10 und 11 zusammen.

Wie Tabelle 9.1 zu entnehmen ist, konnte annähernd eine gleiche Gruppengröße in den Treatments erreicht werden.

Tabelle 9.1: Zuordnung der SchülerInnen der Hauptuntersuchung zu den Treatments sowie der Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Handeln	Beobachten	Lesen
48	89	88	80

---

<sup>115</sup> Insgesamt wurden 349 SchülerInnen untersucht, wobei von 305 SchülerInnen vollständige Datensätze vorliegen. Sofern bei weiteren Analysen von dieser Stichprobengröße abgewichen wird, wird dies ausdrücklich erwähnt.

Um die statistische Validität (vgl. Kap. 7.1) der Hauptuntersuchung sicherstellen zu können, wurde mit Hilfe von G-Power 3.1.3 die statistische Power ( $1-\beta$ ) berechnet (vgl. Buchner, Erdfelder & Faul, 2011).

Mit der erreichten Stichprobengröße ist es möglich, mittlere Effekte ( $d_z = .5$ ) zwischen den zwei Messzeitpunkten innerhalb der Kontrollgruppe mit einer statistischen Power von  $1-\beta = .8$  (bei  $\alpha < .05$ ) abzusichern.

Für den Vergleich der drei Treatmentgruppen können kleine bis mittlere Unterschiede ( $f = .2$ ) mit einer statistischen Power von  $1-\beta = .8$  (bei  $\alpha < .05$ ) statistisch abgesichert werden.

### 9.3 VERLAUF/ABLAUF

Die Hauptuntersuchung wurde im Zeitraum von September 2010 bis Februar 2011 durchgeführt. Der Ablauf folgte dem in Kapitel 7.2.2.1 beschriebenen und in der Voruntersuchung erprobten Vor-Nachtest-Design.

Der Vortest wurde von den SchülerInnen im Klassenverbund bearbeitet (30 min. Bearbeitungszeit). Folglich konnte der Vortest in einer Schulstunde durchgeführt werden. Nach einer Woche wurden die SchülerInnen randomisiert zu einem der Treatments (*handeln*, *beobachten* oder *lesen*) oder der Kontrollgruppe zugewiesen. Die SchülerInnen der Treatmentgruppen bearbeiteten in Einzelarbeit, den Treatments entsprechend, das technische Experiment (60 min. Bearbeitungszeit). Die einzelnen Treatmentgruppen waren in separaten Räumen und konnten sich gegenseitig während der Bearbeitung des technischen Experiments nicht beeinflussen. Nach einer kurzen Pause wurde, im Anschluss an die Bearbeitung des technischen Experiments, der Nachtest in den Treatmentgruppen erhoben (30 min. Bearbeitungszeit). Der Nachtest wurde ebenfalls in Einzelarbeit durchgeführt. Die Kontrollgruppe bearbeitete den Nachtest direkt, ohne die Möglichkeit, ein technisches Experiment zu bearbeiten, und nahm anschließend wieder am Regelunterricht durch den Klassenlehrer teil. Die Bearbeitungszeit des Nachtests betrug auch hier 30 min.

## 9.4 INSTRUMENTE

Die Beurteilung der Instrumente und die damit verbundenen Antworten der SchülerInnen auf die Aufgaben des Wissenstests bzw. zum Fachinteresse werden, im Gegensatz zur Voruntersuchung, auf Basis der Probabilistischen Testtheorie [PTT] ausgewertet. Dazu werden zunächst testtheoretische Grundlagen entfaltet (vgl. Kap. 9.4.1) und anschließend auf den Wissens- sowie Fachinterestet angewendet (vgl. Kap. 9.4.2 und 9.4.3).

### 9.4.1 AUSWERTVERFAHREN DER INSTRUMENTE AUF BASIS DER PROBABILISTISCHEN TESTTHEORIE [PTT]

In einem ersten Schritt werden grundlegende Unterschiede zwischen den Annahmen der klassischen und der Probabilistischen Testtheorie vorgestellt (vgl. Kap. 9.4.1.1), um sodann relevante Modelle bzw. deren mathematische Funktionen und Restriktionen vorzustellen, auf deren Basis der Wissenstest und das Interesse am Fach Technik ausgewertet werden können (vgl. Kap. 9.4.1.2). Nachdem die Modelle theoretisch eingeführt wurden, werden in den beiden darauf folgenden Kapiteln 9.4.1.3 und 9.4.1.4 Möglichkeiten vorgestellt, die eine Beurteilung der Aufgaben und des Modells erlauben.

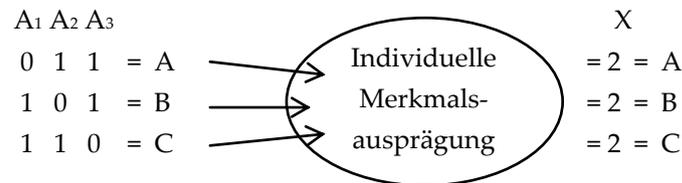
Abschließend wird, da es sich in der Untersuchung um ein Vor-Nachtest-Design handelt, ein Auswertverfahren für Veränderungsmessung vorgestellt, welches auch in dieser Arbeit eingesetzt wurde (vgl. Kap. 9.4.1.5).

#### 9.4.1.1 Einführende Betrachtungen zur PTT

Im Sinne des *fairen Testens* erscheint die PTT, im Vergleich zur klassischen Testtheorie [KTT], besonders für die Ermittlung von Merkmalsausprägungen (z. B. von deklarativem und prozeduralem Wissen) geeignet (vgl. Kubinger, 2000, S. 33f). Die Aussage wird durch die Tatsache unterstützt, dass in der KTT zwischen individueller Merkmalsausprägung einer Person (z. B. absolute Summe gelöster Aufgaben) und der Schwierigkeit einer Aufgabe (z. B. Prozent der Personen, die die Aufgabe gelöst haben) kein expliziter Bezug hergestellt wird, wohingegen im Rahmen der PTT Annahmen über die Beziehung zwischen **manifestem Antwortverhalten** auf die Aufgaben eines Tests und der Ausprägung einer **latenten Merkmalsausprägung** in Form einer mathematischen Gleichung festgelegt und dadurch die Annahmen empirisch überprüfbar werden (vgl. Moosbrugger, 2008, S. 221; Rauch & Hartig, 2008, S. 241; Rost, 1999, S. 140ff). Dies ist, wie dargestellt, in der KTT nicht möglich, da axiomatisch angenommen wird, dass die individuelle Merkmalsausprägung sich direkt im (messfehlerbehafteten) beobachteten Messergebnis niederschlägt.<sup>116</sup>

<sup>116</sup> Zur Kritik an der KTT sei auf Amelang (2006) verwiesen (vgl. Amelang, 2006, S. 60ff).

Zentraler Unterschied zwischen PPT und KTT ist, dass Erstere annimmt, dass dem im Test gezeigten Verhalten, also den Antworten auf die Aufgaben des Tests, eine Fähigkeit oder Eigenschaft zugrunde liegt, die das Testverhalten verursacht. Das beobachtete (manifeste) Verhalten stellt lediglich einen Indikator für das dahinterliegende (latente) Konstrukt dar, dessen Ausprägung (probabilistisch) erschlossen werden muss (vgl. Abbildung 9.1).



Mit

$X$  =  $T+E$  (Messwert z.B. Summe der gelösten Aufgaben); mit  $T$ = wahrer Wert und  $E$ = Messfehler

A-C = Drei unterschiedliche Personen die dieselben drei Testaufgaben bearbeitet haben

$A_1 \dots A_n$  = Individuelles Antwortverhalten der Personen auf die Aufgaben eines Tests

→ = Probabilistischer Zusammenhang zwischen manifestem Antwortverhalten und latenter individueller Merkmalsausprägung

= = Zusammenhang zwischen Messergebnis und der individuellen Fähigkeitsausprägung

Abbildung 9.1: Zentraler Unterschied in der Ermittlung von individuellen Merkmalsausprägungen der PTT (links) und KTT (rechts)

Die PTT kann folglich als eine psychologische Testtheorie bezeichnet werden, da sie im Gegensatz zur KTT Annahmen über das Zustandekommen von Aufgabenantworten macht, während in der KTT nur die mathematische Formalisierung von Messwerten betrachtet wird (Bühner, 2006, S. 384).

Im Folgenden soll näher auf die mathematische (logistische) Funktion für das Antwortverhalten und die damit verbundenen Begriffe der PTT eingegangen werden.<sup>117</sup>

Die bereits erwähnte latente individuelle Merkmalsausprägung wird im Rahmen der PTT als **Personenfähigkeit** mit dem Parameter<sup>118</sup>  $\Theta$  (Theta) bezeichnet (vgl. Rost & Spada, 1978, S. 64f). Im Falle dieser Arbeit kann darunter z. B. das deklarative Wissen oder das Fachinteresse gefasst werden. Auf Seiten der Testaufgaben ist die **Aufgabenschwierigkeit**<sup>119</sup> mit  $\sigma$  (Sigma) als Parameter zu nennen.

Der funktionale Einfluss der latenten Personenfähigkeit und der Aufgabenschwierigkeit auf die Beantwortungswahrscheinlichkeit ( $p$ ) kann durch die itemcharakteristische Funktion (IC-Funktion) oder engl. item characteristic curve (ICC) ausgedrückt werden, deren erstmalige Verwendung im Rahmen

<sup>117</sup> Dabei beziehen sich die hier geführten Betrachtungen exemplarisch auf das 1-parametrische Modell der Raschfamilie für dichotome Daten (vgl. Kap. 9.4.1.4).

<sup>118</sup> Personen- bzw. Itemparameter bezeichnen die numerische Ausprägung der entsprechenden Fähigkeiten bzw. Schwierigkeiten.

<sup>119</sup> Auch als Itemschwierigkeit bezeichnet.

der PTT von dem dänischen Mathematiker Georg Rasch (1960) vorgenommen wurde (vgl. Walter, 2005, S. 31ff; Embretson & Reise, 2000, S. 45ff).

Formel 1: Logistische IC-Funktion in  
Anlehnung an Rost (1996)

$$p(X_{vi} = 1) = \frac{e^{1 \cdot (\Theta_v - \sigma_i)}}{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}$$

Mit

$p(X_{vi} = 1)$  = Wahrscheinlichkeit einer Person  $v$ , die Aufgabe  $i$  richtig zu beantworten

$\Theta_v$  = Personenfähigkeitsparameter einer Person  $v$

$\sigma_i$  = Aufgabenschwierigkeitsparameter der Aufgabe  $i$

$e^x$  = Exponentialfunktion mit der Eulerschen Zahl  $\approx 2,781$  als Basis

$X_{vi}$  = Wert einer Person  $v$  für Aufgabe  $i$

Für den Fall, dass nur die Lösungswahrscheinlichkeit ( $p$ ) für die korrekte Beantwortung einer Person  $v$  auf eine Aufgabe  $i$  betrachtet wird ( $X_{vi}=1$ ), ergibt sich für jede Aufgabe die abgebildete IC-Funktion (vgl. Abbildung 9.2).

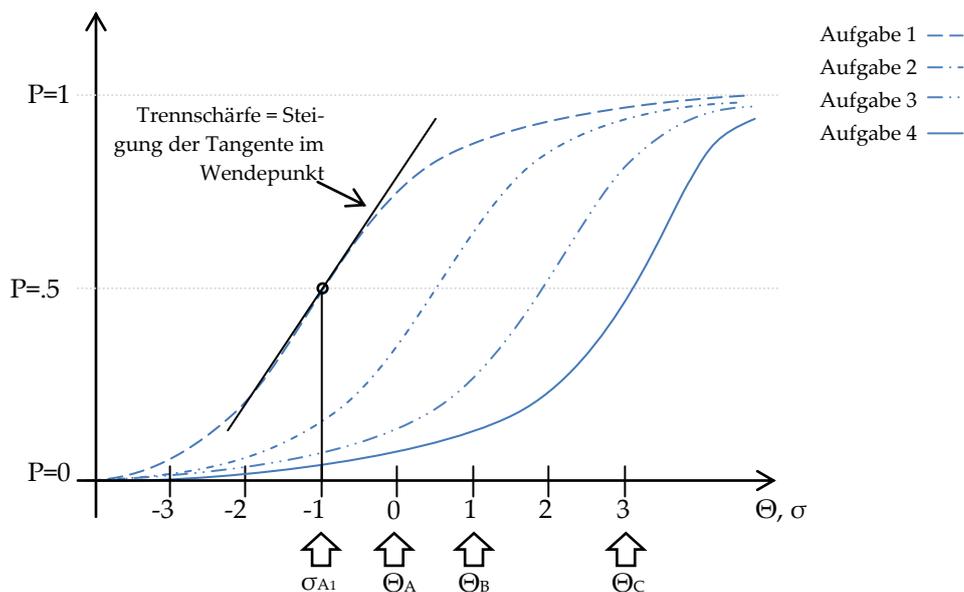


Abbildung 9.2: Grafische Darstellung der itemcharakteristischen Funktion als funktionaler Zusammenhang von Lösungswahrscheinlichkeit, Aufgabenschwierigkeit und Personenfähigkeit exemplarisch dargestellt an einem 1-parametrischen Raschmodells für dichotome Daten

Grafisch gesehen wird die Beantwortungs- bzw. Lösungswahrscheinlichkeit ( $p$ ) auf der Ordinate und die Personen- sowie Itemschwierigkeiten gemeinsam auf der Abszisse (engl. joint scale) verortet, da sie dieselbe Einheit besitzen (vgl. Rauch & Hartig, 2008, S. 241; Bühner, 2006, S. 314). Die Einheit der Personen- sowie Itemschwierigkeit wird als Logit bezeichnet. Ihr Wertebereich

reich reicht empirisch ungefähr von -4 bis +4 Logit.<sup>120</sup> Ein Logitwert ist der natürliche Logarithmus (ln) des (Wett-)Quotienten aus Lösungswahrscheinlichkeit  $p(x_{vi}= 1)$  und Gegenwahrscheinlichkeit  $p(x_{vi}= 0)$  (vgl. Rost, 1996, S. 117).

Formel 2: Logit als gemeinsame Einheit für Personenfähigkeiten und Aufgabenschwierigkeiten

$$\text{Logit} = \ln \left( \frac{p(X_{vi} = 1)}{p(X_{vi} = 0)} \right) = \ln \left( \frac{\frac{e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}}{\frac{1}{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}} \right) = \Theta_v - \sigma_i$$

Bezogen auf die Personenfähigkeit sowie Itemschwierigkeit sind negative Werte als gering bzw. als leicht und positive als hoch bzw. schwierig zu interpretieren.

Die **Trennschärfen** der Aufgaben sind im Rahmen der PTT per Konvention auf die Steigung der Tangente am Wendepunkt der IC-Funktion festgelegt. In Abbildung 9.2 besitzt der Wendepunkt der IC-Funktion für Aufgabe 1 die Koordinaten  $(\sigma_{A1}/p= .5)$ . Auch die Schwierigkeit einer Aufgabe bezieht sich auf diesen (Wende-)Punkt der IC-Funktion im Koordinatensystem. Die **Aufgabenschwierigkeit** stellt den Abszissenwert des Wendepunktes dar. Die Trennschärfe sowie die Aufgabenschwierigkeit wurden exemplarisch für die Aufgabe 1 ( $A_1$ ) in Abbildung 9.2 dargestellt (vgl. Abbildung 9.2). Aufgabe 1 wäre mit  $\sigma_{A1}= -1$  als leicht und die Aufgaben 2 bis 4 als zunehmend schwieriger zu bezeichnen, da sie jeweils positivere Schwierigkeitsparameter besitzen. Die Trennschärfe der Aufgabe 1 beträgt ca.  $\approx .6$  (vgl. Abbildung 9.2, linke Hälfte).<sup>121</sup>

Wie Formel 2 aufzeigt, hängt die Lösungswahrscheinlichkeit lediglich von der Personenfähigkeit und der Aufgabenschwierigkeit ab. Weiter kann festgehalten werden, dass wenn

- die Personenfähigkeit einer Person kleiner als die Aufgabenschwierigkeit ist, diese eine kleinere Lösungswahrscheinlichkeit für diese Aufgabe als .5 hat ( $\Theta < \sigma$  dann  $p < .5$ ),
- die Personenfähigkeit einer Person gleich der Aufgabenschwierigkeit ist, diese eine Lösungswahrscheinlichkeit für diese Aufgabe von .5 hat ( $\Theta = \sigma$  dann  $p = .5$ ),

<sup>120</sup> Normalerweise können die Logits Werte zwischen  $\pm\infty$  annehmen, da die Skala der Personen- und der Itemparameter keinen natürlichen Nullpunkt besitzt, werden entweder die durchschnittliche Itemschwierigkeit oder die durchschnittliche Personenfähigkeit auf null restringiert (vgl. Bühner, 2006, S. 339f).

<sup>121</sup> Auch die anderen Aufgaben besitzen dieselbe Trennschärfe. Diese Restriktion ist kennzeichnend für das 1-parametrische Raschmodell für dichotome Daten (vgl. Kap. 9.4.1.4).

- die Personenfähigkeit einer Person größer als die Aufgabenschwierigkeit ist, diese eine größere Lösungswahrscheinlichkeit für diese Aufgabe als .5 hat ( $\Theta > \sigma$  dann  $p > .5$ ).

Dieser Zusammenhang soll anhand von drei Personen (A, B, C) veranschaulicht werden. Dabei wird angenommen, dass die Aufgabenschwierigkeiten ( $\sigma_{A1}-\sigma_{A4}$ ) sowie die Personenfähigkeiten ( $\Theta_A-\Theta_C$ ) bekannt sind (vgl. Abbildung 9.2).

Für Person A ergibt sich bedingt durch seine geringe Personenfähigkeit lediglich für die Aufgabe 1 eine positive Differenz ( $\Theta_A-\sigma_{A1}$ ) und damit eine Lösungswahrscheinlichkeit  $p > .5$ . Für alle anderen Aufgaben ist eine korrekte Beantwortung sehr unwahrscheinlich. Dies gilt auch für Person B. Im Gegensatz dazu besitzt die Person C die größte Personenfähigkeit und kann folglich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit die Aufgaben 1-3  $p \gg .5$  und die Aufgabe 4 mit  $p < .5$  lösen.

Die bisherigen Ausführungen zur PTT machten die funktionalen Zusammenhänge zwischen Lösungswahrscheinlichkeit, Personenfähigkeit und Itemschwierigkeit sowie weitere zentrale Begriffe deutlich.

Dabei wurde angenommen, dass die Personenfähigkeit und Aufgabenschwierigkeit bereits bekannt sind. Gemäß der Annahmen der PTT, auf Grundlage manifester Variablen (Datenmatrix von Aufgabenantworten eines Tests) auf eine latente Variable (z. B. deklaratives Wissen) zu schließen, kann geschlussfolgert werden, dass weder die Aufgabenschwierigkeit noch die Personenfähigkeit zunächst bekannt sind. Vielmehr müssen diese unter Annahme einer mathematischen Funktion (z. B. IC-Funktionen, oder Erweiterungen dieser) auf Basis der vorliegenden Antworten (z. B. eines Tests) geschätzt werden (vgl. Walter, 2005, S. 41ff).<sup>122</sup> Abbildung 9.3 verdeutlicht nochmals den Prozess der Schätzung von Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten auf

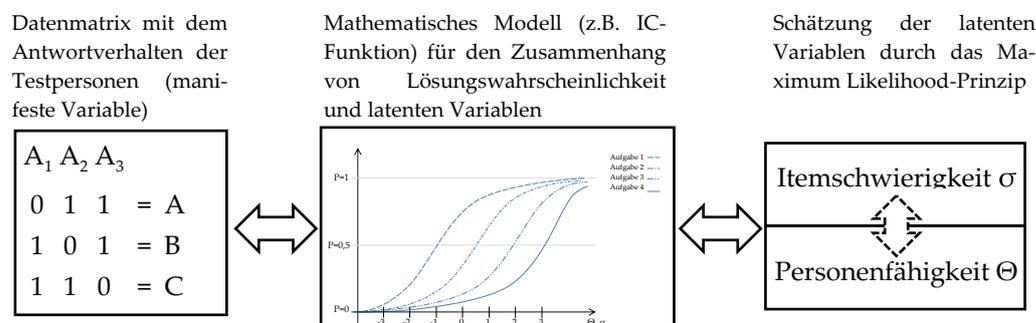


Abbildung 9.3: Zusammenhang zwischen manifester Variable, mathematischem Modell und latenter Variable im Rahmen der PTT

<sup>122</sup> Bedingt durch die zugrunde gelegte mathematische (logistische) Funktion kann die Skalendignität, hier Intervallskalenniveau, der untersuchten Messwerte (Personenfähigkeit und Aufgabenschwierigkeit) überprüft werden.

Basis der manifesten Datenmatrix (Antwortverhalten der Testpersonen) unter Annahme eines mathematischen Modells für die Lösungswahrscheinlichkeit (vgl. Abbildung 9.3).

Welche mathematischen Modelle (Funktionen) Verwendung finden, hängt insbesondere von dem Aufgabenformat ab, in dem das Antwortverhalten vorliegt (z. B. dichotom [richtig/falsch] oder polytom [völlig richtig/teilweise richtig/nicht richtig]). Die zur Schätzung der Item- und Personenparameter eingesetzten Verfahren (z. B. das Maximum Likelihood-Prinzip) werden, neben dem gewählten mathematischen Modell, zusätzlich davon bestimmt, ob eine oder mehrere latente Variablen geschätzt werden sollen.

Die für diese Arbeit relevanten mathematischen Modelle (kurz: Modelle) und Verfahren zur Item- und Parameterschätzung sowie die dazu verwendete Software werden im nachfolgenden Kapitel vorgestellt.

### 9.4.1.2 Ausgewählte Verfahren und Modelle der PTT

Das Schätzen der latenten Variablen (deklaratives/prozedurales Wissen sowie das Fachinteresse) auf Basis der Antwortverhalten der in der Hauptuntersuchung erfassten SchülerInnen wurde mit Hilfe der Software ConQuest<sup>123</sup> vorgenommen. Diese hat sich in großen Schulleistungsstudien wie PISA, TIMSS oder DESI, im allgemeinbildenden sowie im berufsbildenden Bereich etabliert und bewährt (vgl. Gschwendtner et al., 2010; Nickolaus, Gschwendtner, Geißel & Abele, 2010; Winther, 2010; Granzer et al., 2009; Hartig, Jude & Wagner, 2008; Prenzel et al., 2006).

Des Weiteren bietet sie mit dem Multidimensional Random Coefficient Multinomial Logit Modell (MRCMLM) die Möglichkeit, die nachfolgend beschriebenen Parameterschätzungen mit den notwendigen Modellen für dichotome (Wissenstest) und polytome (Fachinteresse) Antwortformate berechnen zu können (vgl. Adams, Wilson & Wang, 1997; Wu, Adams, Wilson & Haldane, 2007).

Zunächst werden in diesem Kapitel die verwendeten Schätzverfahren für Item- und Personenparameter und abschließend die eingesetzten Modelle vorgestellt.

#### *Parameterschätzungen.*

Im Rahmen des in ConQuest implementierten MRCML-Modells nimmt die Schätzung der unbekanntem Item- und Personenparameter ihren Ausgang bei dem Antwortverhalten aller untersuchten Personen auf die Aufgaben des ihnen vorgelegten Tests. Diese können in einer Datenmatrix dargestellt werden (vgl. Moosbrugger, 2008, S. 226f; Abbildung 9.3, links).

Im Falle der in dieser Arbeit verwendeten Schätzverfahren werden Item- und Personenparameter getrennt voneinander geschätzt.<sup>124</sup>

In einem ersten Schritt werden unter Verwendung der marginal Maximum Likelihood-Methode (MML-Methode) die Itemparameter geschätzt. Die Personenparameter werden aus diesem Schätzvorgang entfernt (vgl. Walter, 2005, S. 53f). Unter der (marginal) Maximum Likelihood kann vereinfacht eine Maßzahl verstanden werden, die zwischen 0 und 1 schwanken kann und die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der die geschätzten Parameter und das in der Datenmatrix vorhandene manifeste Antwortverhalten der SchülerInnen übereinstimmen (vgl. Moosbrugger, 2008, S. 227f).

Folglich hängen die geschätzten Parameter, und damit verbunden auch z. B. die Personenfähigkeiten der SchülerInnen, von den Eigenschaften der Methoden ab, mit denen sie berechnet werden.

---

<sup>123</sup> Vgl. Wu (2007).

<sup>124</sup> Die daraus resultierenden Vorteile sollen an dieser Stelle nicht vorgestellt werden. Es sei auf Moosbrugger (2008), Bühner (2006), Walter (2005) und Rost (1996) verwiesen.

Nachdem die Itemparameter geschätzt wurden, erfolgt die Schätzung der Personenparameter.

Auch hier stehen mehrere Schätzverfahren in ConQuest zur Verfügung (vgl. Rost, 1996, S. 313ff). Die von Warm (1989) theoretisch fundierten und z. B. von Rost (1996), Walter (2005) und Hartig und Kühnbach (2006) empirisch überprüften weighted Likelihood-Schätzer (WLE-Schätzer) bieten die reliabelsten Schätzungen für die Personenfähigkeit und werden daher auch in dieser Arbeit verwendet (vgl. Hartig & Kühnbach, 2006, S. 42).

Im Folgenden werden Modelle vorgestellt, auf deren Basis die Auswertung der Antwortverhalten von SchülerInnen aus der Hauptuntersuchung für die Wissensbereiche (deklarativ/prozedural) und das Fachinteresse vorgenommen wurde.

#### *1-parametrische (1-p.) Raschmodell für dichotome Daten.*

Da das Modell bereits in Kapitel 9.4.1.1 erwähnt wurde, sollen an dieser Stelle nur noch Ergänzungen vorgenommen werden (vgl. Abbildung 9.2). Die Begriffe der Aufgabenschwierigkeit und der Personenfähigkeit sowie deren mathematischer Zusammenhang mit der Lösungswahrscheinlichkeit wurden bereits eingeführt (vgl. Formel 1). Grafisch ergeben sich daraus die ogivenförmigen IC-Funktionen. Das Modell eignet sich insbesondere für Aufgaben, die ein dichotomes Antwortformat besitzen (z. B. „richtig“ oder „falsch“). Moosbrugger (2008) merkt zum 1-p. Raschmodell an, dass es „das einfachste und zugleich vorteilhafteste Modell aus der Gruppe der Rasch-Modelle“ ist (Moosbrugger, 2008, S. 224). Einige dieser Vorteile des 1-p. Raschmodells sollen nachfolgend vorgestellt werden.

Demnach

- stellen die Summenwerte suffiziente oder erschöpfende Statistiken der Personenfähigkeit dar (vgl. Rost, 1996, S. 122f),
- sind die Vergleiche zwischen Aufgaben und Personen spezifisch objektiv (vgl. Bühner, 2006, S. 316, 341),
- sind die Aufgaben, für die das Raschmodell gilt, eindimensional<sup>125</sup> (d. h. die Forderung nach lokaler stochastischen Unabhängigkeit ist erfüllt) (vgl. Moosbrugger, 2008, S. 216f),
- besitzen alle Aufgabe annähernd die gleiche Trennschärfe (vgl. Bühner, 2006, S. 317).

---

<sup>125</sup> Bezogen auf die jeweilige latente Variable. In einem Raschmodell können durchaus mehrere latente Variablen durch verschiedene Aufgaben erfasst werden, die für sich gesehen „eindimensional“ sind.

### 1-parametriges (1-p.) Raschmodell für ordinale Daten.

Umfasst Aufgaben mehr als zwei Bewertungsstufen (-Kategorien), z. B. trifft gar nicht zu= 1; trifft nicht zu= 2; trifft eher zu= 3; trifft völlig zu= 4 oder falsch= 0; teilweise richtig= .5 und richtig= 1, können hierfür entweder das rating scale-Modell (rs-Modell) nach Andrich (1978), oder das partial credit-Modell (pc-Modell) nach Masters (1982) als mathematische Modelle herangezogen werden. Beide gehen durch Erweiterungen aus dem 1-p. Raschmodell für dichotome Daten hervor (vgl. Rost, 1996, S. 203ff).

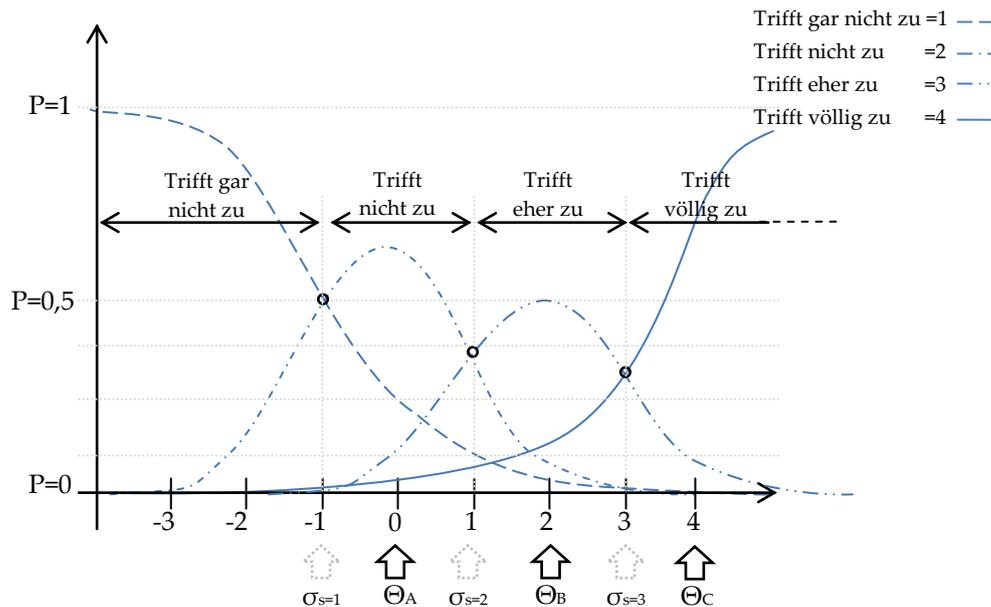


Abbildung 9.4: Kategorienfunktionen (engl. category characteristic curves [CCC]) einer vierkategorialen Aufgabe des pc- bzw. rs-Modells

Wie aus dem 1-p. Raschmodell bereits bekannt, werden die Personenfähigkeit  $\Theta$  und die Itemschwierigkeit  $\sigma$  wieder auf einer gemeinsamen Achse aufgetragen. Jedoch besitzt beim rs- als auch beim pc-Modell eine Aufgabe nicht nur einen Schwierigkeitsparameter ( $s$ ), sondern  $s = k - 1$ , wobei  $k$  die Anzahl der Kategorien der Aufgabe und  $s$  die Anzahl der (Schwierigkeits-)Schwellen darstellen (vgl. Abbildung 9.4). Bezogen auf Abbildung 9.4 bedeutet dies, dass die Person A mit ihrer Personenfähigkeit  $\Theta_A$  zwischen den Schwellen 1 und 2 liegt und damit eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit besitzt, die Frage, z. B. *Macht Dir das Fach Technik Spaß?*, mit der Kategorie „trifft nicht zu“ zu beantworten. Person C (mit  $\Theta_C$ ) hingegen würde auf dieselbe Frage mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit mit der Kategorie „trifft völlig zu“ antworten. Der funktionale Zusammenhang für die Personenfähigkeit und den Schwellen-Schwierigkeiten soll auf das pc-Modell aus Gründen der Übersicht beschränkt werden.<sup>126</sup>

<sup>126</sup> Der interessierte Leser sei auf Andrich (1978) verwiesen.

Formel 3: Funktionaler Zusammenhang zwischen Personenfähigkeit und den Schwellenschwierigkeiten im pc-Modell in Anlehnung an Rost (1996)

$$p(X_{vi} = x) = \frac{e^{([x \cdot \theta_v] - \sigma_{ix})}}{\sum_{s=0}^m e^{([s \cdot \theta_v] - \delta_{is})}}$$

Mit

- $p(X_{vi} = x)$  = Wahrscheinlichkeit einer Person  $v$ , die Aufgabe  $i$  entweder richtig ( $x=1$ ) oder falsch ( $x=0$ ) zu beantworten
- $x$  = Anzahl übersprungener Schwellen bis zur gewählten Kategorie  $x$
- $s$  = Anzahl der Schwellen
- $\theta_v$  = Personenfähigkeitsparameter einer Person  $v$
- $\delta_{is}$  = Summe der Schwellen(schwierigkeits)parameter der Aufgabe  $i$  bis zur gewählten Kategorie  $x$
- $\delta_{ix}$  = Summe der Schwellenparameter bis zur Kategorie  $s$
- $e^x$  = Exponentialfunktion mit der Eulerschen Zahl  $\approx 2,718$  als Basis

Der zentrale Unterschied zwischen dem pc- und dem rs-Modell liegt in den Abständen der Schwellen pro Aufgabe (vgl. Rost, 1996, S. 219). Hier setzt das pc-Modell lediglich voraus, dass die Schwellen überhaupt vorhanden sind, d. h., dass im Falle der weiter oben gestellten vierkategorialen Frage bzgl. des Fachinteresses am Fach Technik alle Kategorien gewählt wurden und damit SchülerInnen über alle Kategorien in der Stichprobe vertreten waren. Das rs-Modell hingegen verlangt äquidistante Schwellenabstände zwischen den einzelnen Aufgaben. Dies bedeutet, dass die Abstände zwischen den Kategorien „trifft nicht zu“ über „trifft eher zu“ bis hin zu „trifft völlig zu“ für die Frage *Macht Dir das Fach Technik Spaß?* und der Aussage *Mein Interesse am Fach Technik ist hoch*. exakt gleich sein müssen, um nicht gegen die Annahmen des rs-Modells zu verstoßen (vgl. Bühner, 2006, S. 330f).

### Mehrdimensionales Raschmodell.

Wie in den großen Schulleistungsuntersuchungen werden auch in dieser Arbeit nicht nur eine latente Variable, sondern mehrere (z. B. deklaratives und prozedurales Wissen) untersucht. Hierfür werden mehrdimensionale Raschmodelle eingesetzt, welche für die dargestellten Modelle der Raschfamilie (1-p. Raschmodell für dichotome und polytome Daten) im Rahmen des MRCML-Modell in der Software ConQuest implementiert sind (vgl. Wu et al., 2007, S. 135; Walter, 2005, S. 37f). Des Weiteren gibt es zwei Möglichkeiten mehrdimensionale Modelle in ConQuest schätzen zu lassen.

Bei der ersten Möglichkeit wird unterstellt, dass jede Aufgabe (Item) des Tests nur jeweils eine der latenten Variablen erfasst (*between-item-Multidimensionality*) (vgl. Abbildung 9.5, links). Damit „können disjunkte Itemgruppen gebildet und die Antworten auf jede dieser Itemgruppen mit probabilistischen Testmodellen ausgewertet werden“, die ihrerseits nur eine latenten Variablen annehmen (Walter, 2005, S. 37).

Sind hingegen begründete Annahmen vorhanden, dass die Aufgaben des Tests nicht nur einer, sondern mehrerer latenter Variablen zuzuordnen sind, wie zum Beispiel bei der Lesekompetenz und mathematischer

Kompetenz in PISA 2003, können hierzu die latenten Variablen mit Hilfe der *within-item-Multidimensionality* geschätzt werden (vgl. Abbildung 9.5, rechts).

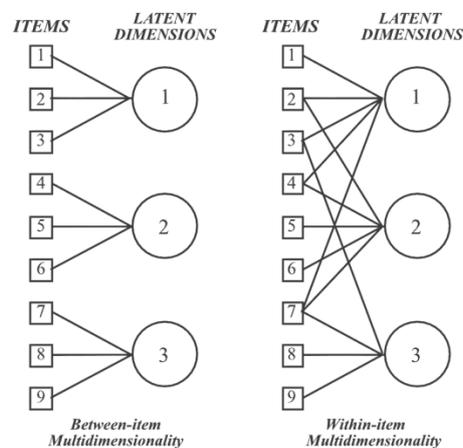


Abbildung 9.5: Möglichkeiten zur Schätzung mehrerer latenter Variablen nach Wu et al. (2007)

#### 9.4.1.3 Möglichkeiten zur Prüfung der Aufgaben auf Modellkonformität [Item-fit]

Die Schätzung der Aufgabenschwierigkeiten sowie Personenfähigkeiten auf Basis eines mathematischen Modells liefert noch keine Informationen darüber, ob „the item response data collected will conform to the mathematical formulation of the Rasch model“ (Wu & Adams, 2007, S. 74). Zur Beantwortung dieser Frage können sogenannte Item-Fit-Statistiken herangezogen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die „residual based fit statistics“ rekurriert und dazu die weighted mean-square-Statistik (wMNSQ) betrachtet (Wu & Adams, 2007, S. 75f; vgl. Wilson, 2005, S. 127ff; Embretson & Reise, 2000, S. 233ff). Die Betrachtung der gewichteten mittleren Abweichungsquadrate wird auch als INFIT-Statistik bezeichnet. Hierbei wird für jede Aufgabe ermittelt, wie gut sie auf Basis des Antwortverhaltens in das mathematische Modell passt.

Der weighted mean-square (wMNSQ) hat einen Erwartungswert von 1, wobei wMNSQ-Werte über 1 einen sogenannten *under-fit* bedeuten und wMNSQ-Werte unter 1 einen *over-fit* erkennen lassen (vgl. Jude, 2006, S. 33ff; Wilson, 2005, S. 128f).

Wilson (2005) merkt kritisch zu den Beurteilungskriterien der wMNSQ-Werten an, that „there is no absolute limit to what is a good weighted mean square value“ (Wilson, 2005, S. 128f). In der Praxis haben sich unterschiedliche Beurteilungsrichtlinien entwickelt, ab wann eine Aufgabe zur Modellannahme passt oder nicht.

Für Schulleistungsuntersuchungen im allgemeinbildenden Bereich, z. B. PISA oder TIMSS, sowie im gewerblich-technischen Bereich, z. B. in dem international Large-Scale Assessment for Vocational Education and Training (VETLSA), werden wMNSQ-Werte zwischen .8 und 1.2 als Ober- bzw. Untergrenze festgelegt (vgl. Winther, 2010, S. 149ff; Carstensen, Frey, Walter & Knoll, 2008, S. 367ff; Gschwendtner, 2008, S. 103ff; Geißel, 2008, S. 126). Nach Wright und Linacre (1994) entspricht dies dem strengsten Vorgehen. Liberalere Richtlinien für sogenannte run of the mill-Tests, also Tests, aus denen keine direkte Konsequenzen für die Testpersonen erfolgen, sehen wMNSQ-Werte zwischen .7 und 1.3 als akzeptabel an (vgl. Wilson, 2005, S. 129; Wright & Linacre, 1994).<sup>127</sup>

Ein weiteres Beurteilungskriterium ist die Trennschärfe der Aufgaben. Hierzu wird mit Hilfe der T-Statistik überprüft, welche Aufgaben eine zu hohe oder zu niedrige Trennschärfe im Vergleich zu den anderen Testaufgaben aufweisen (vgl. Wu et al., 2007, S. 23f). Die Grenzwerte liegen zwischen  $-2 < t < +2$ , wobei negative Werte als eine zu hohe Trennschärfe zu interpretieren und damit unkritisch sind (vgl. Jude, 2006, S. 58f).

Bei den hier vorgestellten Möglichkeiten zur Überprüfung des Item-fit, also der Prüfung der Aufgaben auf Modellkonformität, muss kritisch angemerkt werden, dass die Tests (wMNSQ-Werte und T-Statistik) sehr stark von der Stichprobengröße abhängen und zudem keine Aussagen darüber machen, ob die Aufgabe eine hohe oder niedrige Trennschärfe besitzt (absolut), sondern lediglich eine relative Aussage in Bezug zu den Trennschärfen der übrigen Aufgaben erlauben (vgl. Wu & Adams, 2007, S. 77f).

Zusammenfassend formuliert Wu (2007), dass in der Literatur zwar Richtwerte zu Beurteilung des Item-fit gemacht werden, es hierfür jedoch keine allgemeingültige Aussage geben kann und für den Forscher vielmehr das Verständnis der Item-fit-Statistiken von Bedeutung ist. Oder anders: „You will need to understand the issues with these fit statistics when you apply rules of thumb. More importantly, fit statistics should serve as an indication for de-

---

<sup>127</sup> Für Rating scale Aufgaben sehen Wright und Linacre (1994) wMNSQ-Werte zwischen .6-1.4 als akzeptabel an.

testing problematic items rather than for setting concrete rules for accepting or rejecting items. The fit statistics should not be used blindly to reject items, particularly those that ‘over-fit’, as you may remove the best items in your test because the rest of the items are not as ‘good’ as these items. Furthermore, when residual based fit statistics show that items fit the Rasch model, this is not sufficient to conclude that you have the best test. The reliability of the test and item discrimination indices should also be considered in making an overall assessment” (Wu & Adams, 2007, S. 85; vgl. Wilson, 2005, S. 129).

Für diese Arbeit sollen wMNSQ-Werte kleiner als .7 und größer als 1.3 sowie t-Werte  $t > +2$  als Ausschlusskriterien einer Aufgabe gesetzt werden, wobei negative t-Werte zu vernachlässigen sind und im Einzelfall zusätzlich die Trennschärfe der jeweiligen Aufgaben mit Berücksichtigung finden soll.

#### 9.4.1.4 Möglichkeiten zur Prüfung der Modellgeltung [Modell-fit]

Die Prüfung der Aufgaben auf Modellkonformität stellt zwar sicher, dass diese den Restriktionen des Modells entsprechen, die Frage, ob es evtl. andere Modelle gibt, die mit den beobachteten Daten besser übereinstimmen, bleibt jedoch unbeantwortet. Um die Güte dieser Übereinstimmung zu beurteilen, wird im Rahmen dieser Arbeit der Likelihood-Ratio-Test zur Ermittlung der Modellanpassung (Modell-fit) herangezogen (vgl. Rost, 1999, S. 154ff).<sup>128</sup>

Dieser kann angewendet werden, um die Modellgüte zweier unterschiedlichen Modelle (z. B. das pc-Modell und das rs-Modell) oder auch aus struktureller Sicht eindimensionale gegenüber mehrdimensionalen Modellannahmen, zu vergleichen (vgl. Winther, 2010, S. 184f; König & Blömeke, 2009, S. 136ff; Pietsch & Tosana, 2008, S. 443ff; Neumann & Nagy, 2007, S. 146; Wu et al., 2007, S. 41f).

Die Beurteilung der Modellgüte kann immer nur relativ, also im Vergleich von zwei unterschiedlichen Modellen z. B. Modell A und Modell B vorgenommen werden (vgl. Wu et al., 2007, S. 42). Dazu wird die Differenz der Devianz-Werte der beiden Modelle, welche Chi-Quadrat-verteilt ist, als Prüfgröße herangezogen. Als Freiheitsgrad dient die Differenz der Anzahl der geschätzten Parameter aus Modell A und B. Ein signifikanter Chi-Quadrat-Wert bedeutet, dass z. B. Modell B besser zu den beobachteten Daten passt als Modell A (vgl. Rost & Spada, 1978, S. 81f).

Will man in struktureller Sicht prüfen, ob man mit den Aufgaben des Tests mehrere latente Variablen erfasst (z. B. deklaratives und prozedurales), können neben dem oben aufgezeigten Vergleich auch die in ConQuest berechneten Interkorrelationen der postulierten latenten Variablen als zusätzliches Entscheidungskriterium herangezogen werden. Jude (2006) merkt dazu an,

<sup>128</sup> Zur Kritik an diesem Vorgehen sei auf Kubinger und Draxler (2007) verwiesen.

dass die Interkorrelationen, um das mehrdimensionale Modell zu stützen, nicht zu hoch ( $r < .9$ ) ausfallen sollten.<sup>129</sup>

#### 9.4.1.5 Auswertungsverfahren für Veränderungsmessung im Rahmen der PTT

Eine der zentralen Fragen der pädagogischen Psychologie und auch dieser Arbeit ist die Veränderung von Persönlichkeitsmerkmalen durch gezielt eingesetzte Instruktionen bzw. der Vergleich zwischen unterschiedlichen Instruktionen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 547). Hierzu werden und wurden oftmals die Lernstände vor und nach einer Instruktion erfasst und als Ergebnis für die Lernwirksamkeit die Differenz des Vor- und Nachtest (z. B. die Differenz der Summe der richtig beantworteten Aufgaben) gebildet. In diesem Zusammenhang muss die Genauigkeit (Reliabilität) der Differenzen überprüft werden (vgl. Prenzel et al., 2006, S. 43; Hartig et al., 2008, S. 120). Die klassische Testtheorie [KTT] stößt bei dieser Frage und dem damit verbundenen *Reliabilitäts-Validitäts-Dilemma* an ihre Grenzen (vgl. Amelang, 2006, S. 374). Rost und Spada (1978) sowie Bortz und Döring (2006) fassen daher für das Reliabilitätskonzept der KTT zusammen, dass dieses zur Beantwortung dieser Frage nicht geeignet erscheint und zur Lösung die Veränderungsmessung auf Basis der Probabilistischen Testtheorie vorgenommen werden sollte, da diese ohne dieses Reliabilitätskonzept auskommt (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 553; Rost & Spada, 1978, S. 93).

Im Folgenden soll ein Verfahren vorgestellt werden, das von Rost (1996) theoretisch beschrieben, durch Hartig et al. (2008) im Rahmen der DESI Studie überprüft und in der PISA Studie 2003 zur Veränderungsmessung eingesetzt wurde.<sup>130</sup> Dieses Verfahren liefert reliable Schätzungen der Personenfähigkeiten sowie deren Veränderungen.

---

<sup>129</sup> Die Berechnung der Interkorrelationen der Dimensionen erfolgt in der Analyse in ConQuest auf latenter Ebene. Die Interkorrelationen werden direkt als Modellparameter geschätzt und sind deshalb auch nicht durch Messfehler beeinflusst (vgl. Carstensen et al., 2008, S. 374).

<sup>130</sup> Auf dieses Verfahren wird rekuriert, da die Personenfähigkeiten von zwei getrennt gerechneten Modellen (z.B. Vor- und Nachtest) nicht auf einer gemeinsamen Skala liegen und folglich nicht vergleichend zu interpretieren wären.

In einem ersten Schritt wird zunächst die Schätzung der Aufgabenschwierigkeiten/Itemparameter in einer eindimensionalen Skalierung mit virtuellen Personen, z. B. mit ConQuest, vorgenommen (vgl. Rost, 1996, S. 280). Dazu wird das Antwortverhalten der Personen aus dem Nachtest unter dem des Vortests angeordnet. Beide werden so behandelt, als ob es unterschiedliche Personen sind, die zu einem Testzeitpunkt untersucht wurden (vgl. Abbildung 9.6). Die Personen aus dem Nachtest werden auch als *virtuelle Personen* bezeichnet. „Der Vorteil dieses Vorgehens ist, dass automatisch eine Gleichsetzung der Schwierigkeiten aller Items über die Zeitpunkte erfolgt“ (Hartig & Kühnbach, 2006, S. 34).

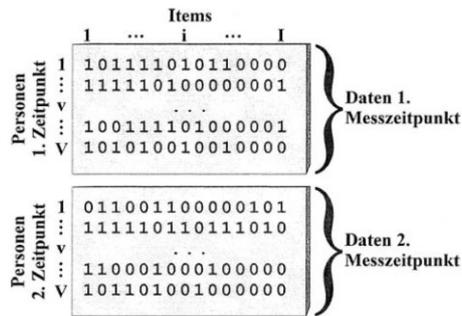


Abbildung 9.6: Datenmatrix mit virtuellen Personen zur gemeinsamen Schätzung der Itemparameter einer latenten Variable aus Vor- und Nachtest nach Rost (1996)

Als nächstes sind die Personenfähigkeiten, bedingt durch die zwei Messzeitpunkte, zweidimensional zu skalieren und die Itemparameter der Aufgaben zwischen den Zeitpunkten zu fixieren. Dazu werden die Itemparameter aus der Skalierung mit virtuellen Personen verwendet. In diesem Verfahren wird für jeden Zeitpunkt eine separate latente Dimension angenommen (vgl. Abbildung 9.7).

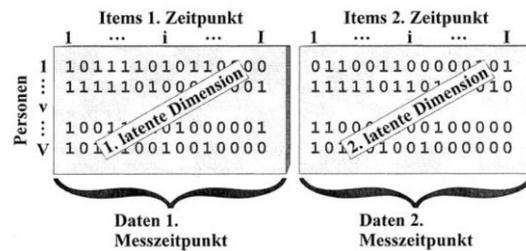


Abbildung 9.7: Schätzung der Personenfähigkeitenparameter von Vor- und Nachtest für eine latente Variable als zwei latente Dimensionen mit fixierten Itemparametern aus der Schätzung mit virtuellen Personen

Hartig und Kühnbach (2006) schlussfolgern aus den Ergebnissen ihrer Simulationsstudien, dass unter dem beschriebenen Vorgehen die WLE-Schätzer (vgl. Kap. 9.4.1.2) zu den reliabelsten Schätzungen für die individuelle Personenfähigkeit und deren Veränderung kommen (vgl. Hartig & Kühnbach, 2006, S. 42).

Allgemein gilt anzumerken, dass wenn man z. B. nicht nur eine latente Variable, sondern n latente Variablen erfassen möchte, sich die Dimensionen im ersten Schritt (virtuelle Personen) um n und die im zweiten Schritt um 2·n erweitern.

Das eben vorgestellte Verfahren setzt voraus, dass zu beiden Messzeitpunkten dieselben Aufgaben verwendet wurden und alle Aufgaben- bzw. Itemparameter für beide Messzeitpunkte gleich gesetzt bzw. fixiert werden. Dieses stellt ein sehr restriktives Vorgehen des „scale linking“ dar (vgl. Davier & Davier, 2011, S. 226; Winkelmann & Böhme, 2009, S. 87; Rost, 1996, S. 281). Im Rahmen der PTT existiert eine ganze „family of linking functions that ranges from the most restrictive one, the concurrent calibration with fixed item parameters, to separate calibration (without additional restrictions, i.e., to no linking at all)“, die jedoch alle das Ziel verfolgen, die Personenfähigkeiten von (zwei) unterschiedlichen Messzeitpunkten auf eine gemeinsame Metrik bzw. Skala zu bringen und sie damit vergleichen zu können (Davier & Davier, 2011, S. 226). Ein Überblick der unterschiedlichen Verfahren gibt Carlson (2011).

Berücksichtigt man die Tatsache, dass nicht alle Aufgaben eines Tests den Ansprüchen des mathematischen Modells (z. B. des Rasch-Modells) genügen (vgl. Kap. 9.4.1.3), ist es im Rahmen der PTT möglich, nicht alle, sondern nur eine Gruppe gemeinsamer Aufgaben- bzw. Itemparameter zwischen Vor- und Nachtest zu fixieren. Diese Gruppe von Aufgaben bezeichnet Rost (1996) als Brücken- und Moosbrugger (2008) als Ankeritems.

Köller (1997) merkt für den Fall, dass im Vor- und Nachtest eine Gruppe gemeinsamer Aufgaben (common item design) eingesetzt wird, an, dass diesen besondere Bedeutung zukommt.

So sollte zu beiden Messzeitpunkten die Anzahl der Ankeritems zwischen vier und zehn liegen, wobei eine größere Anzahl von Ankeritems prinzipiell erstrebenswert ist. Der Item-fit der Ankeritems sollte „gut“ sein ( $t$ -Werte und  $wMNSQ$ ), und die Schwierigkeitsparameter sowie die Rangfolge der Ankeraufgaben (leicht zu schwer) sollten sich zu beiden Messzeitpunkten nur geringfügig unterscheiden (vgl. Köller, 1998, S. 78f).

Dass die Möglichkeit, nicht alle Aufgabenschwierigkeiten bzw. Itemparameter zwischen Vor- und Nachtest zu verankern, sondern nur einer Gruppe von Ankeritems, zu zuverlässigen und unverzerrten Schätzungen der Personenfähigkeiten des Vor- und Nachtests führt, konnten Winkelmann und Böhme (2009) in Simulationsstudien zu den Bildungsstandards im Fach Deutsch und Mathematik zeigen (vgl. Winkelmann & Böhme, 2009, S. 86ff). Des Weiteren findet dieses Vorgehen in großen Schulleistungsuntersuchungen wie PISA 2003 oder TOSCA sowie in kleineren Untersuchungen Anwendung (vgl. Grube, 2011, S. 54ff; Nagy & Neumann, 2010, S. 300f; Ditton & Krüsken, 2009, S. 40ff; Carstensen, 2006, S. 312f).

Zusammenfassend soll für diese Arbeit das vorgestellte Vorgehen von Hartig und Kühnbach (2006), unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Ankeritems, Anwendung finden.

## 9.4.2 WISSENSTEST

Der auf Basis der Voruntersuchung überarbeitete Wissenstest umfasste in der Hauptuntersuchung 31 Aufgaben, davon 15 für prozedurales und 16 für deklaratives Wissen (vgl. Kap. 7.4.1, 8.5 und 12.3.1). Wie auch in der Voruntersuchung kamen Aufgaben mit offenen Antwortformaten, im Sinne von Kurzantwort- und Ergänzungsaufgaben, sowie Aufgaben mit gebundenen Antwortformaten (Zuordnungs- und Mehrfachwahlaufgaben) zum Einsatz. Die Auswertung erfolgte auf Basis eines Lösungsbogens, und die Bewertung der Aufgaben wurde dichotom (1 Pkt.= richtig; 0 Pkt.= falsch) vorgenommen. Eine Aufgabe mit offenem Aufgabenformat wurde dann als richtig bewertet, wenn alle Teilschritte korrekt oder die Antwort sinngemäß war. Folglich konnten 15 Punkte im prozeduralen und 16 Punkte im deklarativen Wissensbereich erreicht werden.

Im Gegensatz zur Voruntersuchung wurden die Testergebnisse der Hauptuntersuchung auf Basis der PTT mit Hilfe des Programmes ConQuest ausgewertet. Zentrales Ziel der Auswertung war es zunächst zu prüfen, ob mit den entwickelten Aufgaben zwei Wissensbereiche (deklarativ/prozedural) oder nur eine latente Variable erfasst werden konnte.

Für den Fall, dass die Aufgaben des Tests nur eine latente Variable erfassen, wurde in einem ersten Schritt ein eindimensionales 1-parametrisches Raschmodell für dichotome Daten mit virtuellen Personen zur Schätzung der Itemparameter in ConQuest gerechnet. Anschließend wurden in einem zweidimensionalen 1-parametrischen Raschmodell für dichotome Daten die Personenfähigkeiten auf Basis der WLE-Schätzungen ermittelt.

Aufgrund unpassender Item-fit-Werte konnten nicht alle Aufgaben- bzw. Itemparameter vom Vortest in den Nachtest importiert und fixiert werden.

Insgesamt 22 Ankeritems, die einen guten bis sehr guten Item-fit besitzen, sowie ein breites Schwierigkeitsspektrum abdecken, wurden zur gemeinsamen Schätzung eingesetzt.<sup>131</sup> Die restlichen Aufgaben wurden frei geschätzt.

Analog zu dem in Kapitel 9.4.1.5 vorgestellten Vorgehen wurde für deklaratives und prozedurales Wissen ein zweidimensionales 1-parametrisches Raschmodell für dichotome Daten mit virtuellen Personen zur Schätzung der Itemparameter in ConQuest gerechnet. Für die gemeinsame Schätzung der Personenfähigkeitenparameter wurde ein vierdimensionales 1-parametrisches Raschmodell für dichotome Daten eingesetzt in dem die gleichen 22 Ankeritems verwendet wurden. Alle Aufgaben in den mehrdimensionalen Modellen wurden als *between-item-Multidimensionality* geschätzt (vgl. Kap. 9.4.1.2).

---

<sup>131</sup> Die Ankeritems umfassen die Aufgaben 3a, 3b, 4, 5, 6, 7b, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21a, 21b, 22, 23, 24, 25.

Ob und welche Aufgaben den Modellannahmen für den Wissenstest entsprechen, wird im nachfolgenden Kapitel betrachtet (vgl. Kap. 9.4.2.1). Anschließend wird geprüft, ob mit dem entwickelten Wissenstest zwei eigenständige und empirisch nachweisbare Wissensarten bzw. -dimensionen erfasst wurden oder ob diese Annahme nicht haltbar ist (vgl. Kap. 9.4.2.2). In Kapitel 9.4.2.3 werden die klassischen Gütekriterien der Aufgaben des Modells vorgestellt.

#### 9.4.2.1 Prüfung der Aufgaben auf Modellkonformität [Item-fit]

Den dieser Arbeit zugrunde gelegten Ausschlusskriterien für die wMNSQ-Werte (kleiner als .7 und größer als 1.33) folgend, mussten in iterativen Skalierungsdurchgängen 9 Aufgaben<sup>132</sup> aus dem 1-dimensionalen sowie aus dem 2-dimensionalen Raschmodell entfernt werden.

Tabelle 9.2: Item-fit-Werte der Aufgaben des 1- und 2-dimensionalen Modells

1dimensional			2dimensional					
wMNSQ			Anzahl der Aufgaben	wMNSQ			Anzahl der Aufgaben	
min	max	M		min	max	M	deklarativ	prozedural
.59	1.68	.95	22	.69	1.33	.94	10	12

Wie aus Tabelle 9.2 entnommen werden kann, weisen die Aufgaben für das 2-dimensionale Modell, in dem eine deklarative und prozedurale Wissensstruktur angenommen wird, einen besseren Item-fit auf als im 1-dimensionalen Modell (vgl. Tabelle 9.2).

#### 9.4.2.2 Prüfung der Modellgeltung [Modell-fit]

Zwar lassen die besseren Item-fit-Werte des 2-dimensionalen Modells bereits eine zweidimensionale Wissensstruktur des Tests vermuten, um jedoch für den weiteren Verlauf der Arbeit feststellen zu können, ob durch die Aufgaben des Tests eine 1- oder 2- dimensionale (deklarativ/prozedural) Wissensstruktur erfasst werden konnte, wurde wie eingangs beschrieben ein 1- und ein 2-dimensionales Modell in ConQuest berechnet. Das 1-dimensionale Modell umfasste, wie das 2-dimensionale Modell, 22 Aufgaben (vgl. Kap. 9.4.2.1). Zur Prüfung, welches Modell besser zu den Daten bzw. Antwortverhalten passt, wurde das in Kapitel 9.4.1.4 vorgestellte Verfahren angewendet. Dazu wurden die Devianzen und die Zahl der geschätzten Parameter der beiden Modelle jeweils voneinander subtrahiert, wobei die Differenz der Devianzen als Wert einer Chi-Quadrat-Verteilung und die Differenz der geschätzten Parameter die Freiheitsgrade darstellen. Die Prüfung des Signifikanzniveaus, also

<sup>132</sup> Aus den Modellen mussten die Aufgaben 1, 2, 7a, 10, 12, 13a, 13b, 26 und 27 aufgrund zu schlechter Item-fit-Werte ausgeschlossen werden.

ob die Modelle unterschiedliche Passung an die Daten aufweisen, wurde mit Hilfe einer Chi-Quadrat-Tabelle ermittelt (vgl. Walter & Rost, 2011, S. 138ff).

Tabelle 9.3: Modell-fit des 1- und 2-dimensionalen Modells zum Vergleich der durch den Test erfassten Wissensstruktur

Modell	Devianz	Zahl der geschätzten Parameter	Differenz		
			Chi-Quadrat-Wert	Freiheitsgrad $df$	Signifikanz $p$
<b>1-dimensional</b>	15114.8	7	162.7	7	<.001
<b>2-dimensional</b>	14952.1	14			

Der Vergleich der beiden Modelle lässt klar eine zweidimensionale Wissensstruktur erkennen, und die (Null-)Hypothese, dass es keinen Unterschied zwischen den beiden Modellen gibt, kann demnach nicht beibehalten werden (vgl. Tabelle 9.3).

Betrachtet man die Interkorrelationen, fallen diese erwartungsgemäß zwischen Vor- und Nachtest innerhalb eines Wissensbereich sehr hoch aus, insbesondere im prozeduralen Wissensbereich (vgl. 1→3 und 2→4 in Tabelle 9.4).

Die Korrelationen zwischen den Wissensbereichen und zwischen den Mess-

zeitpunkten weisen, wenn auch nur tendenziell, auf eine zweidimensionale Wissensstruktur hin und unterstützen die Ergebnisse des Modellvergleichs.

Auf Basis des dargestellten Vergleichs und der Überlegenheit des zweidimensionalen Modells wird für den weiteren Verlauf der Arbeit angenommen, dass der Wissenstest prozedurales und deklaratives Wissen separat erfassen kann. Des Weiteren wurden durch diesen Vergleich die Annahmen der Literatur bestätigt, welche deklaratives und prozedurales Wissen als zentral für die Bearbeitung technischer Experimente postulierten (vgl. Kap. 2.1.4 und 5.2).

Tabelle 9.4: Interkorrelationen der zwei Wissensbereiche zu den zwei Messzeitpunkten (Vor- und Nachtest) des 2-dimensionalen Modells

		1	2	3
1	VT deklarativ			
2	VT prozedural	.86		
3	NT deklarativ	.88	.80	
4	NT prozedural	.83	.96	.88

### 9.4.2.3 Reliabilitäten, Trennschärfen und Schwierigkeiten der Aufgaben des 2-dimensionalen Modells

Der Wissenstest umfasste nach den Überprüfungen des Item-fit insgesamt 22 Aufgaben, davon zwölf für prozedurales und zehn für deklaratives Wissen. Die Auswertung erfolgte wie eingangs in Kapitel 9.4.2 beschrieben.

Legt man, wie in der Voruntersuchung auch, die Beurteilungsrichtlinien für Testkennwerte und Gütekriterien nach Bühner (2006) zugrunde, fallen die Schwierigkeiten des Nachtests mit  $P$  ( $M = .35$   $SD = .17$ ) für das prozedurale und mit  $P$  ( $M = .43$   $SD = .14$ ) für das deklarative Wissen in den gültigen Bereich von ( $.2 < P < .8$ ). Des Weiteren bietet der Wissenstest für beide Wissensbereiche ausreichend schwierige und leichte Aufgaben, wobei deutlich wurde, dass Fragen, die prozedurales Wissen erfassen, schwerer als für den deklarativen Bereich ausfallen. Insgesamt kann die Schwierigkeit der Aufgaben des Wissenstests als der Zielgruppe angemessen bezeichnet werden (vgl. Tabelle 9.5).

Tabelle 9.5: Übersicht der WLE-Reliabilitäten, Aufgabenschwierigkeiten  $P$  und punktbiserialen Trennschärfen  $r_{pbis}$  des Wissenstest aus der Hauptuntersuchung, getrennt nach den erfassten Wissensbereichen  
Anmerkungen: Ergebnisse des Nachtests sind ohne Ergebnisse des Vortests in Klammern dargestellt.

Prozedurales Wissen			Deklaratives Wissen		
WLE-Reliabilität NT= .73 (VT= .61)			WLE-Reliabilität NT= .68 (VT= .34)		
	P	$r_{pbis}$		P	$r_{pbis}$
Aufgabe 3a	.70 (.73)	.45 (.43)	Aufgabe 4	.65 (.42)	.54 (.58)
Aufgabe 3b	.49 (.34)	.53 (.44)	Aufgabe 6	.46 (.12)	.46 (.28)
Aufgabe 5	.17 (.11)	.52 (.44)	Aufgabe 7b	.24 (.05)	.41 (.17)
Aufgabe 8	.46 (.35)	.45 (.47)	Aufgabe 11	.54 (.53)	.53 (.46)
Aufgabe 9	.30 (.23)	.60 (.42)	Aufgabe 15	.38 (.23)	.43 (.28)
Aufgabe 14	.38 (.32)	.53 (.54)	Aufgabe 16	.34 (.09)	.37 (.12)
Aufgabe 18	.36 (.25)	.61 (.56)	Aufgabe 17	.58 (.42)	.46 (.40)
Aufgabe 19	.25 (.16)	.57 (.50)	Aufgabe 21a	.31 (.09)	.51 (.33)
Aufgabe 20	.51 (.52)	.51 (.47)	Aufgabe 22	.25 (.15)	.40 (.24)
Aufgabe 21b	.25 (.07)	.63 (.34)	Aufgabe 23	.57 (.41)	.53 (.33)
Aufgabe 24	.13 (.07)	.48 (.40)			
Aufgabe 25	.12 (.05)	.57 (.35)			

Anders als in der Voruntersuchung berechnet ConQuest nicht wie SPSS die korrigierte Trennschärfe  $r_{itc}$ , sondern die punktbiserialen Trennschärfe  $r_{pbis}$  (vgl. Lienert & Raatz, 1994, S. 79f).

Im Nachtest fallen die Trennschärfen für das prozedurale  $r_{pbis}$  ( $M = .54$   $SD = .06$ ) und deklarative  $r_{pbis}$  ( $M = .46$   $SD = .06$ ) Wissen in den mittleren Bereich, wobei viele Aufgaben in beiden Wissensbereichen sehr gute Trennschärfen  $r_{pbis} > .5$  aufweisen (vgl. Bühner, 2006, S. 140; Tabelle 9.5).

Zur Kontrolle der Reliabilität des Wissenstests wurde die WLE-Reliabilität durch ConQuest berechnet. Bezogen auf die Interpretation der WLE-Reliabilität muss allgemein angemerkt werden, dass ihre Schätzgenauigkeit unter anderem durch die Anzahl der Testaufgaben (Testlänge) beeinflusst wird. Dies ist der Schätzung der WLE-Reliabilität nach der Andrich-Methode geschuldet, die bis zu einer Testlänge von 20 Aufgaben die WLE-Reliabilität unterschätzt (vgl. Walter & Rost, 2011, S. 134ff; Walter, 2005, S. 78f, S. 132ff und S. 184f). Für die WLE-Reliabilität des Wissenstest der eigenen Arbeit, welcher im prozeduralen Bereich zwölf und im deklarativen Bereich zehn Aufgaben umfasste, muss folglich davon ausgegangen werden, dass die WLE-Reliabilität unterschätzt wurde.

Die geschätzte WLE-Reliabilität des Wissenstest der eigenen Arbeit beträgt im Nachtest für das prozedurale Wissen .73 und für das deklarative Wissen .68. Damit fallen die Reliabilitäten, trotz Unterschätzung, in den mittleren Bereich und können für diese Studie als zufriedenstellend bezeichnet werden.

Zusammenfassend ist für den entwickelten Wissenstest festzuhalten, dass er in der Lage ist, prozedurales und deklaratives Wissen hinreichend genau zu erfassen und ausreichend leichte sowie schwierige Aufgaben bietet, die zwischen leistungsstarken und leistungsschwachen SchülerInnen trennen.

## 9.4.3 FACHINTERESSE

Der in der Voruntersuchung präpilotierte Test für das Interesse am Fach Technik konnte ohne Überarbeitung für die Hauptuntersuchung übernommen werden. Der Test umfasste acht Beurteilungsaufgaben mit jeweils 4 Antwortmöglichkeiten (die von 1= trifft gar nicht zu bis 4= trifft völlig zu reichen), die in Anlehnung an Baumert et al. (1986) aus dem naturwissenschaftlichen Bereich adaptiert wurden.

Bisherige Forschungsarbeiten nahmen die Auswertung des Fachinteresses auf Basis der KTT vor, womit sich dieser im Rahmen dieser Arbeit erstmals unter den Annahmen der PTT beweisen muss.

Dazu wurde das Antwortverhalten der SchülerInnen zum Interesse am Fach Technik mit dem partial credit- und dem rating scale-Modell (vgl. Kap. 9.4.1.2) in ConQuest geschätzt. Zur Schätzung der Item- und Personenparameter kam das in Kapitel 9.4.1.5 theoretisch beschriebene und zur Auswertung des Wissenstest angewendete Vorgehen zum Einsatz (vgl. Kap. 9.4.2).

Entsprechend wurden die Itemparameter mit Hilfe des modifizierten Datensatzes für virtuelle Personen, einmal für das rating scale- und einmal für das partial credit-Modell, geschätzt. Anschließend wurden die Personenparameter in einer zweidimensionalen Modellstruktur bestimmt. Da auch hier aufgrund unpassender Item-fit-Werte nicht alle Aufgaben- bzw. Itemparameter vom Vortest in den Nachtest importiert und fixiert werden konnten, wurden 5 von 8 Beurteilungsaufgaben, die einen sehr guten Item-fit besitzen, zur gemeinsamen Schätzung als Ankeritems eingesetzt.<sup>133</sup> Die restlichen Aufgaben wurden frei geschätzt.

Um zu ermitteln, welches der beiden mathematischen Modelle das Antwortverhalten der SchülerInnen besser beschreibt, wird die Prüfung des Item- und des Modell-fit für die beiden Modelle vergleichend vorgenommen (vgl. Kap. 9.4.3.1 und 9.4.3.2). Abschließend werden die klassischen Gütekriterien der modellkonformen Aufgaben für das Interesse am Fach Technik vorgestellt (vgl. Kap. 9.4.3.3).

---

<sup>133</sup> Die Ankeritems umfassen die Beurteilungsaufgaben a, c, d, e und g.

### 9.4.3.1 Prüfung der Aufgaben auf Modellkonformität [Item-fit]

Analog zur Auswertung des entwickelten Wissenstests wurde auf Basis der INFIT-Statistik überprüft, welche Aufgaben des Fachinteressentests zu den Annahmen des jeweiligen mathematischen Modells der PTT passen.

Auch hier mussten, bedingt durch die dieser Arbeit zugrunde gelegten Ausschlusskriterien für die wMNSQ-Werte (.7-1.33), in iterativen Skalierungsdurchgängen 3 Aufgaben aus den Modellen entfernt werden, damit alle verbleibenden Aufgaben innerhalb der geforderten Grenzen liegen.

Tabelle 9.6: Item-fit-Werte der fünf Beurteilungsaufgaben des rating scale- und des partial credit-Modells

	Rating scale-Modell			Anzahl der Aufgaben	Partial credit-Modell			
	wMNSQ				wMNSQ			
	min	max	Ø		min	max	Ø	
VT	.74	.90	.81	5	.74	1.08	.84	5
NT	.70	.94	.80		.73	1.13	.88	

Bezogen auf die Aufgaben weisen das rating scale- als auch das partial credit-Modell ähnliche Item-fit-Werte auf, die sogar, legt man die von Wright und Linacre (1994) empfohlenen Richtwerte für Umfragen bzw. Fragebögen von wMNSQ (.6-1.4) zugrunde, als gut bezeichnet werden können (vgl. Tabelle 9.6).

### 9.4.3.2 Prüfung der Modellgeltung [Modell-fit]

Das rating scale-Modell stellt im Wesentlichen ein restriktiveres partial credit-Modell dar, da es gleiche Abstände der Schwellenparameter annimmt, wohingegen das partial credit-Modell nur vorhandene bzw. geordnete Schwellenparameter fordert (vgl. Kap. 9.4.1.2). Um für den weiteren Verlauf der Arbeit feststellen zu können, ob die Abstände der vierstufigen Antwortmöglichkeiten (*trifft völlig zu* bis *trifft gar nicht zu*) den Anforderungen des rating scale-Modells genügen oder doch durch das weniger restriktive partial credit-Modell besser beschrieben werden können, wurden, wie eingangs beschrieben, beide Modelle in ConQuest berechnet.

Zur Prüfung, welches Modell besser zu den Daten passt, wurde das in Kapitel 9.4.1.4 vorgestellte Verfahren angewendet. Dazu wurden die Devianzen und die Zahl der geschätzten Parameter der beiden Modelle jeweils voneinander subtrahiert, wobei die Differenz der Devianzen als Wert einer Chi-Quadrat-Verteilung und die Differenz der geschätzten Parameter die Freiheitsgrade darstellen. Die Prüfung des Signifikanzniveaus, also ob die Modelle unterschiedliche Passung an die Daten aufweisen, wurde mit Hilfe einer Chi-Quadrat-Tabelle ermittelt.

Wie Tabelle 9.7 entnommen werden kann, wird das Antwortverhalten auf die fünf Beurteilungsaufgaben durch das partial credit-Modell signifikant besser beschrieben, womit die (Null-)Hypothese, dass es keinen Unterschied zwischen den beiden Modellen gibt, nicht beibehalten werden kann. Die Kategorien der vierstufigen Likertskala (*trifft völlig zu bis trifft gar nicht zu*) bzw. genauer formuliert, die Abstände zwischen den Antwortkategorien, können folglich nicht als äquidistant bezeichnet werden.

Tabelle 9.7: Vergleich des rating scale- und des partial credit-Modells in Bezug auf den Modell-fit

Modell	Devianz	Zahl der geschätzten Parameter	Differenz		
			Chi-Quadrat-Wert	Freiheitsgrad $df$	Signifikanz $p$
<b>Rating scale-Modell</b>	7653.5	7	550.3	20	<.001
<b>Partial credit-Modell</b>	7103.2	27			

Auf Basis des dargestellten Vergleichs und der Überlegenheit des partial credit-Modells sollen für den weiteren Verlauf der Arbeit die durch das partial credit-Modell geschätzten Item- und Personenparameter der fünf Beurteilungsaufgaben des Fachinteressentests verwendet werden.

#### 9.4.3.3 Reliabilitäten und Trennschärfen der Beurteilungsaufgaben des pc-Modells für das Fachinteresse

Nachdem der Test für das Interesse am Fach Technik bzw. die Aufgaben auf Item- und Modell-fit überprüft wurden, umfasst dieser noch fünf von acht ursprünglichen Beurteilungsaufgaben (vgl. Tabelle 9.8).

Tabelle 9.8: Übersicht der WLE-Reliabilitäten und punktbiserialen Trennschärfen  $r_{pbis}$  des Fachinteressentests aus der Hauptuntersuchung  
Anmerkungen: Ergebnisse des Nachttests sind ohne Ergebnisse des Vortests in Klammern dargestellt.

Fachinteresse	
WLE-Reliabilität NT= .87 (VT= .86)	$r_{pbis}$
a) Macht Dir das Fach Technik Spaß?	.88 (.87)
c) Beteiligst Du Dich am Technikunterricht aktiv?	.77 (.76)
d) Mir liegt viel daran, viel über Technik zu wissen.	.82 (.85)
e) Ich freue mich auf den Technikunterricht.	.83 (.84)
g) Mein Interesse am Fach Technik ist hoch.	.87 (.87)

Legt man, wie in der Voruntersuchung auch, die Beurteilungsrichtlinien für Testkennwerte und Gütekriterien nach Bühner (2006) zugrunde, fallen die von ConQuest bestimmten punktbiserialen Trennschärfen  $r_{bis}$  in den hohen Bereich (vgl. Bühner, 2006, S. 140; Lienert & Raatz, 1994, S. 79f).

Die fünf Beurteilungsaufgaben für das Interesse am Fach Technik können im Vortest ( $.76 < r_{pbis} < .87$ ) als auch im Nachtest ( $.77 < r_{pbis} < .88$ ) sehr gut zwischen SchülerInnen mit hohem bzw. niedrigem Fachinteresse differenzieren.

Zur Kontrolle der Reliabilität wurde die WLE-Reliabilität durch ConQuest berechnet. Die WLE-Reliabilität des Vor- und Nachtests fällt in beiden Fällen mit  $.86$  bzw.  $.87$  hoch aus und kann damit im Rahmen dieser Studie als sehr zufriedenstellend bezeichnet werden.

Zusammenfassend kann für den entwickelten Fachinteresstest festgehalten werden, dass er sehr gut in der Lage ist, das Fachinteresse von SchülerInnen zu erfassen, und dass er hinsichtlich seiner Auswertung der Testgütekriterien auch den strengeren Annahmen der Probabilistischen Testtheorie standhält.<sup>134</sup>

---

<sup>134</sup> In bisherigen Forschungsarbeiten, insbesondere im naturwissenschaftlichen Bereich, wurde die Auswertung des Fachinteresstests auf Basis der KTT vorgenommen, wodurch mit dieser Arbeit erstmals überprüft wurde, inwiefern die Beurteilungsaufgaben auch den strengeren Kriterien der PTT genügen.

## 9.5 ERGEBNISSE DER HAUPTUNTERSUCHUNG<sup>135</sup>

Die Überprüfung der Eingangsvariablen, z. B. wie sich das Vorwissen von SchülerInnen der erhobenen Stichprobe auf die Treatmentgruppen verteilt, bildet die einleitende Betrachtung (vgl. Kap. 9.5.1) und kann als Voraussetzung für die nachfolgende Hypothesenprüfung (vgl. Kap. 9.5.2) angesehen werden.

### 9.5.1 EINLEITENDE BETRACHTUNGEN

Wie sich die erhobene Stichprobe hinsichtlich der Ausprägungen in den abhängigen Variablen zusammensetzt (vgl. Kap. 9.5.1.1), ob sich die Bearbeitungszeit für den Wissenstest oder das technische Experiment zwischen den Treatmentgruppen unterscheiden (vgl. Kap. 9.5.1.2) und ob die entwickelten Treatments in der Lage sind, Wissen zu vermitteln (vgl. Kap. 9.5.1.3), bilden die Schwerpunkte der nachfolgenden Kapitel.

#### 9.5.1.1 Homogenität in den Eingangsvariablen<sup>136</sup>

In einem ersten Schritt werden SchülerInnen der Hauptuntersuchung hinsichtlich des Vorwissens und des Fachinteresses in ihrer natürlichen Zusammensetzung untersucht. Dazu wurden, getrennt nach Schulform, Schule, Klasse und Geschlecht, einfaktorielle Varianzanalysen (engl. Analysis of Variance, kurz: ANOVA) gerechnet.

Abschließend wurden die SchülerInnen nach randomisierter Zuordnung zu den Treatmentgruppen erneut auf Unterschiede bezogen auf das Vorwissen und Fachinteresse überprüft.

Die Anwendung der Varianzanalyse ist an gewisse Voraussetzungen geknüpft (z. B. Normalverteilung, Homoskedastizität, Intervallskalenniveau, Unabhängigkeit der Beobachtungen). Tests auf Normalverteilung wurden durch den Kolmogorov-Smirnov-Test, und die Homogenität der (Fehler-)Varianzen wurde mit dem Levene-Test bestimmt. Bedingt durch die im Rahmen der PTT durchgeführten Schätzungen der Item- und Personenparameter für die abhängigen Variablen der Untersuchung (deklaratives und prozedurales Wissen, Fachinteresse) kann das Intervallskalenniveau als gegeben angesehen werden (vgl. Kap. 9.4.1.1). Eine Normalverteilung kann nur z. T. für die abhängigen Variablen des Vor- und Nachtests, gemäß den Ergebnissen des Kolmogorov-Smirnov-Tests, in den o. g. Gruppierungen angenommen werden. Dies stellt jedoch keine Kontraindikation für die Anwendung

---

<sup>135</sup> Die Auswertung der Ergebnisse aus der Hauptuntersuchung wurde, basierend auf den Schätzungen der Software ConQuest, in dem Statistikprogramm PASW 18 (ehemals SPSS) vorgenommen.

<sup>136</sup> Für die Berechnungen wurden nur SchülerInnen in den Treatments (N=257) einbezogen. SchülerInnen der Kontrollgruppe wurden gesondert betrachtet (vgl. Kap. 9.5.1.3).

der ANOVA dar, da diese bezogen auf die Voraussetzung der Normalverteilung bei gegebener Varianzhomogenität äußerst robust auf diese Verletzung reagiert (Bühner & Ziegler, 2009, S. 368f; Backhaus, 2008, S. 176f; Rasch, Frie-se, Homann & Naumann, 2006b, S. 48f; Bortz & Weber, 2005, S. 286f; Diehl & Arbinger, 2001, S. 214ff). Der Levene-Test ergab für alle abhängigen Variablen in den Gruppen<sup>137</sup> keine signifikanten Abweichungen, wodurch der Anwendung der ANOVA zur Überprüfung der Homogenität der Eingangsvariablen nichts im Wege stand.

Tabelle 9.9: Eingangsvoraussetzungen der untersuchten Schulen in den abhängigen Variablen (Vortest = VT)  
Anmerkung: *M* = Mittelwert und *SD* = Standardabweichung.

	Laufnummer der Schulen											
	1		2		3		4		5		6	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
deklaratives Wissen VT	-1.054	.917	-.479	.550	-1.416	.798	-1.893	.995	-1.232	1.114	-.832	.929
prozedurales Wissen VT	-1.281	1.208	-.255	1.385	-1.775	.982	-2.328	1.222	-1.379	1.417	-.601	1.206
Fachinteresse VT	.664	2.147	.049	1.286	.667	2.336	.967	2.205	.022	2.429	.620	2.024

Hinsichtlich der 6 untersuchten Schulen muss in Bezug auf die abhängigen Variablen festgestellt werden, dass hier z. T. große Unterschiede bestehen. Im Bereich des deklarativen Vorwissens unterscheiden sich die Schulen bis zu 1.3 logits ( $F(5,251) = 7.208$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .151$ <sup>138</sup>) und im prozeduralen Bereich bis zu 2 logits ( $F(5,251) = 14.372$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .223$ ) (vgl. Tabelle 9.9). Post-Hoc berechnete Einzelvergleiche ergaben, dass insbesondere ländlicher gelegene Schulen höhere Eingangsvoraussetzungen in den Wissensbereichen besaßen als SchülerInnen aus Ballungsräumen. Unterschiede im Fachinteresse vielen nicht signifikant aus ( $F(5,251) = .557$ ,  $p = .733$ ,  $\eta^2 = .011$ ).

<sup>137</sup> Mit Gruppen sind die o.g. natürlichen Zusammensetzungen der SchülerInnen nach Schulform (Gesamtschule/Gymnasium), Laufnummer der Schule (1-6), aktuelle Klasse (9. bis 10. Klasse) sowie das Geschlecht (Jungen/Mädchen) gemeint. Zusätzlich wurden die SchülerInnen abschließend nach randomisierter Zuordnung in den Treatments untersucht.

<sup>138</sup>  $\eta^2$  ist als Maß für die Effektstärke bei varianzanalytischen Verfahren aufzufassen. Per Konvention wird bei  $\eta^2 = .01$  von einem kleinen,  $\eta^2 = .06$  von einem mittleren und bei  $\eta^2 = .14$  von einem großen Effekt gesprochen (vgl. Bühner & Ziegler, 2009, S. 364; Rasch et al., 2006b, S. 38).

Tabelle 9.10: Eingangsvoraussetzungen bezogen auf das Geschlecht, die aktuelle Klasse sowie die Schulform in den abhängigen Variablen (Vortest = VT)

Anmerkung: *M* = Mittelwert und *SD* = Standardabweichung.

	Geschlecht				Aktuelle Klasse						Schulform			
	weiblich		männlich		9. Klasse		10. Klasse		11. Klasse		Gy		Ge	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
deklaratives Wissen VT	-1.372	.933	-1.024	.964	-1.628	1.076	-1.408	.881	-.843	.905	-.217	.777	-1.235	.934
prozedurales Wissen VT	-1.657	1.295	-1.039	1.297	-2.226	.996	-1.705	1.119	-.704	1.284	.581	1.108	-1.434	1.199
Fachinteresse VT	-.374	1.772	.747	2.281	1.292	2.507	.588	2.293	.501	1.896	.602	2.179	.625	2.128

Schüler verfügten eingangs über mehr prozedurales als auch deklaratives Wissen als Schülerinnen (prozedural:  $F(1,255)= 13.035$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .049$ ; deklarativ:  $F(1,255)= 7.646$ ,  $p = .006$ ,  $\eta^2 = .029$ ). Das Fachinteresse fiel zwischen SchülerInnen wiederum nicht signifikant unterschiedlich aus ( $F(1,255)= 1.763$ ,  $p = .185$ ,  $\eta^2 = .007$ ) (vgl. Tabelle 9.10).

Die Ausprägungen des deklarativen und prozeduralen Wissens zwischen den Klassen zeigen hingegen überzufällige Unterschiede (deklarativ:  $F(2,254)= 15.160$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .107$ ; prozedural:  $F(2,254)= 43.467$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .193$ ), wobei erwartungsgemäß SchülerInnen der Klasse 11 das größte und SchülerInnen der Klasse 9 das geringste Vorwissen aufweisen. Das Fachinteresse unterschied sich auch in diesem Vergleich nicht ( $F(1,255)= 1.671$ ,  $p = .190$ ,  $\eta^2 = .013$ ).

Der Unterschied zwischen SchülerInnen in Gymnasien und Gesamtschulen fiel, über beide Wissensarten hinweg, mit einer Differenz von ca. 1 logit zu Gunsten des Gymnasiums aus (deklarativ:  $F(1,255)= 26.631$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .095$ ; prozedural:  $F(1,255)= 62.217$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .196$ ). Auch hier besaßen SchülerInnen des Gymnasiums und der Gesamtschule kein unterschiedliches Fachinteresse ( $F(1,255)= .011$ ,  $p = .960$ ,  $\eta^2 < .001$ ).

Zusammenfassend kann für die erhobene Stichprobe festgehalten werden, dass SchülerInnen der Klassen 9 bis 11 von Gymnasien und Gesamtschulen ein vergleichbares Interesse am Fach Technik besitzen, jedoch in Bezug auf die Wissensarten z. T. sehr große Unterschiede bestehen.

Wie bereits in Kapitel 7.2.2 vorgestellt, wurde in dieser Arbeit ein Forschungsdesign entwickelt und eingesetzt, dass eine Randomisierung auf Klassenebene ermöglicht, wodurch die aufgezeigten Unterschiede in den Eingangsvoraussetzungen der abhängigen Variablen eliminiert werden sollen.

Um die Wirkung des eingesetzten Designs überprüfen zu können, wurde abschließend eine ANOVA mit den Treatmentgruppen und den abhängigen Variablen gerechnet.

Es zeigte sich, dass die bisher bestehenden Unterschiede in den beiden Wissensarten durch die Randomisierung eliminiert und folglich keine überzufälligen Differenzen zwischen den Treatmentgruppen festgestellt werden konnten (deklarativ:  $F(2,254) = 2.644$ ,  $p = .073$ ,  $\eta^2 = .020$ ; prozedural:  $F(2,254) = 2.247$ ,  $p = .108$ ,  $\eta^2 = .017$ ) (vgl. Tabelle 9.11).

Tabelle 9.11: Eingangsvoraussetzungen in den Treatmentgruppen der abhängigen Variablen (Vortest = VT)

Anmerkung:  $M$  = Mittelwert und  $SD$  = Standardabweichung.

	Treatmentgruppen					
	Handeln		Beobachten		Lesen	
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$
deklaratives Wissen VT	-.961	.911	-1.182	.803	-1.293	1.153
prozedurales Wissen VT	-1.021	1.423	-1.293	1.233	-1.444	1.292
Fachinteresse VT	1.806	1.725	-1.321	1.524	1.444	1.530

Entgegen den Erwartungen fiel das Fachinteresse in den Treatmentgruppen aus. Hier zeigten sich, nachdem die SchülerInnen einer Treatmentgruppe zugeordnet waren, signifikante Unterschiede ( $F(2,254) = 100.001$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .441$ ). Wie Post-Hoc Vergleiche zeigen, weist die Treatmentgruppe *beobachten* ein signifikant niedrigeres Fachinteresse als die beiden anderen Gruppen *handeln* und *lesen* auf. In den beiden letztgenannten Gruppen unterscheidet sich das Fachinteresse hingegen nicht.

Dieser Befund überrascht insbesondere, da nicht nur in den beiden Wissensbereichen, sondern auch in den Noten keine Unterschiede zwischen den Treatmentgruppen festgestellt werden konnten, die diese Ausprägung des Fachinteresses erklären würde (vgl. Tabelle 9.12).

Tabelle 9.12: Zeugnisnoten der SchülerInnen in den Treatmentgruppen

Anmerkung:  $M$  = Mittelwert und  $SD$  = Standardabweichung.

	Technik		Mathe- matik		Physik		Deutsch		Englisch	
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$
	Handeln	2.0	.8	2.6	.9	2.6	.9	2.6	.7	2.7
Beobachten	2.2	.8	2.6	1.0	2.7	1.0	2.7	.8	2.9	.9
Lesen	2.5	.8	2.9	.9	2.7	.9	2.7	.9	2.8	.9

### 9.5.1.2 Bearbeitungszeiten des technischen Experiments sowie des Vor- und Nachtests

Den Rahmenbedingungen folgend, dass die Bearbeitung des technischen Experiments und des Nachtests 90 Minuten nicht überschreiten durfte, und den Erkenntnissen der Forschungsergebnisse aus Kapitel 3.3.1 folgend, dass die Bearbeitungszeit bedeutende Einflüsse auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse haben kann, wurden die Bearbeitungszeiten des Vor- und Nachtests sowie die der Phasen des technischen Experiments erfasst.

Bezogen auf die Bearbeitungszeit des Vor- und Nachtests ergaben Mittelwertvergleiche keine signifikanten Abweichungen zwischen den Treatmentgruppen (vgl. Tabelle 9.13).

Tabelle 9.13: Bearbeitungszeiten des Vortests [VT], der Informations- und Planungsphase [I und P], der Durchführungs-, Auswertungs- und Bewertungsphase des technischen Experiments [D, A und B] sowie die des Nachtests [NT] angegeben in Minuten

Anmerkung:  $M$  = Mittelwert und  $SD$  = Standardabweichung.

	VT		I und P		D, A und B		NT	
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$
Handeln	28.74	4.02	15.46	4.13	44.02	4.32	22.03	4.46
Beobachten	27.95	5.04	12.16	4.34	48.40	5.02	21.91	5.39
Lesen	29.10	3.08	16.29	7.47	30.66	9.54	21.94	6.36

Jedoch fällt auf, dass im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen, *lesen* das technische Experiment signifikant kürzer bearbeitete. SchülerInnen dieser Gruppe verwendeten ca. 4 Minuten weniger, sich Informationen anzueignen und ihr Vorgehen zu planen als SchülerInnen der beiden anderen Gruppen ( $F(2,254) = 13.745$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .097$ ). Auch für die weiteren Phasen des technischen Experiments benötigten sie bis zu ca. 18 Minuten weniger ( $F(2,254) = 162.905$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .561$ ).

### 9.5.1.3 Lernwirksamkeit der Treatments (*handeln, beobachten, lesen*)<sup>139</sup>

Damit zwischen den Treatmentgruppen überhaupt Unterschiede festgestellt werden können, ist eine notwendige Bedingung, dass die entwickelten Treatments auch zu einem Wissenszuwachs führen. Diese also lernwirksam sind.

Um diese Annahme überprüfen zu können, wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf einem Faktor gerechnet (vgl. Tabelle 9.14). Neben der dreistufigen unabhängigen Treatmentvariablen (*handeln, beobachten* und *lesen*) wurde die unabhängige Variable Messzeitpunkt (Vor- und Nachtest) mit einbezogen. Synonym wird auch von einer 3x2-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung gesprochen. Bezüglich der Voraussetzun-

<sup>139</sup> Für die Berechnungen wurden nur SchülerInnen in den Treatments ( $N=257$ ) einbezogen. SchülerInnen der Kontrollgruppe werden am Ende dieses Kapitels gesondert betrachtet.

gen bedingt die ANOVA mit Messwiederholung zusätzlich die Homogenität der Varianzen und Kovarianzen (vgl. Kap. 9.5.1.1).<sup>140</sup>

Tabelle 9.14: Mittelwerte (*M*) und Standardabweichungen (*SD*) der beiden Wissensarten in den Treatmentgruppen zu den zwei Messzeitpunkten (VT = Vortest; NT = Nachtest).

	Deklaratives Wissen				Prozedurales Wissen			
	VT		NT		VT		NT	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Handeln	-.961	.911	.404	1.143	-1.021	1.423	-.165	1.732
Beobachten	-1.183	.803	-.201	1.201	-1.293	1.233	-.935	1.463
Lesen	-1.293	1.153	-.340	1.333	-1.444	1.292	-.886	1.495
Kontrollgruppe	-1.288	1.139	-1.476	1.174	-1.373	1.305	-1.516	1.282

Die gerechnete 3x2-faktorielle ANOVA ergibt für das deklarative Wissen hochsignifikante Einflüsse des Messzeitpunktes ( $F(1,254)= 273.852$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .519$ ) als auch des Treatments ( $F(2,254)= 7.366$ ,  $p = .001$ ,  $\eta^2 = .055$ ) sowie deren Wechselwirkung ( $F(2,254)= 4.087$ ,  $p = .018$ ,  $\eta^2 = .031$ ). Auch für das prozedurale Wissen ergaben sich hochsignifikante Einflüsse des Messzeitpunktes ( $F(1,254)= 44.692$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .261$ ) und des Treatments ( $F(2,254)= 4.684$ ,  $p = .010$ ,  $\eta^2 = .036$ ) sowie für die Interaktion ( $F(2,254)= 5.549$ ,  $p = .004$ ,  $\eta^2 = .042$ ). Die signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Treatment mit kleinem bis mittlerem Effekt belegt, dass sich das deklarative als auch das prozedurale Wissen in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten innerhalb der Treatmentgruppen unterschiedlich entwickelt und damit für die nachfolgende Hypothesenprüfung vielversprechende Ergebnisse zu erwarten sind (vgl. Kap. 9.5.2.1).

Bevor nun die Prüfung der Hypothesen vorgenommen werden kann, soll die Wissensentwicklung in der Kontrollgruppe betrachtet werden, um damit Störeinflüsse, wie z. B. zwischenzeitliches Geschehen, ausschließen zu können. Dazu wurde nur für die SchülerInnen der Kontrollgruppe ein T-Test für abhängige Stichproben gerechnet. Hier zeigten sich für das deklarative als auch für das prozedurale Wissen erwartungskonform keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten (deklarativ:  $t(47)= 1.772$ ,  $p = .083$ ,  $d_z = .155$ <sup>141</sup>; prozedural:  $t(47)= 1.191$ ,  $p = .280$ ,  $d_z = .172$ ).

Zusammenfassend kann für die Lernwirksamkeit der entwickelten Treatments festgehalten werden, dass diese, bedingt durch die signifikanten Wechselwirkungen mit kleinen bis mittleren Effekten, für beide Wissensarten nachgewiesen wurde und darüber hinaus durch die Betrachtung von Schüle-

<sup>140</sup> Die Annahme der Zirkularität bzw. Sphärizität ist bei zwei Messzeitpunkten immer erfüllt (vgl. Rasch et al., 2006b, S. 107f; Bortz & Weber, 2005, S. 352ff).

<sup>141</sup>  $d_z$  ist als Maß für die Effektstärke bei t-Tests aufzufassen, wobei das  $z$  auf abhängige (verbundene) Stichproben hinweist. Per Konvention wird bei  $d = .2$  von einem kleinen,  $d = .5$  von einem mittleren und bei  $d = .8$  von einem großen Effekt gesprochen (vgl. Rasch, Friese, Homann & Naumann, 2006a, S. 67f).

rInnen der Kontrollgruppe zwischenzeitliches Geschehen ausgeschlossen werden kann.

## 9.5.2 HYPOTHESENPRÜFUNG

Nachdem die Lernwirksamkeit der drei entwickelten Treatments belegt werden konnte, werden im Folgenden die in Kapitel 6 vorgestellten Hypothesen einer inferenzstatistischen Überprüfung unterzogen (vgl. Kap. 9.5.2.1 bis 9.5.2.3). Dabei werden die eingesetzten statistischen Verfahren jeweils vor der Überprüfung kurz vorgestellt und anschließend die Ergebnisse der Hypothesenprüfung präsentiert.

### *9.5.2.1 Hypothese H1 und H2: Die Aneignung von deklarativem und prozeduralem Wissen durch die Bearbeitung von technischen Experimenten*

In den einleitenden Betrachtungen zeigte sich, dass sich SchülerInnen nach der randomisierten Zuordnung zu den Treatmentgruppen im deklarativen und prozeduralen Vorwissen nicht überzufällig unterschieden, was für eine homogene Verteilung des Vorwissens in den Treatmentgruppen spricht (vgl. Kap. 9.5.1.1). Des Weiteren wurde die Lernwirksamkeit der Treatments für beide Wissensarten durch eine ANOVA mit Messwiederholung auf einem Faktor bestätigt (vgl. Kap. 9.5.1.3). Für die nachfolgende Prüfungen der Hypothesen H1 und H2 soll indes auf ein Verfahren zurückgegriffen werden, welches bzgl. der Interpretation der Ergebnisse Vorteile gegenüber der ANOVA mit Messwiederholung auf einem Faktor bietet (vgl. Dugard & Todman, 1995, S. 186ff). Das gewählte Vorgehen, die Kovarianzanalyse (engl. Analysis of Covariance kurz: ANCOVA), besitzt den Vorteil, dass z. B. Vorwissenseffekte oder auch das Interesse kontrolliert und somit deren Einfluss auf die abhängige Variable eliminiert werden können (vgl. Backhaus, 2008, S. 170f; Eschweiler, Evanschitzky & Woisetschläger, 2007; Bortz & Weber, 2005, S. 361ff; Hager, 2004, S. 315f). In der ANCOVA werden varianzanalytische mit regressionsanalytischen Verfahren kombiniert, wodurch die Kovarianzanalyse auch als „Varianzanalyse über Regressionsresiduen“ bezeichnet werden kann (Bortz & Weber, 2005, S. 362). Bezüglich der Anwendungsvoraussetzungen der ANCOVA gilt es anzumerken, dass zusätzlich zu den Voraussetzungen der ANOVA (vgl. Kap. 9.5.1.1) die Kovariablen mit der entsprechenden abhängigen Variablen korrelieren und die Steigung der Regressionen innerhalb der Stichprobe homogen sein soll (vgl. Eschweiler et al., 2007, S. 12ff; Bortz & Weber, 2005, S. 369f). Allgemein kann die ANCOVA als robustes Verfahren hinsichtlich einer Verletzung ihrer Voraussetzungen angesehen werden, sofern annähernd (wie in der vorliegenden Arbeit) gleiche Treatmentgruppengrößen vorliegen. Des Weiteren hat eine Verletzung der Homogenität erst ab einem Unterschied der standardisierten Regressionssteigungen von .4 Auswirkungen.

Nachdem das verwendete Verfahren skizziert wurde, wird im Folgenden die Hypothesenprüfung vorgenommen. Dabei handelt es sich bei den Hypothesen H1 und H2 um a priori formulierte, gerichtete Unterschiedshypothesen, welche aufgrund der soliden theoretischen Fundierung (vgl. Kap. 2 und 6.2) mit Einzelvergleichen bzw. a-priori-Kontrasten bestimmt werden können (vgl. Bühner & Ziegler, 2009, S. 277f und S. 525ff; Bortz & Weber, 2005, S. 263). Bortz und Weber (2005) merken dazu an, dass der „Erkenntnisgewinn, der mit der Bestätigung einer a priori, d. h. vor der Untersuchungsdurchführung aufgestellten Hypothese erzielt wird, [...] ungleich höher einzuschätzen [ist], als der Informationswert eines Ergebnisses, das sich ohne vorherige Erwartungen a posteriori oder im Nachhinein plausibel machen lässt“ (Bortz & Weber, 2005, S. 273). Bezüglich der  $\alpha$ -Fehler-Korrektur (Korrektur Fehler 1. Art) wird die Auffassung vertreten, dass sie bei a-priori-Kontrasten nicht erforderlich ist und diese folglich mit unkorrigiertem nominellen  $\alpha$ -Niveau getestet werden können.

Für die Hypothese H1,

*die Aneignung von deklarativem Wissen ist von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig,*

wurde in einem ersten Schritt durch die ANCOVA mit den drei Kovariaten (deklaratives und prozedurales Wissen sowie Fachinteresse im Vortest) und der abhängigen Variablen (deklaratives Wissen im Nachtest) festgestellt, ob zwischen den Mittelwerten der Treatmentgruppen signifikante Unterschiede bestehen.

Tabelle 9.15: Ergebnisse der Overall-Signifikanz für die ANCOVA der abhängigen Variable deklaratives Wissen im Nachtest

Anmerkungen: SS = Quadratsumme (sum of square); df = Freiheitsgrade (degrees of freedom); MS = mittleres Abweichungsquadrat (mean square); p = Signifikanz;  $\eta^2$  = partielles eta<sup>2</sup>; VT = Vortest.

<i>Abhängige Variable: deklaratives Wissen im Nachtest</i>						
	<i>SS(III)</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i><math>\eta^2</math></i>
Treatment	10.156	2	5.078	5.848	.003	.045
Deklaratives Wissen VT	23.474	1	23.474	27.035	<.001	.097
Prozedurales Wissen VT	48.333	1	48.333	55.664	<.001	.182
Fachinteresse VT	.270	1	.270	.310	.578	.001
Fehler	217.941	251	.868			
Gesamt	408.265	257				

R-Quadrat = .466 (korrigiertes R-Quadrat = .455)

Wie aus Tabelle 9.15 entnommen werden kann, liegen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Treatmentgruppen trotz des Einbezugs der Kovariablen vor, wonach im Folgenden mit Hilfe von Einzelvergleichen er-

mittelt werden kann, zwischen welchen Treatmentgruppen Unterschiede vorliegen.

Der für die Hypothese H1.1

- *durch selbst ausgeführte Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von deklarativem Wissen stärker gefördert als durch Beobachtung Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (handeln > beobachten),*

gerechnete Kontrast ergab hochsignifikante Unterschiede im Vergleich der beiden Treatmentgruppen *handeln* ( $M = .269$ ) und *beobachten* ( $M = -.206$ ) zugunsten der Treatmentgruppe *handeln* ( $F(1,251) = 6.877$ ,  $p = .009^{142}$ ,  $\eta^2 = .027$ ).<sup>143</sup> Dabei handelt es sich mit  $\eta^2 = .027$  um einen kleinen bis mittleren Effekt. Den Ergebnissen entsprechend kann damit die Hypothese H1.1 bei ausreichender Teststärke angenommen und für den Erwerb von deklarativem Wissen festgehalten werden, dass dieser besser gelingt, wenn SchülerInnen technische Experimente selbst bearbeiten (*handeln*) als wenn sie die Durchführung nur beobachten (*beobachten*).

Analog zum Vorgehen für die Überprüfung von Hypothese H1.1 wurde ein zweiter Einzelvergleich für die Hypothese H1.2

- *durch Beobachten von Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von deklarativem Wissen stärker gefördert als durch rein lesendes Nachvollziehen von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (beobachten > lesen),*

vorgenommen.

Entgegen den Vermutungen der Hypothese H1.2 konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Treatmentgruppen *beobachten* ( $M = -.206$ ) und *lesen* ( $M = -.185$ ) festgestellt werden ( $F(1,251) = .024$ ,  $p = .907^{144}$ ,  $\eta^2 < .001$ ).<sup>145</sup> Vor dem Hintergrund der Befundlage muss H1.2 zurückgewiesen und die Nullhypothese des Einzelvergleichs, welche keinen Unterschied zwischen den beiden Treatmentgruppen postulierte, beibehalten werden.

Zusammenfassend kann für die Hypothese H1 und damit für die Entwicklung von deklarativem Wissen durch die Bearbeitung von technischen Experimenten unter Berücksichtigung der Befundlage nur ein partieller Einfluss der Handlungsmöglichkeiten formuliert werden.

<sup>142</sup> Einseitiges Signifikanzniveau, da eine gerichtete Hypothese vorliegt.

<sup>143</sup> Bei den aufgeführten Mittelwerten handelt es sich um die auf Basis der Kovariaten ermittelten adjustierten Mittelwerte (vgl. Eid, Gollwitzer & Schmitt, 2010, S. 665).

<sup>144</sup> Einseitiges Signifikanzniveau, da eine gerichtete Hypothese vorliegt.

<sup>145</sup> Bei den aufgeführten Mittelwerten handelt es sich um die auf Basis der Kovariaten ermittelten adjustierten Mittelwerte (vgl. Eid et al., 2010, S. 665).

Die zur Überprüfung der Entwicklung des prozeduralen Wissens gerechnete ANCOVA wies durch den Einbezug der Kovariablen bei ungleicher Gruppengröße (*handeln*=89, *beobachten*=88, *lesen*=80) inhomogene Fehlervarianzen auf ( $F(2,254) = 3.229$ ,  $p = .041$ ), so dass für das weitere Vorgehen die Gruppengröße auf  $N=80$  angeglichen wurde.<sup>146</sup> Dazu wurden SchülerInnen aus den zu hoch besetzten Treatmentgruppen per Zufall eliminiert. Nachdem die Gleichbesetzung der Treatmentgruppen vorgenommen wurde, wies der Levene-Test nicht überzufällige Unterschiede auf ( $F(2,237) = 2.055$ ,  $p = .130$ ).

Anschließend wurde mit dem bereinigten Datensatz von 240 SchülerInnen die für die Entwicklung des prozeduralen Wissens formulierte Hypothese H2, dass

*die Aneignung von prozeduralem Wissen von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig ist,*

zunächst auf Overall-Signifikanz untersucht (vgl. Tabelle 9.16).

Tabelle 9.16: Ergebnisse der Overall-Signifikanz für die ANCOVA der abhängigen Variable prozedurales Wissen im Nachtest

Anmerkungen: *SS* = Quadratsumme (sum of square); *df* = Freiheitsgrade (degrees of freedom); *MS* = mittleres Abweichungsquadrat (mean square); *p* = Signifikanz;  $\eta^2$  = partielles eta<sup>2</sup>; VT = Vortest.

<i>Abhängige Variable: prozedurales Wissen im Nachtest</i>						
	<i>SS(III)</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta^2$
Treatment	15.508	2	7.754	7.826	.001	.063
Deklaratives Wissen VT	2.163	1	2.163	2.183	.141	.009
Prozedurales Wissen VT	221.828	1	221.828	223.881	<.001	.489
Fachinteresse VT	2.366	1	2.366	2.388	.124	.010
Fehler	231.854	234	.991			
Gesamt	722.327	240				

R-Quadrat = .614 (korrigiertes R-Quadrat = .606)

Auch für das prozedurale Wissen zeigen sich trotz des Einbezugs der Kovariablen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Treatmentgruppen, wonach im Anschluss analog zu den Hypothesen H1.1 und H1.2 Einzelvergleiche zwischen den Treatmentgruppen für das prozedurale Wissen im Nachtest vorgenommen werden.

Der Kontrast für die Annahme H2.1, dass

- *durch selbst ausgeführte Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten die Aneignung von prozeduralem Wissen stärker gefördert wird als durch Beobachtung von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (handeln > beobachten),*

<sup>146</sup> Dieses Vorgehen wird insbesondere bei ungleichen Fehlervarianzen empfohlen (vgl. Backhaus, 2008, S. 177; Eschweiler, Evanschitzky & Woisetschläger, 2007, S. 11).

ergab, wie für das deklarative Wissen auch, hochsignifikante Unterschiede im Vergleich der beiden Treatmentgruppen *handeln* ( $M = -.315$ ) und *beobachten* ( $M = -1.077$ ) zugunsten der Treatmentgruppe *handeln* ( $F(1,234) = 14.405$ ,  $p < .001^{147}$ ,  $\eta^2 = .058$ ).<sup>148</sup> Den Ergebnissen entsprechend kann damit die Hypothese H2.1 mit einem mittelgroßen Effekt und ausreichender Teststärke angenommen werden. Für den Erwerb prozeduralen Wissens kann festgehalten werden, dass dieser besser gelingt, wenn SchülerInnen technische Experimente selbst bearbeiten (*handeln*) als wenn sie die Durchführung nur beobachten (*beobachten*).

Der Einzelvergleich für H2.2, dass

- *durch das Beobachten von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten die Aneignung von prozeduralem Wissen stärker gefördert wird als durch rein lesendes Nachvollziehen der Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (beobachten > lesen),*

verfehlte das Signifikanzniveau nur knapp ( $F(1,234) = 3.001$ ,  $p = .085^{149}$ ,  $\eta^2 = .013$ ). Der tendenziell signifikante Unterschied zwischen *beobachten* ( $M = -1.077$ ) und *lesen* ( $M = -.743$ ) zugunsten der Treatmentgruppe *lesen* und die damit verbundene Hypothese muss aufgrund der geringen Effektstärke verworfen und die Nullhypothese, welche keinen Unterschied zwischen den beiden Treatmentgruppen postulierte, angenommen werden.<sup>150</sup>

Zusammenfassend kann für die Hypothese H2 und damit für die Entwicklung von prozeduralem Wissen durch die Bearbeitung von technischen Experimenten unter Berücksichtigung der Befundlage nur ein partieller Einfluss der Handlungsmöglichkeiten formuliert werden.

<sup>147</sup> Einseitiges Signifikanzniveau, da eine gerichtete Hypothese vorliegt.

<sup>148</sup> Bei den aufgeführten Mittelwerten handelt es sich um die auf Basis der Kovariaten ermittelten adjustierten Mittelwerte (vgl. Eid et al., 2010, S. 665).

<sup>149</sup> Einseitiges Signifikanzniveau, da eine gerichtete Hypothese vorliegt.

<sup>150</sup> Bei den aufgeführten Mittelwerten handelt es sich um die auf Basis der Kovariaten ermittelten adjustierten Mittelwerte (vgl. Eid et al., 2010, S. 665).

### 9.5.2.2 Hypothese H3: Die Entwicklung des Fachinteresses durch die Bearbeitung von technischen Experimenten<sup>151</sup>

Um die Entwicklung des Fachinteresses überprüfen zu können, wird auf bereits bekannte Verfahren aus Kapitel 9.5.1.2 und 9.5.2.1 rekurriert. Zunächst wird eine 3x2-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf einem Faktor gerechnet, um den Verlauf des Fachinteresses betrachten zu können. Abschließende Überlegungen bilden kovarianzanalytische Betrachtungen des Fachinteresses zum zweiten Messzeitpunkt (Nachtest).

Tabelle 9.17: Mittelwerte (*M*) und Standardabweichungen (*SD*) des Fachinteresses in den Treatmentgruppen zu den zwei Messzeitpunkten (VT = Vortest; NT = Nachtest)  
Anmerkung: *N* = Stichprobengröße.

	Fachinteresse				
	VT		NT		<i>N</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
Handeln	1.806	1.725	1.755	1.914	89
Beobachten	-1.321	1.524	-1.197	2.009	88
Lesen	1.444	1.530	1.426	1.920	80

Die Inspektion der Mittelwerte der 3x2-faktoriellen ANOVA zeigt, dass keine Wechselwirkung zwischen dem Messzeitpunkt und den Treatmentgruppen vorliegt ( $F(2,254) = .664$ ,  $p = .516$ ,  $\eta^2 = .005$ ) (vgl. Tabelle 9.17). Des Weiteren besitzt, wie bereits aus den einleitenden Betrachtungen in Kapitel 9.5.1.1 bekannt, das Treatment einen signifikanten Einfluss ( $F(2,254) = 83.611$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .397$ ). Der Messzeitpunkt ( $F(1,254) = .078$ ,  $p = .781$ ,  $\eta^2 < .001$ ) liefert kein statistisch überzufälliges Ergebnis.

Der nicht signifikante Einfluss des Messzeitpunktes auf die Entwicklung des Fachinteresses lässt bereits vermuten, dass sich diese unabhängig von der Treatmentzugehörigkeit vollzieht. Um diese Vermutung sicherstellen zu können, werden im Folgenden die Ergebnisse der ANCOVA mit dem Fachinteresse im Nachtest als abhängige Variable und dem Fachinteresse im Vortest als Kovariable, vorgestellt.

Tabelle 9.18: Ergebnisse der Overall-Signifikanz für die ANCOVA der abhängigen Variablen Fachinteresse im Nachtest  
Anmerkungen: *SS* = Quadratsumme (sum of square); *df* = Freiheitsgrade (degrees of freedom); *MS* = mittleres Abweichungsquadrat (mean square); *p* = Signifikanz;  $\eta^2$  = partielles eta<sup>2</sup>; VT = Vortest.

Abhängige Variable: Fachinteresse im Nachtest						
	<i>SS(III)</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta^2$
Treatment	1.611	2	.805	.705	.495	.006
Fachinteresse VT	676.016	1	676.016	592.043	<.001	.701
Fehler	288.884	253	1.142			
Gesamt	1527.875	257				

R-Quadrat = .797 (korrigiertes R-Quadrat = .794)

<sup>151</sup> Nachfolgende Analysen beziehen sich auf die in Kapitel 9.2 vorgestellten Treatmentgruppengrößen.

Wie bereits vermutet, bestätigt die Kovarianzanalyse die Annahme, dass keine Unterschiede im Fachinteresse zwischen den Treatmentgruppen (*handeln*  $M = .547$ ; *beobachten*  $M = .787$ ; *lesen*  $M = .588$ )<sup>152</sup> vorliegen, wenn das Fachinteresse aus dem Vortest als Kovariable in die Betrachtung einbezogen wird (vgl. Tabelle 9.18).

Entsprechend der Befundlage ist die Nullhypothese beizubehalten und für die Entwicklung des Fachinteresses eine Unabhängigkeit von den Handlungsmöglichkeiten zu konstatieren.

#### 9.5.2.3 Hypothese H4 und H5: Der Einfluss des bereichsspezifischen Vorwissens auf den Erwerb von deklarativem und prozeduralem Wissen<sup>153</sup>

Die Hypothesenprüfung H4 und H5 zum Einfluss des bereichsspezifischen Vorwissens auf den Erwerb von deklarativem und prozeduralem Wissen soll für die SchülerInnen in den Treatmentgruppen regressionsanalytisch erfolgen. Dieses Vorgehen wurde bereits in den vorangegangenen Kapiteln in Verbindung mit Varianzanalysen (ANCOVA) angewendet.

Mit Hilfe der linearen einfachen Regression kann der Anteil bzw. der Einfluss berechnet werden, mit dem ein Merkmal (Prädiktor) die Entwicklung eines anderen Merkmals (Kriterium) vorhersagt (vgl. Rasch, Friese, Homann & Naumann, 2006a, S. 146). Des Weiteren wird zwischen Kriterium und Prädiktor ein linearer Zusammenhang angenommen. Grafisch kann man sich den Zusammenhang von Prädiktor und Kriterium als Gerade in einem kartesischen Koordinatensystem vorstellen, mit Prädiktor als X-Achse und Kriterium als Y-Achse.

Will man, wie auch in dieser Untersuchung, nicht nur den Einfluss einer, sondern mehrerer Prädiktoren auf ein Kriterium ermitteln, wird von einer multiplen linearen Regression gesprochen.

Um den zahlenmäßigen Einfluss der Prädiktoren auf das Kriterium zu erhalten und zugleich auch die Zulässigkeit der Annahme des linearen Zusammenhangs prüfen zu können, wird der Determinationskoeffizient  $R^2$  berechnet.<sup>154</sup> Dieser kann den Wertebereich von 0 bis 1 annehmen und wird aus dem Quotient der Regressionsvarianz und der Gesamtvarianz gebildet.  $R^2$  gibt den Anteil der Varianz der vorhergesagten Werte im Verhältnis zur Gesamtvarianz an und kann auch in Prozent angegeben werden. Ein  $R^2=1$  (100%) bedeutet, dass die Veränderung des Kriteriums vollständig durch den Prädiktor vorhergesagt werden kann.

---

<sup>152</sup> Bei den aufgeführten Mittelwerten handelt es sich um die auf Basis der Kovariate ermittelten adjustierten Mittelwerte (vgl. Eid et al., 2010, S. 665).

<sup>153</sup> Zur Überprüfung der nachfolgenden Hypothesen wurden nur SchülerInnen der Treatmentgruppen  $N=257$  einbezogen (vgl. Kap. 9.2).

<sup>154</sup> Für diese Aussage könnte auch der Standardschätzfehler herangezogen werden, der jedoch unanschaulich und daher schwer zu interpretieren ist.

Eine mögliche Entscheidungshilfe für die Identifikation relevanter Prädiktoren stellt die Betrachtung der Interkorrelationen zwischen Kriterium und den erhobenen Variablen dar.<sup>155</sup>

In die regressionsanalytischen Betrachtungen werden jedoch nur diejenigen Variablen einbezogen, die eine signifikante Korrelation mit dem Kriterium aufweisen. Anschließend, nachdem die signifikanten Korrelationen identifiziert wurden, stehen verschiedene Verfahren zur Auswahl, um Modelle zu berechnen, die einen großen Anteil des Kriteriums vorhersagen.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen mit dem schrittweisen Verfahren regressionsanalytisch möglichst kompakte Modelle ermittelt werden.

Bei diesem Verfahren wird in einem ersten Schritt derjenige Prädiktor in die Berechnung aufgenommen, der den größten Einfluss auf das Kriterium besitzt und dessen Einfluss auf dem 5%-Niveau signifikant ausfällt. In weiteren Schritten werden nun erneut die Korrelationen der Prädiktoren betrachtet, wobei der Einfluss des bereits aufgenommenen Prädiktors auspartialisiert wird. Der Prädiktor, der die größte Semipartialkorrelation aufweist, wird in das Modell aufgenommen. Abschließend wird wieder erneut geprüft, ob nach Aufnahme des zweiten Prädiktors die beiden einen signifikanten Beitrag bzw. Einfluss auf das Kriterium leisten. Trifft dies zu, wiederholt sich das Vorgehen, wenn nicht, wird derjenige Prädiktor wieder aus den Berechnungen ausgeschlossen, dessen Beitrag nicht signifikant ausfällt.

Nicht in das Modell aufgenommen werden die Prädiktoren, deren Beitrag zur Varianzaufklärung unter dem 5%-Niveau verbleibt (vgl. Bühner & Ziegler, 2009, S. 685; Backhaus, 2008, S. 100).<sup>156</sup>

Wie die anderen vorgestellten Verfahren ist auch die Anwendung der multiplen linearen Regression an gewisse Voraussetzungen gebunden (Bühner & Ziegler, 2009, S. 665ff; Backhaus, 2008, S. 79ff; Rasch et al., 2006a, S. 163f). Zur Überprüfung dieser wurden Streudiagramme (Homoskedastizität) bzw. Histogramme (Normalverteilung)<sup>157</sup> und Multikolaritäten (Variance Inflation Factor) der Prädiktoren und Kriterien untersucht.

Nachdem das Verfahren und Vorgehen dargestellt wurden, wird im Folgenden die Überprüfung der Hypothesen H4 und H5 vorgenommen.

---

<sup>155</sup>  $R^2$  trägt seinen Namen zu Recht, da es, bei einer einfachen Regression, das Quadrat der Korrelation von Prädiktor und Kriterium darstellt. Folglich liefert die Betrachtung der Interkorrelationen in der Tat eine sinnvolle Entscheidungshilfe (vgl. Rasch et al., 2006a, S. 161).

<sup>156</sup> Zu Problemen der schrittweisen multiplen linearen Regression sei auf Bühner (2009) verwiesen.

<sup>157</sup> SPSS bietet keine Möglichkeit, auf multivariate Normalverteilung prüfen zu können. Eine Alternative bietet die grafische Inspektion (vgl. Bühner & Ziegler, 2009, S. 671).

*H4: Das bereichsspezifische Vorwissen hat den größten Einfluss auf die Aneignung von deklarativem Wissen bei der Durchführung von technischen Experimenten.*

Wie nachfolgender Tabelle zu entnehmen ist, liegen mehrere signifikante Korrelationen zwischen erhobenen Variablen und dem deklarativen Wissen im Nachtest vor (vgl. Tabelle 9.19).

Tabelle 9.19: Interkorrelationen zwischen erhobenen Variablen und dem Kriterium deklaratives Wissen im Nachtest

Anmerkung: Rangkorrelationen nach Spearman.

<i>Abhängige Variable: deklaratives Wissen im Nachtest</i>			
<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>Variable</b>	<b>r</b>
Deklaratives Wissen im Vortest	.570**	aktuelle Klasse	.406**
Prozedurales Wissen im Vortest	.654**	Note Technik	-.252**
Fachinteresse im Vortest	.105	Note Mathematik	-.371**
Geschlecht	.104	Note Physik	-.316**
Schulform	-.292**	Note Deutsch	-.357**
		Note Englisch	-.317**

\* Die Korrelation ist auf dem .05 Niveau signifikant (zweiseitig).

\*\* Die Korrelation ist auf dem .01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Erwartungsgemäß fallen die Korrelationen zwischen dem bereichsspezifischen Vorwissen und dem deklarativen Wissen im Nachtest hochsignifikant aus. Am größten ist der Zusammenhang zwischen prozeduralem Wissen im Vortest, dicht gefolgt vom deklarativen Wissen. Die aktuelle Klassenzugehörigkeit, sowie die Note in Mathematik weisen ebenfalls einen hohen Zusammenhang mit dem deklarativen Wissen im Vortest auf.

Wie sich bereits bei der Überprüfung der Hypothese H3 zeigte, fällt der Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse im Vortest und dem deklarativen Wissen im Nachtest gering aus. Ebenfalls gering ist der Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem deklarativen Wissen im Nachtest. Die Befunde zum Zusammenhang der Noten und des deklarativen Wissens im Nachtest fallen erwartungsgemäß aus.

Tabelle 9.20: Ergebnis der schrittweisen Regressionsanalyse der abhängigen Variablen deklaratives Wissen im Nachtest

<i>Modellzusammenfassung für die abhängige Variable: deklaratives Wissen im Nachtest</i>				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	.613 <sup>a</sup>	.375	.373	.99
2	.663 <sup>b</sup>	.439	.435	.95
3	.683 <sup>c</sup>	.466	.460	.93

a. Einflussvariablen: (Konstante), prozedurales Wissen im Vortest

b. Einflussvariablen: (Konstante), prozedurales Wissen im Vortest, deklaratives Wissen im Vortest

c. Einflussvariablen: (Konstante), prozedurales Wissen im Vortest, deklaratives Wissen im Vortest, aktuelle Klasse

In das schrittweise regressionsanalytisch ermittelte Modell, für das die vier grau unterlegten Variablen aus Tabelle 9.19 eingingen, wurden am Ende nur drei Prädiktoren aufgenommen, die zusammen 46.6% Varianzaufklärung des Kriteriums erzielten (vgl. Tabelle 9.20).

Tabelle 9.21: Koeffizienten des Regressionsmodells für die abhängige Variable: deklaratives Wissen im Nachtest

	prozedurales Wissen im Vortest	deklaratives Wissen im Vortest	aktuelle Klasse
Nicht standardisierter Regressionskoeffizient	.348	.381	.337
Standardisierter Regressionskoeffizient	.365	.291	.183
Standardfehler des Schätzers	.057	.074	.094
Partialkorrelation	.361	.308	.219

Der Tabelle 9.21 ist zu entnehmen, dass für die standardisierten als auch für die nicht standardisierten Regressionskoeffizienten das (deklarative und das prozedurale) Vorwissen den größten Einfluss auf das deklarative Wissen im Nachtest besitzt.<sup>158</sup>

In Bezug auf die Höhe und die Rangfolge der Regressionskoeffizienten sowie Partialkorrelationen<sup>159</sup> des bereichsspezifischen Vorwissens zeigt sich erneut dessen große Bedeutung für das deklarative Wissen im Nachtest. Folglich ist auf Basis der Befundlage die Hypothese H4 anzunehmen.

*H5: Das bereichsspezifische Vorwissen hat den größten Einfluss auf die Aneignung von prozeduralem Wissen bei der Durchführung von technischen Experimenten.*

Erneut fällt der Zusammenhang zwischen prozeduralem Vorwissen und dem Wissen im Nachtest am höchsten aus. An zweiter Stelle korreliert das deklarative Vorwissen mit dem prozeduralen Wissen im Nachtest. Ähnlich zu den Zusammenhängen des deklarativen Wissens im Nachtest fallen die Korrelationen der aktuellen Klasse und der Schulform aus (vgl. Tabelle 9.22).

Tabelle 9.22: Interkorrelationen zwischen erhobenen Variablen und dem Kriterium prozedurales Wissen im Nachtest

Anmerkung: Rangkorrelation nach Spearman.

<i>Abhängige Variable: prozedurales Wissen im Nachtest</i>			
<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>Variable</b>	<b>r</b>
Deklaratives Wissen im Vortest	.539**	aktuelle Klasse	.465**
Prozedurales Wissen im Vortest	.817**	Note Technik	-.248**
Fachinteresse im Vortest	.098	Note Mathematik	-.463**
Geschlecht	.217**	Note Physik	-.368**
Schulform	-.359**	Note Deutsch	-.309**
		Note Englisch	-.322**

\* Die Korrelation ist auf dem .05 Niveau signifikant (zweiseitig).

\*\* Die Korrelation ist auf dem .01 Niveau signifikant (zweiseitig).

<sup>158</sup> Dieses Vorgehen wird insbesondere von Urban und Mayerl (2011) empfohlen (vgl. Urban & Mayerl, 2011, S. 107f).

<sup>159</sup> Zur Interpretation von Partialkorrelationen in multivariaten Regressionsmodellen sei auf Urban und Mayerl (2011) verwiesen (vgl. Urban & Mayerl, 2011, S. 107f).

Entgegen den betrachteten Korrelationen zum deklarativen Wissen im Nachtest fällt der Zusammenhang des Geschlechts mit dem prozeduralen Wissen im Nachtest hochsignifikant aus. Für das Regressionsmodell wurden ebenfalls nur die statistisch signifikanten und inhaltlich relevanten Variablen als Prädiktoren aufgenommen (vgl. Tabelle 9.22 grau hinterlegt). Damit standen für die Modellzusammenfassung insgesamt fünf Variablen zur Verfügung.

Tabelle 9.23: Ergebnis der schrittweisen Regressionsanalyse der abhängigen Variablen prozedurales Wissen im Nachtest

<i>Modellzusammenfassung für die abhängige Variable: prozedurales Wissen im Nachtest</i>				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	.775 <sup>a</sup>	.601	.600	1.015
2	.785 <sup>b</sup>	.617	.614	.998
3	.790 <sup>c</sup>	.624	.620	.989

a. Einflussvariablen: (Konstante), prozedurales Wissen im Vortest

b. Einflussvariablen: (Konstante), prozedurales Wissen im Vortest, aktuelle Klasse

c. Einflussvariablen: (Konstante), prozedurales Wissen im Vortest, aktuelle Klasse, Geschlecht

Das Ergebnis der Regressionsanalyse ist, wie zuvor beim deklarativen Wissen, auch ein Modell mit drei Prädiktoren, die zusammen insgesamt 62.4% des Kriteriums erklären (vgl. Tabelle 9.23).<sup>160</sup>

Tabelle 9.24: Koeffizienten des Regressionsmodells für die abhängige Variable: prozedurales Wissen im Nachtest

	prozedurales Wissen im Vortest	aktuelle Klasse	Geschlecht
Nicht standardisierter Regressionskoeffizient	.828	.384	.311
Standardisierter Regressionskoeffizient	.684	.164	.092
Standardfehler des Schätzers	.054	.104	.139
Partialkorrelation	.691	.226	.139

Auch für das prozedurale Wissen im Nachtest zeigt sich die Bedeutung des bereichsspezifischen Vorwissens, wobei insbesondere der Einfluss des prozeduralen Wissens im Vortest sowohl bei den standardisierten bzw. bei den nicht standardisierten Regressionskoeffizienten als auch bei den Partialkorrelationen überrascht (vgl. Tabelle 9.24).

Den Ergebnissen des regressionsanalytisch ermittelten Modells entsprechend zeigt sich erneut die Bedeutung des bereichsspezifischen Vorwissens für das prozedurale Wissen im Nachtest. Folglich ist analog zu H4 die Hypothese H5 ebenfalls anzunehmen.

<sup>160</sup> Das deklarative Wissen im Vortest verfehlte in diesem Modell nur knapp das Aufnahmekriterium.

## 9.6 DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER HAUPTUNTERSUCHUNG

Um die Diskussion zu erleichtern, wird in Kapitel 9.6.1 eine Zusammenfassung von den Ergebnissen der Hypothesenprüfung gegeben. Anschließend werden diese in die theoretischen Betrachtungen (vgl. Kap. 2, 3, 4) eingeordnet und diskutiert (vgl. Kap. 9.6.2). Daran anknüpfend werden abschließend die Befunde hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Bildungspraxis durchleuchtet (vgl. Kap. 9.6.3).

### 9.6.1 ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DER HYPOTHESENPRÜFUNG

Einleitend gilt es anzumerken, dass die entwickelten Treatments sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen aufzubauen vermochten. Dies belegen die signifikanten Interaktionen zwischen Messzeitpunkt und Treatment mit kleinen bis mittleren Effekten (deklarativ:  $\eta^2 = .031$  bis prozedural:  $\eta^2 = .042$ ) (vgl. Kap. 9.5.1.3). Die Lernwirksamkeit der Treatments, und damit auch der entwickelten Lernunterlagen des technischen Experiments, ist umso bemerkenswerter, wenn man die maximale Lernzeit von 60 Minuten berücksichtigt.

Um die Entwicklung der beiden Wissensarten in den einzelnen Treatments zusammenfassend vorstellen zu können, werden diese im Anschluss zu den formulierten Hypothesen geordnet präsentiert.

Die **Hypothese H1**, *die Aneignung von deklarativem Wissen ist von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig*, kann auf Basis der Befundlage nur partiell bestätigt werden.

Der Einzelvergleich der Treatmentgruppen *handeln* und *beobachten* erbrachte signifikante Unterschiede für das deklarative Wissen im Nachtest mit einer kleinen bis mittleren Effektstärke ( $\eta^2 = .027$ ) zugunsten der Treatmentgruppe *handeln* (vgl. Kap. 6.2; H1.1). Entgegen den Erwartungen verlief die Entwicklung des deklarativen Wissens im Nachtest zwischen den Treatmentgruppen *beobachten* und *lesen* (vgl. Kap. 6.2; H1.2). Hier wurde eine Überlegenheit der SchülerInnen in der Treatmentgruppe *beobachten* gegenüber *lesen* angenommen, welche sich nicht bestätigen ließ.

Die für die Entwicklung des prozeduralen Wissens formulierte **Hypothese H2**, *dass die Aneignung von prozeduralem Wissen von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig ist*, konnte ebenfalls nur partiell bestätigt werden.

Erwartungskonform entwickelte sich das prozedurale Wissen im Vergleich der Treatmentgruppen *handeln* und *beobachten* mit einer mittleren Effektstärke ( $\eta^2 = .058$ ) erneut zugunsten der Gruppe *handeln* (vgl. Kap. 6.2; H2.1). Der Einzelvergleich zwischen den Gruppen *beobachten* und *lesen* fiel wider der formu-

lierten Hypothese H2.2 nicht unterschiedlich aus, wodurch die vermutete Überlegenheit der Treatmentgruppe *beobachten* gegenüber *lesen*, analog zum deklarativen Wissen, nicht bestätigt wurde.

Für die Entwicklung des Fachinteresses wurde in der **Hypothese H3** postuliert, dass *diese nicht von den Handlungsmöglichkeiten während der Bearbeitung von technischen Experimenten abhängt*. Die Hypothese kann auf Basis der in Kapitel 6.3 vorgestellten Befunde angenommen werden.

Sowohl die Messwiederholung als auch die kovarianzanalytisch ermittelten Ergebnisse für das Interesse am Fach Technik untermauern diese Vermutung. So konnten weder eine Veränderung des Fachinteresses zwischen Vor- und Nachtest noch Unterschiede zwischen den Treatmentgruppen im Fachinteresse des Nachtests, bei Kontrolle des Fachinteresses im Vortest, festgestellt werden (vgl. Kap. 9.5.2.2).

Um den Einfluss des bereichsspezifischen Vorwissens auf das deklarative Wissen im Nachtest überprüfen zu können, wurde die **Hypothese H4**, *bereichsspezifisches Vorwissen hat den größten Einfluss auf die Aneignung von deklarativem Wissen bei der Durchführung von technischen Experimenten*, regressionsanalytisch überprüft und bestätigt.

Bereits in den betrachteten Interkorrelationen der erhobenen Variablen mit dem Kriterium (deklaratives Wissen im Nachtest) deuteten die hohen und hochsignifikanten Korrelationen des deklarativen und prozeduralen Vorwissen auf deren Bedeutung für das Kriterium hin. Insgesamt ging, neben den beiden Vorwissensarten, noch die aktuelle Klasse in das Regressionsmodell ein. Das entstandene Modell konnte insgesamt 46.6% des Kriteriums erklären, wobei das prozedurale gefolgt vom deklarativen Vorwissen in Bezug auf die Höhe und Rangfolge der standardisierten Regressionskoeffizienten bzw. der Partialkorrelationen den größten Einfluss auf das deklarative Wissen im Nachtest besitzen. Der Einfluss der Klassenzugehörigkeit fiel im Vergleich zum Einfluss des bereichsspezifischen Vorwissens geringer aus (vgl. Kap. 9.5.2.3; H4).

Ein ähnliches Befundmuster ergab die Überprüfung der **Hypothese H5**, *dass das bereichsspezifische Vorwissen den größten Einfluss auf die Aneignung von prozeduralem Wissen bei der Durchführung von technischen Experimenten hat*.

Auch diese Hypothese konnte erwartungskonform bestätigt werden.

Wie sich bereits für das deklarative Wissen im Nachtest abzeichnete, korrelierten auch für das prozedurale Wissen im Nachtest (Kriterium) die beiden Vorwissensarten am höchsten und hochsignifikant. Zwar standen für das Regressionsmodell mehr signifikant korrelierende Prädiktoren als bei der Hypothese H4 zur Verfügung, jedoch fanden nur wiederum drei Prädiktoren

Eingang ins Modell. Dieses konnte insgesamt 62.4% Varianzaufklärung am Kriterium erbringen. In Bezug auf die Regressionskoeffizienten (standardisiert/ nicht standardisiert) und die Partialkorrelationen besitzt auch hier das prozedurale Vorwissen erwartungsgemäß den stärksten Einfluss, wohingegen überraschender Weise das deklarative Wissen im Vortest nur knapp nicht ins Modell aufgenommen wurde. Die anstatt des deklarativen Vorwissens ins Modell eingegangenen Prädiktoren Klassenzugehörigkeit und Geschlecht weisen im Vergleich zum prozeduralen Wissen im Vortest nur einen geringeren Einfluss auf das Kriterium auf (vgl. Kap. 9.5.2.3; H5).

## 9.6.2 THEORETISCHE IMPLIKATIONEN

Die Untersuchungsergebnisse der Studie sollen in diesem Kapitel zunächst in die theoretischen Betrachtungen aus Kapitel 2 eingeordnet und hinsichtlich ihrer Bedeutung diskutiert werden (vgl. Kap. 9.6.2.1), um anschließend die Befunde mit den vorgestellten Forschungsarbeiten zur Lernwirksamkeit des Unterrichtsverfahren Experiment aus Kapitel 3 in Beziehung zu setzen (vgl. Kap. 9.6.2.2). Abschluss bildet die Diskussion der Ergebnisse der Hypothesenprüfung, insbesondere H1 und H2, in Bezug auf den dieser Arbeit zugrunde gelegten kognitionspsychologischen Erklärungsansatz aus Kapitel 4 (vgl. Kap. 9.6.2.3).

### *9.6.2.1 Einordnung der Ergebnisse in die theoretischen Betrachtungen zum technischen Experiment*

Das mit dem Einsatz von technischen Experimenten verfolgte Ziel, dass sich SchülerInnen einen konkreten Teil technischer Handlungsfähigkeit<sup>161</sup> aneignen, ist für Pahl (2008) an das eigenständige und gegenständliche Experimentieren durch die SchülerInnen selbst gebunden, da technische Handlungskompetenz nur durch den Umgang mit Technik erworben werden kann (vgl. Pahl, 2008, S. 194). Ott und Pyzalla (2003) heben für das Ziel technischer Experimente insbesondere deklaratives und prozedurales Wissen als zentrale Wissensarten hervor (vgl. Kap. 2.1.4). Diese werden einerseits als grundlegend für die Bearbeitung von technischen Experimenten angesehen, und andererseits sollen diese durch die Bearbeitung von technischen Experimenten erweitert bzw. aufgebaut werden.

Durch die dezidierte Analyse der beiden Wissensarten in Kapitel 5.2 und der anschließenden probabilistischen Auswertung der Antworten von SchülerInnen auf die Aufgaben des entwickelten Wissenstests konnten die beiden Wissensarten als eigenständige Wissensdimensionen empirisch nachgewiesen werden (vgl. Kap. 9.4.2).

---

<sup>161</sup> Unter technischer Handlungsfähigkeit ist eine Klasse komplexer Lernziele, die eine kognitive, psychomotorische und affektive Dimension haben, zu verstehen.

Damit konnte die theoretisch formulierte, aber bisher empirisch nicht nachgewiesene Bedeutung des deklarativen und prozeduralen Wissens für das Bearbeiten technischer Experimente nachgewiesen werden (vgl. Kap. 2.1.4). Darüber hinaus konnten diese erstmals im allgemeinbildenden Technikunterricht in einer empirischen Untersuchung als eigenständige Wissensdimensionen für das technische Experiment belegt werden.

In Bezug auf die Phasenstruktur des technischen Experiments (vgl. Kap. 2.1.5) wurde mit dieser Arbeit gezeigt, dass der Versuchsdurchführung, im Gegensatz zu der in der Literatur vertretenen Meinung, eine zentrale Bedeutung für den Wissenserwerb zukommt. Die Annahme, dass die Durchführungsphase lediglich die Umsetzung des geplanten Vorgehens darstellt und für den weiteren Erkenntnisprozess bzw. den Wissenserwerb eine untergeordnete Rolle spiele, muss vor der Befundlage dieser Untersuchung überdacht bzw. revidiert werden. So zeigte sich in dieser Untersuchung, bei identischer Gestaltung der Phasen von Versuchsvorbereitung und -auswertung, dass durch die Variation der Handlungsmöglichkeiten während der Durchführungsphase des technischen Experiments signifikante Unterschiede im Wissenserwerb der SchülerInnen festgestellt werden konnten. Dabei erwarben SchülerInnen des Treatments mit den meisten Handlungsmöglichkeiten (*handeln*) im Vergleich zu den beiden Treatmentgruppen mit geringeren Handlungsmöglichkeiten (*beobachten* und *lesen*)<sup>162</sup> das meiste deklarative und prozedurale Wissen beim Bearbeiten von technischen Experimenten.

Folglich erweitert die diese Arbeit die Annahmen zur Phasenstruktur des technischen Experiments in theoretischer Sicht bzgl. der Bedeutung der einzelnen Phasen für den Wissenserwerb, insbesondere die der Versuchsdurchführung. Des Weiteren kann diese Arbeit auf methodischer Ebene die Vergleichbarkeit von Arbeiten zur Wirksamkeit von technischen Experimenten erhöhen, da sie explizit nur die Variation einer bei Konstanthalten der anderen Phasen empfiehlt.

Auf diese Weise geben die Ergebnisse dieser Arbeit Anlass, die Phasenstruktur und deren Bedeutung für den Wissenserwerb empirisch zu untersuchen, da diese bisher nicht im Fokus empirischer Forschungsarbeiten der Technikdidaktik standen.

---

<sup>162</sup> Eine Zuordnung der Handlungsmöglichkeiten zu Schüler-, Demonstrationsexperimenten sowie dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten kann Kapitel 5.1 entnommen werden.

### 9.6.2.2 Einordnung der Ergebnisse in die betrachteten Forschungsergebnisse zum Unterrichtsverfahren Experiment

In Bezug auf die betrachteten Einschätzungen zu dem Unterrichtsverfahren Experiment konnte von LehrerInnen die generelle Lernwirksamkeit des technischen Experiments durch die eigenen Befunde bestätigt werden (vgl. Kap. 3.1.2). Die Entwicklung des prozeduralen als auch des deklarativen Wissens fiel über alle Treatmentgruppen (*handeln*, *beobachten* und *lesen*) hinweg zwischen Vor- und Nachtest mit großen Effektstärken sehr zufriedenstellend aus. Entgegen den in den Arbeiten von Barth und Pfeifer (2009) und Bäuml-Roßnagl (1981) erfassten Einschätzungen von LehrerInnen zur Entwicklung des Fachinteresses konnte in der eigenen Untersuchung keine Veränderung des Interesses am Fach Technik durch die Bearbeitung von technischen Experimenten festgestellt werden (vgl. Kap. 9.5.2.2; Kap. 9.6.1, H3). Dieser Befund wird weiter durch die Arbeiten von Gößling (2010), Künsting (2007) und Thillmann (2007) aus dem Bereich der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik gestützt.

In vergleichender Perspektive sollen im Folgenden die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit in Bezug zu den vorgestellten Forschungsarbeiten zur Lernwirksamkeit des Unterrichtsverfahrens Experiment betrachtet werden.

Wie in Kapitel 9.5.2.1 und 9.6.2 vorgestellt, ergaben die Betrachtungen für SchülerInnen der Klassen 9 bis 11 sowohl im deklarativen als auch im prozeduralen Wissen eine eindeutige Überlegenheit der Treatmentgruppe *handeln* gegenüber *beobachten* (vgl. Kap. 9.6.1, H1.1 und H2.1).

Damit stehen die Ergebnisse, die dieser Arbeit zugrunde liegen, konform mit den Arbeiten von Glasson (1989) im naturwissenschaftlichen und Bünning (2008) im gewerblich-technischen Bereich, welche zeigten, dass durch eigenständiges Experimentieren SchülerInnen deklaratives Wissen tendenziell und prozedurales Wissen statistisch signifikant besser erwerben als SchülerInnen, die die Bearbeitung des Experiments nur beobachten durften.

Weitere Unterstützung erfahren die Untersuchungsergebnisse durch die Arbeiten von Weltner und Warnkross (1974) und Killermann (1996) im deutschsprachigen Raum, die eine Überlegenheit von selbst ausgeführten gegenüber beobachteten oder lesendem Bearbeiten von Experimenten feststellen konnten, wobei in der Darstellung der Ergebnisse leider nicht darauf geachtet wurde, zwischen beiden Wissensbereichen zu unterscheiden (vgl. Kap. 3.4).

Schwieriger ist die Befundlage zum Vergleich zwischen den Treatmentgruppen *beobachten* versus *lesen* in die betrachteten Forschungsarbeiten einzuordnen (vgl. Kap. 9.5.2.1; Kap. 9.6.1, H1.2 und H2.2). In den Untersuchungen zu dieser Arbeit zeigten sich weder für das deklarative noch für das prozedurale

Wissen über zufällige Unterschiede zwischen den beiden Treatmentgruppen. Die Treatmentgruppe *lesen* wies tendenziell ein größeres deklaratives und prozedurales Wissen im Nachtest auf als SchülerInnen der Treatmentgruppe *beobachten*. Für diese, wenn auch nicht signifikante, Überlegenheit der Treatmentgruppe *lesen* gegenüber *beobachten* sprechen die Ergebnisse Bauer und Godan (1977), bei denen SchülerInnen der achten Klasse mehr Wissen durch die lesende Bearbeitung von Experimenten erwarben als durch Schüler- oder Demonstrationsexperimente (vgl. Kap. 3.3.1.3).

Dafür, dass keine Unterschiede zwischen den beiden Treatmentgruppen bestehen, können die Resultate von Yager et al. (1969) für den kognitiven Bereich aufgeführt werden. Die Relevanz der Ergebnisse von Yager et al. (1969) wird durch die methodische Ähnlichkeit zum eigenen Vorhaben erhöht (vgl. Kap. 3.3.1.3). Vor diesem Hintergrund liegt die Feststellung nahe, dass kein Unterschied zwischen Demonstrationsexperimenten und dem lesendem Nachvollziehen von Experimenten aus Lehrbüchern besteht.

Die Bedeutung des Vorwissens für die Leistung im Nachtest konnte in der eigenen Arbeit erneut bestätigt werden (vgl. Kap. 9.5.2.3; Kap. 9.6.1, H4 und H5), wodurch die Ergebnisse im Einklang mit den von Glasson (1989) stehen, der in seiner Untersuchung ebenfalls deklaratives und prozedurales Wissen erfasste. Die beiden Vorwissensarten konnten dabei, ähnlich wie in der eigenen Untersuchung, eine Varianz von ca. 50% am Wissen im Nachtest aufklären.

#### 9.6.2.3 Einordnung der Ergebnisse in den kognitionspsychologischen Erklärungsansatz

Für die Entwicklung des prozeduralen und deklarativen Wissens wurden mit Hilfe des in Kapitel 4 vorgestellten und in Kapitel 5.1 auf die Bearbeitung von technischen Experimenten übertragenen kognitionspsychologischen Erklärungsansatz begründete Hypothesen (H1 und H2) für den Wissenserwerb aufgestellt, die sich jedoch nur z. T. im eigenen Vorhaben bestätigen ließen. Die Ergebnisse werden im Anschluss, vor dem Hintergrund des kognitionspsychologischen Erklärungsansatzes, in diesen eingeordnet und diskutiert.

Bevor die Entwicklung der beiden Wissensarten in und zwischen den Treatmentgruppen diskutiert werden kann, sollen die System- und Prozessannahmen des Erklärungsansatzes für die Bearbeitung von technischen Experimenten verkürzt vorgestellt werden, um so die Diskussion zu erleichtern.

Nachfolgende Abbildung ist bereits aus dem Kapitel 5.1 bekannt und stellt die modalitätsspezifischen Eingangs- und Ausgangssysteme sowie das konzeptuelle System dar, welches vereinfacht auch als semantisches Gedächtnis vorgestellt werden kann.

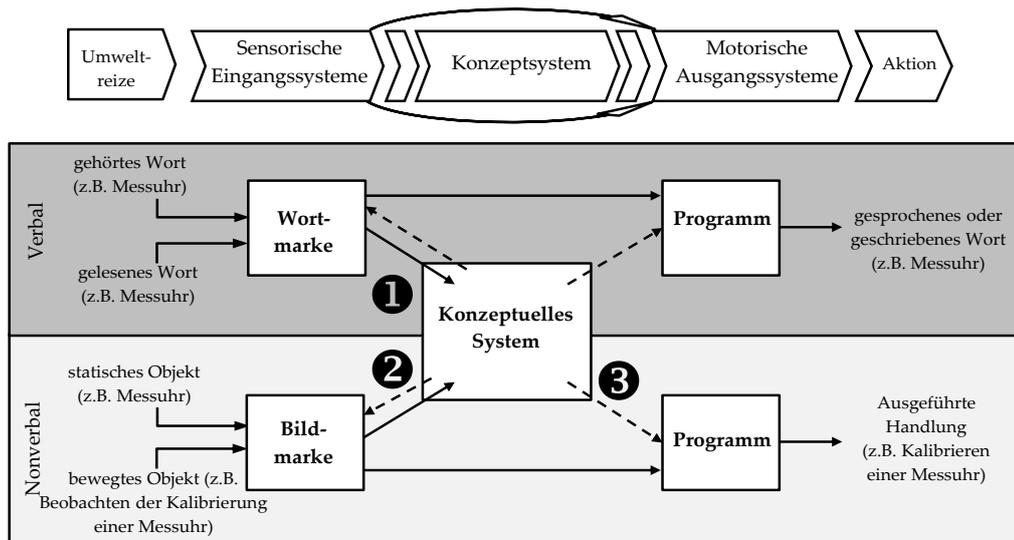


Abbildung 9.8: System- und Prozessannahmen des kognitionspsychologischen Erklärungsansatzes für die Bearbeitung von technischen Experimenten

Anmerkung: Die Linien zwischen den Systemen stellen die Aktivationsmöglichkeiten bzw. den Informationsfluss dar; gestrichelte Linien sind abhängig von der Instruktion; bei durchgezogenen Linien erfolgt automatisch die Aktivierung des verbundenen Systems.

SchülerInnen der Treatmentgruppe *handeln* konnten während der Durchführungsphase des technischen Experiments mit dem real vorhandenen Experimentieraufbau interagieren und das Experiment selbst handelnd durchführen. Bezogen auf die Systemannahmen sollten ihnen für die Bearbeitung des Wissenstests neben den Konzepten zusätzlich Informationen des verbalen Eingangssystems (z. B. gelesene Worte), des nonverbalen Eingangssystems (z. B. Bilder des Experimentieraufbaus durch Aktivierung statischer Bildmarken und die wahrgenommenen Handlungen durch Aktivierung dynamischer Bildmarken) sowie motorische Programme, also die Erinnerung, diese Handlung tatsächlich ausgeführt zu haben, zur Verfügung stehen. Bezogen auf Abbildung 9.8 ist dies durch die Nummerierung ①, ② und ③ verdeutlicht.

Der Treatmentgruppe *beobachten* sollte, bis auf die Erinnerung, die Handlungen selbst ausgeführt zu haben, also die motorischen Programme (vgl. Abbildung 9.8, ③), der gleiche Umfang an Informationen für die Bearbeitung des Wissenstests zur Verfügung stehen wie der Treatmentgruppe *handeln*.

Betrachtet man nun die Ergebnisse der eigenen Untersuchung **H1.1** und **H2.1** in Bezug auf die dargestellten Annahmen, können diese durch die Befundlage sowohl für das deklarative als auch für das prozedurale Wissen bestätigt werden. SchülerInnen, die das Experiment handelnd bearbeiteten, konnten mehr Wissen erwerben als SchülerInnen, die die Durchführung nur beobachteten.

Damit stehen diese Ergebnisse im Einklang mit dem in Kapitel 5.1.2 zugrunde gelegten Erklärungsansatz und den in Kapitel 4.2 vorgestellten Forschungsarbeiten. Neben den Arbeiten von Engelkamp und Zimmer (1997) stützt die

Arbeit von Steffens (2007), die komplexe zielgerichtete und damit ähnliche Handlungen wie beim Bearbeiten von Experimenten untersuchte, ebenfalls die Ergebnisse dieser Arbeit.

Vor dem Hintergrund der dargelegten Ergebnissen können die Planung und Ausführung motorischer Programme als zentrale Ursache für das bessere Erinnern und damit für den größeren Wissenserwerb der SchülerInnen angesehen werden, die das technische Experiment selbst durchführten, gegenüber den SchülerInnen, die die Durchführung des technischen Experiments nur beobachteten.

In Bezug auf die Hypothesen **H1.2** und **H2.2**, die die Entwicklung des deklarativen und prozeduralen Wissens der Treatmentgruppen *beobachten* und *lesen* vergleichen, fällt die Einordnung in den kognitionspsychologischen Erklärungsansatz schwieriger aus.

Gemäß den formulierten Hypothesen hätten SchülerInnen mehr prozedurales und deklaratives Wissen erwerben sollen, wenn sie die Durchführung des technischen Experiments beobachten konnten, als SchülerInnen, die rein lesend das technische Experiment bearbeiteten. Dem kognitionspsychologischen Erklärungsansatz entsprechend ist dieser Unterschied auf die zusätzliche Enkodierung der beobachteten Handlungen in der Treatmentgruppe *beobachten* zurückzuführen (vgl. Abbildung 9.8, ②). Dieser Unterschied zwischen den beiden Treatmentgruppen und die damit verbundenen Systemannahmen sollen im Folgenden genauer vorgestellt werden.

In beiden Treatmentgruppen wird durch den Einsatz der gleichen Lernunterlagen während der Bearbeitung des technischen Experiments das verbale und nonverbale Eingangssystem sowie das konzeptuelle System aktiviert. Die gelesenen Wörter werden durch das verbale Eingangssystem (durch Wortmarken) enkodiert und aktivieren automatisch die entsprechenden Konzepte (also die Bedeutung der Wörter) im konzeptuellen System (vgl. Abbildung 9.8, ①). Die Abbildungen in den Lernunterlagen werden im nonverbalen Eingangssystem durch statische Bildmarken enkodiert und aktivieren ebenfalls die entsprechenden Konzepte (vgl. Abbildung 9.8, ② oben).

Folglich können SchülerInnen der Treatmentgruppe *lesen* beim Bearbeiten des Wissenstest neben den Konzepten auf Informationen des verbalen (die Wortmarken) und nonverbalen (statische Bildmarken) zurückgreifen.

Bei der Treatmentgruppe *beobachten* führt die Beobachtung, bzw. Enkodierung der Durchführung des technischen Experiments und der darin enthaltenen Handlungen, neben den bereits genannten Aktivierungen der Treatmentgruppe *lesen*, zusätzlich zur Aktivierung von dynamischen Bildmarken im nonverbalen Eingangssystem durch die Beobachtung der ausgeführten Handlungen (vgl. Abbildung 9.8, ② unten).

Entsprechend können SchülerInnen der Treatmentgruppe *beobachten* beim Bearbeiten des Wissenstests neben Konzepten, den Informationen des verbalen (Wortmarken) und nonverbalen (statische Bildmarken) Eingangssystems, auf zusätzliche Informationen des nonverbalen Eingangssystems zurückgreifen, die auf der Aktivierung dynamischer Bildmarken basieren.

In Bezug auf den kognitionspsychologischen Erklärungsansatz sollten SchülerInnen der Treatmentgruppe *beobachten*, bedingt durch die zusätzliche Aktivierung der dynamischen Bildmarken, also der beobachteten Handlungen des technischen Experiments, mehr deklaratives und prozedurales Wissen erinnern können als SchülerInnen der Treatmentgruppe *lesen*.

Diese Hypothese konnte durch die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Entgegen den Annahmen des kognitionspsychologischen Erklärungsansatzes erzielten SchülerInnen der Treatmentgruppe *lesen* für beide Wissensarten geringfügig bessere Ergebnisse im Wissenstest als SchülerInnen, die die Durchführung des technischen Experiments beobachteten (vgl. Kap. 9.5.1.2, Tabelle 9.14).

Vor dem Hintergrund, dass zwischen den Treatmentgruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede festzustellen sind, kann für die Systemannahmen des kognitionspsychologischen Erklärungsansatzes festgehalten werden, dass die lesende Bearbeitung, während der Durchführungsphase eines technischen Experiments, zu äquivalenten Ergebnissen führt, wie die Beobachtung während der Durchführungsphase eines technischen Experiments.

Eine mögliche Ursache für die vorliegende Befundlage könnte die Übertragung des Erklärungsansatzes aus der multimodalen Gedächtnistheorie [MG] auf schulische Lernprozesse im Allgemeinen und auf die Bearbeitung von technischen Experimenten im Besonderen sein.

Die System- und Prozessannahmen im Rahmen der MG wurden auf Basis der Erinnerungsleistungen von einzelnen einfachen Handlungen entwickelt, die entweder selbst ausgeführt, beobachtet oder gelesen werden konnten und nicht anhand von komplexen Handlungen wie z. B. die bei der Bearbeitung eines technischen Experiments ausgeführten Handlungen. Daraus resultierend könnte der im Rahmen der MG noch festgestellte Vorteil von dynamischen Bildmarken nun bei komplexen Handlungen des technischen Experiments durch andere Effekte unterdrückt bzw. verringert worden sein. Eine weitere Erklärung stellt die Möglichkeit dar, dass die mehrfache Aktivierung des verbalen Eingangssystems bei der Gruppe *lesen* (durch das Lesen der Experimentier- und Ergebnisunterlagen) die fehlende Aktivierung der dynamischen Bildmarken (durch die Beobachtung der Experimentdurchführung) kompensierte.

Damit soll nicht die Überlegenheit von Bildern gegenüber reinen Texten im Sinne der dualen Kodierungstheorie von Paviot (1986) bzw. Mayer (2001) in

Frage gestellt werden. Dieser Vorteil ist, wie aktuelle Studien zeigen, erfolgreich auf schulische Lernprozesse übertragen und empirisch sehr gut belegt worden (vgl. Schwamborn, 2010). Im Fall dieser Arbeit handelt es sich vielmehr um den Vergleich von Lernprozessen mit Lernunterlagen (Bilder und Texte) und beobachteten Handlungen (Animationen bzw. Videos) (vgl. Höffler, 2007).

Was das Ausbleiben der Überlegenheit der Treatmentgruppe *beobachten* letztendlich verschuldete, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend erklärt werden.

In Bezug auf den in der MG entwickelten und auf die Bearbeitung von technischen Experimenten adaptierten kognitionspsychologischen Erklärungsansatz kann dieser die vorliegenden Ergebnisse (H1.2 und H2.2) nur unzureichend erklären. Es bedarf weiterer Forschungsarbeiten, um die System- und Prozessannahmen für den Wissenserwerb von beobachtend und lesend bearbeiteten technischen Experimenten falsifizieren zu können.

9.6.3 BILDUNGSPRAKTISCHE IMPLIKATIONEN<sup>163</sup>

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit belegen eindrucksvoll, dass technische Experimente lernwirksam und in der Lage sind, deklaratives und prozedurales Wissen als Teil technischer Handlungsfähigkeit aufzubauen (vgl. Kap. 9.5.1.2). So konnten sich SchülerInnen, unabhängig von den Handlungsmöglichkeiten, die ihnen während der Bearbeitung technischer Experimente zugewiesen wurden, deklaratives und prozedurales Wissen aneignen. Die Handlungsmöglichkeiten reichten dabei von selbst ausgeführten Handlungen in Schülerexperimenten über beobachtete Handlungen in Demonstrationsexperimenten bis hin zu durch Lesen nachvollzogenen Handlungen und Handlungsergebnissen.<sup>164</sup>

Entsprechend können LehrerInnen, auf Basis der Arbeit, zum Einsatz von technischen Experimenten (Schüler-, Demonstrationsexperimente und das lesende Bearbeiten von Experimenten) im allgemeinbildenden Technikunterricht ermutigt werden. Ergänzend ist anzumerken, dass in dieser Arbeit – wider Erwarten der Einschätzungen von LehrerInnen – keine Beeinflussung (weder positiv noch negativ) des (Fach-)Interesses der SchülerInnen durch das eingesetzte technische Experiment empirisch nachgewiesen werden konnte.

Neben der Lernwirksamkeit von technischen Experimenten konnte darüber hinaus in der Untersuchung ein Einfluss der drei Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb festgestellt werden. So gelang es SchülerInnen in Schülerexperimenten, mehr prozedurales und deklaratives Wissen aufzubauen als in Demonstrationsexperimenten oder durch lesendes Bearbeiten von technischen Experimenten. Vergleichbare Ergebnisse, bezogen auf den Wissenserwerb, wurden durch den Einsatz von Demonstrationsexperimenten und das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten erreicht.

---

<sup>163</sup> Diese einschränkend sei angemerkt, dass die Ergebnisse und damit auch die Schlussfolgerungen für die Praxis zwar aus einer als Feldexperiment angelegten Untersuchung stammen, welche jedoch einen hohen Grad an Standardisierung aufweist. Bezüglich der Sozialform erfolgte die Bearbeitung des technischen Experiments in jedem Treatment in Einzelarbeit. Ein Transfer auf Kleinst- oder Kleingruppen der Ergebnisse erscheint nicht zulässig. Des Weiteren wurden die technischen Experimente im Wesentlichen selbständig, ohne Hilfestellung oder Instruktionen einer Lehrperson, von den SchülerInnen durchgeführt. Auch die Phasenstruktur des Experimentierens wurde standardisiert. So wurde in der Untersuchung die Informations- und Planungsphase sowie die Aus- und Bewertungsphase zwischen den drei Treatments gleich gestaltet, womit sich die drei Treatments im Wesentlichen nur in der Durchführungsphase unterscheiden. Ebenfalls waren die Experimentierunterlagen (Protokollbögen und Informationsblätter) in allen Treatments dieselben (vgl. Kap. 5.1 und 7.2.2).

<sup>164</sup> Der Zusammenhang zwischen den drei Handlungsmöglichkeiten (*handeln*, *beobachten* und *lesen*) und Schüler-, Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten wurde in Kapitel 5.1.2 und 6.1 vorgestellt.

Für den Einsatz von Schülerexperimenten in der Unterrichtspraxis kann LehrerInnen, wie für den Einsatz von technischen Experimenten generell, ebenfalls eine Empfehlung ausgesprochen werden. Schülerexperimente bieten SchülerInnen die größten Handlungsmöglichkeiten, was ihnen einen sehr guten Aufbau von deklarativem und prozeduralem Wissen ermöglicht. Verantwortlich hierfür sind die selbst ausgeführten Handlungen der SchülerInnen im Schülerexperiment. Die Interaktion mit dem real vorhandenen Versuchsaufbau durch selbst geplante und ausgeführte Handlungen, sowie die daraus generierten Handlungsergebnisse evozieren einen höheren (deklarativen und prozeduralen) Wissenserwerb als Demonstrationsexperimente oder lesendes Bearbeiten von technischen Experimenten. Dieser Befund steht darüber hinaus im Einklang mit dem für die Bearbeitung von technischen Experimenten zugrunde gelegten kognitionspsychologischen Erklärungsansatz.

Als zentrales Resultat für Demonstrationsexperimente ergibt sich aus dieser Arbeit, dass mit deren Einsatz ein geringerer Wissenserwerb zu erwarten ist als durch Schülerexperimente. Zu begründen ist dies durch die geringeren Handlungsmöglichkeiten, die Demonstrationsexperimente SchülerInnen bieten. So insistiert das Demonstrationsexperiment darauf, die Handlungen am Versuchsaufbau sowie die dadurch erzeugten Ergebnisse genau zu beobachten und daraus deklaratives und prozedurales Wissen zu konstruieren. Wie die Arbeit jedoch zeigte, bereitet es SchülerInnen Schwierigkeiten, aus eben diesen Beobachtungen der Handlungen mit dem Versuchsaufbau und den dadurch erzeugten Ergebnissen (deklaratives und prozedurales) Wissen aufzubauen. Hierdurch könnte das, wenn auch nur geringfügig, schlechtere Abschneiden des Demonstrationsexperiments gegenüber dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten in der eigenen Arbeit begründet werden.<sup>165</sup> Trotz der berichteten Schwierigkeiten und der dadurch geringer ausfallenden Lernwirksamkeit von Demonstrationsexperimenten soll deren Einsatz in der Unterrichtspraxis auf Basis der eigenen Untersuchung keineswegs verneint werden, da das Demonstrationsexperiment auf unterrichtspraktischer Ebene klare Vorteile aufweist, z. B. hinsichtlich der Vorbereitungszeit, verfügbarer Medien, etc.

Hinsichtlich des lesenden Bearbeitens von technischen Experimenten zeigte sich in dieser Arbeit eine überraschende Entwicklung. SchülerInnen, die das technische Experiment nur lesend bearbeiten konnten, eigneten sich, wenn auch statistisch nicht signifikant, sogar tendenziell mehr deklaratives und prozedurales Wissen an, als SchülerInnen in Demonstrationsexperimenten.

---

<sup>165</sup> Dabei bleibt es unklar, ob die Schwierigkeiten in der fehlenden auditiven Unterstützung der eingesetzten Videosimulation, in den in Kapitel 9.6.2.3 bereits genannten Ursachen oder in beidem zu suchen sind.

Dies ist insofern beachtlich, da das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten den SchülerInnen die geringsten Handlungsmöglichkeiten bietet. Entsprechend kann auf Befundlage der eigenen Untersuchung das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten hervorgehoben und der Einsatz in der Unterrichtspraxis unterstützt werden.

Zusammenfassend ist für die Unterrichtspraxis festzuhalten, dass technische Experimente es vermögen, deklaratives und prozedurales Wissen als Teil technischer Handlungsfähigkeit aufzubauen.<sup>166</sup> Schülerexperimente scheinen auf Basis der eigenen Untersuchung hierfür in besonderem Maße geeignet. Dies zeigte sich in der eindeutigen Überlegenheit im Vergleich zu Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten. Des Weiteren konnte, entgegen den Annahmen, in dieser Arbeit keine Überlegenheit von Demonstrationsexperimenten gegenüber dem lesenden Bearbeiten gefunden werden, gleichwohl diese zentrale Bestandteile technischen Unterrichts sind. Es zeigte sich, dass SchülerInnen durch das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten sogar tendenziell mehr Wissen erwerben konnten als durch Demonstrationsexperimente. Dieser Befund ist für die Unterrichtspraxis insofern interessant, da er die Bedeutung des Demonstrationsexperiments hinterfragt und das Potential des lesenden Bearbeitens von technischen Experimenten pointiert.

---

<sup>166</sup> Einschränkung muss jedoch angemerkt werden, dass sich die Empfehlungen auf den Aufbau von deklarativem und prozeduralem Wissen als Teil technischer Handlungsfähigkeit beschränken.

---

## 10 ZUSAMMENFASSUNG

---

Zur Aneignung technischer Handlungsfähigkeit bzw. -kompetenz wird dem technischen Experiment als Unterrichtsverfahren besondere Eignung attestiert. Begründet wird dies mit der mehrdimensional angelegten Problemstellung als Bezugspunkt technischer Experimente und der Anforderung an SchülerInnen, zweckbezogen eine Lösung zu planen, zu erarbeiten und zu bewerten. Lernen durch Experimentieren wird als ein zielgerichtetes, weitgehend selbst organisiertes, planvolles und rückgekoppeltes Handeln verstanden. Es soll geistiges Tun und praktisches Handeln – (Fach-)Theorie und (Fach-)Praxis – zu einem sinnvollen Ganzen vereinen und insbesondere den Aufbau deklarativen und prozeduralen Wissens als Teil technischer Handlungsfähigkeit fördern. Eine weitere Annahme, deren Überprüfung zentraler Gegenstand des Forschungsvorhabens ist, betrifft den Einfluss von Handlungsmöglichkeiten<sup>167</sup> bei der Bearbeitung technischer Experimente auf den Wissensaufbau (deklarativ/prozedural).

Je größer die Handlungsmöglichkeiten sind, die SchülerInnen während der Bearbeitung von technischen Experimenten eingeräumt werden, umso besser wird der Wissensaufbau gelingen, so die zentrale Annahme, die diesem Forschungsvorhaben zugrunde liegt. Folglich stellen Schülerexperimente die *günstigsten* Bedingungen für den Wissensaufbau mit den größten Handlungsmöglichkeiten und das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten die *ungünstigsten* Bedingungen mit den geringsten Handlungsmöglichkeiten bereit.

Erstaunlich ist, dass dieser Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den Wissensaufbau zwar in der Technikdidaktik theoretisch angenommen, bislang aber noch nicht empirisch untersucht wurde. Dies belegen auch die Ausführungen von Schmayl, der bereits 1982 betonte, dass ein Forschungsdefizit im Bereich der Technikdidaktik an allgemeinbildenden Schulen besteht, welches insbesondere auch das Unterrichtsverfahren technisches Experiment inkludiert (vgl. Schmayl, 1982, S. 296f). Entsprechend überrascht es, dass, trotz hoher bildungspraktischer Relevanz des technischen Experiments, gegenwärtig keine Untersuchungen vorliegen, die in vergleichender Perspektive dem Einfluss von Handlungsmöglichkeiten auf den Wissensaufbau bei der Bearbeitung technischer Experimente nachgehen (vgl. Buhr & Hartmann, 2008; Höpken, 2003, S. 295f). Ergo entbehren didaktische Entscheidungen zur Präferenz von Schüler- gegenüber Demonstrationsexperimenten oder lesen-

---

<sup>167</sup> Handlungsmöglichkeiten meint jene Handlungen, die SchülerInnen während des Experimentierens ausführen können. Diese können von selbst ausgeführten Handlungen in Schülerexperimenten über beobachtete Handlungen in Demonstrationsexperimenten bis hin zu durch Lesen nachvollzogene Handlungen und Handlungsergebnisse reichen.

dem Bearbeiten technischer Experimente bislang einer empirischen Fundierung.

Dem defizitären Forschungsstand im Bereich der Technikdidaktik an allgemeinbildenden Schulen geschuldet wurde der Blickwinkel im eigenen Forschungsvorhaben zunächst auf Untersuchungen der Fachdidaktik der Naturwissenschaften ausgeweitet. Die Analyse zeigte, dass trotz Einbezug nationaler als auch internationaler Arbeiten, insgesamt 41, keine einheitliche Aussage zum Vergleich von Schüler- gegenüber Demonstrationsexperimenten oder dem lesenden Bearbeiten von Experimenten getroffen werden kann (vgl. Hopf, 2007, S. 35ff; Majerich, 2004, S. 86ff; Fischer et al., 2003, S. 194).<sup>168</sup> Vielmehr konnten durch die Analyse von 41 Arbeiten aus der Fachdidaktik der Naturwissenschaften Ursachen für die diffuse Befundlage eruiert werden. So konnte gezeigt werden, dass insbesondere in der Anlage der Arbeiten bzw. der Ausgestaltung der Treatments (z. B. im Forschungsdesign oder der Instruktion) Möglichkeiten einer Konfundierung gegeben waren.

Ein weiterer zentraler Kritikpunkt an den betrachteten Arbeiten der Fachdidaktik der Naturwissenschaften manifestierte sich in der oftmals fehlenden kognitionspsychologischen Basis oder dem Einsatz von nicht adäquaten kognitionspsychologischen Erklärungsansätzen für die Hypothesengenerierung bzw. -formulierung in der jeweiligen Untersuchung.

Die Ergebnisse der analysierten Forschungsarbeiten aus der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik berücksichtigend wurde dieser Arbeit die Multimodale Gedächtnistheorie [MG] als kognitionspsychologischer Erklärungsansatz zugrunde gelegt, wodurch die Betrachtung des Einflusses der Handlungsmöglichkeiten auf den Wissensaufbau bei der Bearbeitung von technischen Experimenten auf kognitionspsychologischer Ebene möglich wurde (vgl. Engelkamp, 1990). Realisiert wird die Betrachtungsmöglichkeit in der MG durch die Annahme motorischer Ausgangssysteme (verbal und nonverbal), die zusätzlich neben verbalen und nonverbalen Eingangssystemen die Erinnerungsleistung beeinflussen können. Die Adaption der Multimodalen Gedächtnistheorie [MG] von Engelkamp (1990) auf die Bearbeitung von technischen Experimenten ermöglichte es, kognitionspsychologisch a priori begründete Hypothesen für den Wissenserwerb durch Schüler-, Demonstrationsexperimenten und das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten im allgemeinbildenden Technikunterricht zu formulieren (vgl. Engelkamp, 1990, S. 10).

---

<sup>168</sup> Bezogen auf die Ergebnisse zur Wirksamkeit von Schüler-, Demonstrationsexperimenten und des lesenden Bearbeitens von Experimenten im Zeitraum von 1920-2009 konnten acht Arbeiten eine Überlegenheit des Schülerexperiments, 19 eine Überlegenheit des Demonstrationsexperiments und nur eine Arbeit eine Überlegenheit der lesenden Bearbeitung von Experimenten nachweisen. Kein Unterschied konnte in 13 Arbeiten festgestellt werden.

Den bisherigen Ausführungen entsprechend wird mit dem Forschungsvorhaben das Ziel verfolgt, den postulierten **Einfluss von Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb (deklarativ/prozedural) bei der Durchführung technischer Experimente im allgemeinbildenden Technikunterricht** empirisch zu fundieren. Basierend auf den System- und Prozessannahmen der MG konnten für den Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb (deklarativ/prozedural) folgende Hypothesen a priori formuliert und einer empirischen Überprüfung unterzogen werden:

**H1: Die Aneignung von deklarativem Wissen ist von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig.**

- *Durch selbst ausgeführte Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von deklarativem Wissen stärker gefördert als durch Beobachtung von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (handeln > beobachten).*
- *Durch das Beobachten von Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von deklarativem Wissen stärker gefördert als durch rein lesendes Nachvollziehen von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (beobachten > lesen).*

**H2: Die Aneignung von prozeduralem Wissen ist von den Handlungsmöglichkeiten während der Durchführung von technischen Experimenten abhängig.**

- *Durch selbst ausgeführte Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von prozeduralem Wissen stärker gefördert als durch Beobachtung von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (handeln > beobachten).*
- *Durch das Beobachten von Handlungen während der Durchführung von technischen Experimenten wird die Aneignung von prozeduralem Wissen stärker gefördert als durch rein lesendes Nachvollziehen von Handlungen bei der Durchführung von technischen Experimenten (beobachten > lesen).*

Ergänzend werden die

**Entwicklung des Fachinteresses in Abhängigkeit der Handlungsmöglichkeiten (H3) sowie der Einfluss des bereichsspezifischen Vorwissens auf den deklarativen (H4) und prozeduralen (H5) Wissenserwerb bei der Durchführung technischer Experimente**

überprüft.

Das dazu entwickelte Forschungsdesign umfasste als abhängige Variablen das deklarative/prozedurale Wissen sowie das Interesse am Fach Technik und als unabhängige Variable die Handlungsmöglichkeiten, die während der Durchführung des technischen Experiments ausgeführt werden können. Die Handlungsmöglichkeit wurde in die Stufen *handeln*, *beobachten*, *lesen* operationalisiert. Im Vor-Nachtest-Design wurde im Schuljahr 2010/2011 die als Feldexperiment angelegte Untersuchung an Gesamtschulen und Gymnasien in Nordrhein-Westfalen durchgeführt. An der Hauptuntersuchung nahmen insgesamt 305 SchülerInnen der 9. bis 11. Klasse teil.

Das eigens für die Untersuchung entwickelte technische Experiment „Auswahl einer geeigneten Profilform für den Längsträger eines Verpackungsroboters“ ist inhaltlich im Bereich der Konstruktion eines technischen Systems zu verorten. Übergeordnetes Ziel des technischen Experiments ist es, aus vier

vorgegebenen Profilformen des Längsträgers eines Verpackungsroboters unter Berücksichtigung von spezifischen Anforderungen (z. B. Gewicht, Kosten, Biegesteifigkeit) das auszuwählen, welches alle Anforderungen erfüllt. Die Anforderungen wurden in Form eines Lastenhefts präsentiert. Um die inhaltliche Validität des entwickelten technischen Experiments sicher zu stellen, wurden neben den entsprechenden Curricula des Landes Nordrhein-Westfalen Seminarleiter für das Fach Technik der Sekundarstufe 1 und 2 in die inhaltliche und zielbezogene Entwicklung sowie in die Ausgestaltung der Lernunterlagen einbezogen.

Der Vortest wurde von den SchülerInnen im Klassenverbund bearbeitet. Eine Woche danach wurden die SchülerInnen einer Klasse randomisiert zu einem der Treatments (*handeln, beobachten* oder *lesen*) oder der Kontrollgruppe zugewiesen. Die SchülerInnen der Treatmentgruppen bearbeiteten in Einzelarbeit, den Treatments entsprechend, ein technisches Experiment. Die einzelnen Treatmentgruppen waren in separaten Räumen und konnten sich gegenseitig während der Bearbeitung des technischen Experiments nicht beeinflussen. Nach einer kurzen Pause wurde, anschließend an die Bearbeitung des technischen Experiments, der Nachtest in den Treatmentgruppen erhoben. Der Nachtest wurde ebenfalls in Einzelarbeit durchgeführt. Die Kontrollgruppe bearbeitete den Nachtest direkt, ohne die Möglichkeit, ein technisches Experiment zu bearbeiten.

Durch die randomisierte Zuordnung der SchülerInnen auf Klassenebene konnten personenbedingte Störvariablen ausgeschaltet werden. Die Kontrollgruppe, deren SchülerInnen kein Treatment erfuhren, ermöglichte es, zwischenzeitliches Geschehen ebenfalls zu kontrollieren. Einen weiteren Beitrag zur Erhöhung der internen Validität des entwickelten Forschungsdesigns konnte durch Berücksichtigung der Empfehlungen von Cunningham (1946) und Majerich (2004) erreicht werden. Entsprechend wurden die eingesetzten Experimentierunterlagen, die Inhalte und Ziele des technischen Experiments, die Hilfsmittel und die Bearbeitungszeit in den jeweiligen Treatments konstant gehalten. Dies trifft auch auf den Phasenverlauf des technischen Experiments zu, der in allen Treatments bis auf die Durchführungsphase identisch gehalten wurde. Dem Ziel der Untersuchung folgend wurde ein Forschungsdesign entwickelt, das es erlaubt, die Handlungsmöglichkeiten während der Bearbeitung von technischen Experimenten in drei Stufen (*handeln, beobachten, lesen*) abzubilden. Hierfür wurden die Handlungen, die während der Durchführungsphase des technischen Experiments ausgeführt werden können, analysiert und in einer hierarchisch-sequenziellen Ordnung gegliedert. Damit wurde es möglich, Treatments zu entwickeln, in denen die gleichen Handlungsschritte und -ergebnisse enthalten sind. Folglich unterscheiden sich die

entwickelten Treatments lediglich darin, ob die Handlungen während der Durchführungsphase technischer Experimente selbst ausgeführt (*handeln*), beobachtet (*beobachten*) oder rein lesend nachvollzogen (*lesen*) werden können. SchülerInnen des Treatments *handeln* konnten das technische Experiment und die Experimentierhandlungen während der Durchführungsphase selbst an einem real vorhandenem Experimentiersystem ausführen und die (Handlungs-)Ergebnisse somit selbst erzeugen – einem Schülerexperiment ähnlich. Statt einem real vorhandenem Experimentiersystem konnten SchülerInnen im Treatment *beobachten* die Durchführung des technischen Experiments und die darin enthaltenen Handlungen bzw. die erzeugten Handlungsergebnisse, ähnlich einem Demonstrationsexperiment, nur beobachten. Dazu stand jedem Schüler bzw. jeder Schülerin eine pc-basierte Simulation zur Verfügung, die die Durchführung des Experiments und die dazugehörigen Handlungen in Videosequenzen enthielt.

SchülerInnen des Treatments *lesen* konnten weder mit einem real vorhandenem Experimentiersystem interagieren noch die Durchführung der Handlungen in einer Simulation am Computer beobachten. Die Handlungsschritte und -ergebnisse mussten von den SchülerInnen rein lesend anhand eines Lösungsblatts nachvollzogen werden.

Die **Ergebnisse der Untersuchung** sprechen eindeutig dafür, dass technische Experimente in der Lage sind, deklaratives und prozedurales Wissen als Teil technischer Handlungsfähigkeit aufzubauen. Unabhängig ob als Schüler-, Demonstrationsexperiment oder lesend bearbeitet, belegen dies die großen Effektstärken des Lernzuwachses in den Wissensarten zwischen Vor- und Nachtest eindrucksvoll. Des Weiteren konnte im Rahmen der Untersuchung im allgemeinbildenden Bereich der Technikdidaktik erstmals deklaratives und prozedurales Wissen als empirisch eigenständige Wissensdimensionen nachgewiesen werden. Damit konnte die theoretisch formulierte, aber bisher nicht empirisch nachgewiesene Bedeutung des deklarativen und prozeduralen Wissens für die Bearbeitung von technischen Experimenten belegt werden.

Die für den Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den deklarativen Wissenserwerb formulierte Hypothese (**H1**) konnte in der Untersuchung nur partiell bestätigt werden. Es konnte gezeigt werden, dass eigenständiges Bearbeiten des technischen Experiments, in Form eines Schülerexperiments, einen größeren Aufbau deklarativen Wissens als die beobachtende Bearbeitung, in Form eines Demonstrationsexperiments, evoziert. Der dafür angestrengte Einzelvergleich der Treatmentgruppen *handeln* und *beobachten* erbrachte erwartungskonform signifikante Unterschiede für das deklarative Wissen im Nachtest mit einer kleinen bis mittleren Effektstärke zugunsten der Treat-

mentgruppe *handeln*. Entgegen den Erwartungen verlief die Entwicklung des deklarativen Wissen im Nachtest zwischen den Treatmentgruppen *beobachten* und *lesen*. Hier wurde eine Überlegenheit der SchülerInnen in der Treatmentgruppe *beobachten* gegenüber *lesen* angenommen, welche sich nicht bestätigen ließ. Bearbeiteten SchülerInnen das technische Experiment lesend, konnten sie, wenn auch nur geringfügig und statistisch nicht signifikant, mehr deklaratives Wissen aufbauen als im Demonstrationsexperiment.

Eine ähnliche Befundlage ergab die Überprüfung der zum Einfluss der Handlungsmöglichkeiten auf den prozeduralen Wissenserwerb (**H2**) formulierten Hypothese. Den Erwartungen entsprechend entwickelte sich das prozedurale Wissen im Vergleich der Treatmentgruppen *handeln* und *beobachten* signifikant unterschiedlich, und mit einer mittleren Effektstärke erneut zugunsten der Gruppe *handeln*. Der Einzelvergleich zwischen den Gruppen *beobachten* und *lesen* fiel wider Erwarten nicht unterschiedlich aus, wodurch die vermutete Überlegenheit der Treatmentgruppe *beobachten* gegenüber *lesen*, analog zum deklarativen Wissen, durch die vorliegende Ergebnisbasis nicht bestätigt wurde. Tendenziell, jedoch statistisch nicht signifikant, konnte auch hier durch das lesende Bearbeiten des technischen Experiments mehr prozedurales Wissen angeeignet werden als durch das Demonstrationsexperiment.

Betrachtet man die Entwicklung des Interesses am Fach Technik, konnte der Hypothese (**H3**) entsprechend kein Einfluss der Handlungsmöglichkeiten festgestellt werden. Damit konnte in der eigenen Untersuchung, unabhängig davon, ob das technische Experiment als Schüler-, Demonstrationsexperiment oder lesend bearbeitet wurde, keine Veränderung des Fachinteresse nachgewiesen werden.

Bedeutsamer als das Fachinteresse erwies sich das bereichsspezifische Vorwissen (im Vortest) für die Vorhersage des Wissenserwerbs (im Nachtest). So erbrachte das prozedurale, gefolgt vom deklarativen Vorwissen, den größten Beitrag zur Varianzaufklärung auf das Ergebnis für das deklarative Wissen im Nachtest (**H4**). Geringere Varianzaufklärung konnte die Klassenzugehörigkeit beitragen. Das prozedurale Wissen im Nachtest konnte wiederum durch das prozedurale Wissen im Vortest und zu einem geringen Teil durch die Klassenzugehörigkeit und das Geschlecht erklärt werden (**H5**). Das deklarative Wissen im Vortest verfehlte nur knapp die Aufnahme ins regressionsanalytisch ermittelte Erklärungsmodell.

Aus **kognitionspsychologischer Perspektive** konnte durch die eigene Untersuchung gezeigt werden, dass sich Annahmen aus der multimodalen Gedächtnistheorie [MG] über den deklarativen und prozeduralen Wissenserwerb in Schüler- und Demonstrationsexperimenten auf technische Experimente anwenden lassen.

Vor dem Hintergrund der dargelegten Ergebnisse können die Planung und Ausführung von (motorischen) Handlungen beim Aufbau und Durchführen des technischen Experiments als zentrale Ursache für das bessere Erinnern und damit für den größeren Wissenserwerb der SchülerInnen in Schülerexperimenten (*handeln*) angesehen werden.

Für den deklarativen und prozeduralen Wissenserwerb in Demonstrationsexperimenten (*beobachten*) und beim lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten (*lesen*) konnten die Annahmen der MG nur bedingt zur Erklärung der vorliegenden Ergebnisse beitragen. Hier bedarf es weiterer Forschungsarbeiten, um die System- und Prozessannahmen für den Wissenserwerb von beobachteten und lesend bearbeiteten technischen Experimenten falsifizieren zu können.

Aus **theoretischer Perspektive** konnte mit dieser Arbeit die Annahme aus der Literatur bestätigt werden, dass die Aneignung eines konkreten Teils technischer Handlungsfähigkeit umso besser gelingt, je mehr sie an das eigenständige und gegenständliche Experimentieren durch die SchülerInnen selbst gebunden ist (vgl. Pahl, 2008, S. 194). Des Weiteren konnte, wie bereits von Ott und Pyszalla (2003) hervorgehoben, die Bedeutung von deklarativem und prozeduralem Wissen als Zieldimension technischer Experimente bestärkt werden.

In Bezug auf die Phasenstruktur technischer Experimente wurde mit dieser Arbeit gezeigt, dass der Versuchsdurchführung, im Gegensatz zu der in der Literatur vertretenen Meinung, eine zentrale Bedeutung für den Wissenserwerb zukommt (vgl. Schmayl, 1982, S. 308f). Die Annahme, dass die Durchführungsphase und die darin ausgeführten Handlungen lediglich die Umsetzung des geplanten Vorgehens darstellen, welche für den weiteren Erkenntnisprozess bzw. den Wissenserwerb von geringer Bedeutung sind, muss vor der Befundlage der eigenen Untersuchung überdacht bzw. revidiert werden. Damit geben die Ergebnisse dieser Arbeit Anlass, die Struktur und die Bedeutung der einzelnen Phasen für den Wissenserwerb zu untersuchen, da diese bisher nicht im Fokus empirischer Forschungsarbeiten der Technikdidaktik standen.

Aus **unterrichtspraktischer Perspektive** konnte diese Arbeit eindrucksvoll zeigen, dass technische Experimente es vermögen, deklaratives und prozedurales Wissen als Teil technischer Handlungsfähigkeit aufzubauen. Schülerexperimente scheinen auf Basis der eigenen Untersuchung hierfür in besonderem Maße geeignet. Dies zeigte sich in der eindeutigen Überlegenheit im Vergleich zu Demonstrationsexperimenten und dem lesenden Bearbeiten von technischen Experimenten. Des Weiteren konnte, entgegen den Annahmen, in dieser Arbeit keine Überlegenheit von Demonstrationsexperimenten gegenüber dem lesenden Bearbeiten gefunden werden, gleichwohl diese zentrale

Bestandteile technischen Unterrichts sind. Es zeigte sich, dass SchülerInnen durch das lesende Bearbeiten von technischen Experimenten tendenziell, jedoch statistisch nicht signifikant, mehr Wissen erwerben konnten als durch Demonstrationsexperimente. Dieser Befund ist für die Unterrichtspraxis insofern interessant, da er die Bedeutung des Demonstrationsexperiments hinterfragt und das Potential des lesenden Bearbeitens technischer Experimente pointiert.

---

## 11 LITERATUR

---

- Adams, R., Wilson, M. & Wang, W.-c. (1997). The Multidimensional Random Coefficients Multinomial Logit Model. *Applied Psychological Measurement*, 21 (1), 1-23.
- Aebli, H. (1994). *Denken : das Ordnen des Tuns 2 Denkprozesse* (2. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (2001). *Denken: das Ordnen des Tuns Band 1: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie* (3. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (2006). *Zwölf Grundformen des Lehrens : Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus* (13. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Amelang, M. (2006). *Psychologische Diagnostik und Intervention* (4. Aufl.). Berlin: Springer.
- Anderson, J. (1996). *The architecture of cognition*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Assos. Publ.
- Anderson, J. (2001). *Kognitive Psychologie* (3. Aufl.). Heidelberg [u.a.]: Spektrum Akad. Verl.
- Anderson, L., Krathwohl, D. & Bloom, B. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing : a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York [u.a.]: Longman.
- Andrich, D. (1978). A rating formulation for ordered response categories. *Psychometrika*, 43 (4), 561-573.
- Anibel, F. (1926). Comparative Effectiveness of the Lecture-Demonstration and Individual Laboratory Method. *The Journal of Educational Research*, 13 (5), 355-365.
- Atkinson, E. (1990). Learning Scientific Knowledge in the Laboratory. In E. Hegarty-Hazel (Hrsg.), *The student laboratory and the science curriculum* (S. 119-131). London: Routledge.
- Backhaus, K. (2008). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. (12., vollst. überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bader, R. (1990). *Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz in der Berufsschule: Zum Begriff "berufliche Handlungskompetenz" und zur didaktischen Strukturierung handlungsorientierten Unterrichts*. Dortmund: Univ. Dortmund, Hochschuldidakt. Zentrum.
- Bader, R. & Sloane, P. (2000). *Lernen in Lernfeldern: theoretische Analysen und Gestaltungsansätze zum Lernfeldkonzept*. Markt Schwaben: Eusl.
- Balczak, L. (1953). *The Role of the Laboratory and Demonstration in College Physical Science in Achieving the Objectives of General Education*. Minneapolis (Unpub. Ph.D. thesis; University of Minnesota).

- Barth, U. & Pfeifer, P. (2009). Lehrerfortbildung im Bereich Chemie – eine Chance für die Unterrichtsentwicklung an der Hauptschule. *CHEMKON*, 16 (2), 67-73.
- Bauer, F. & Godan, J. (1977). Zum Einsatz des Lehrbuches im Physikunterricht. *Physik in der Schule* (Bd. 4), 139-142.
- Baumert, J., Roeder, P. M., Sang, F. & Schmitz, B. (1986). Leistungsentwicklung und Ausgleich von Leistungsunterschieden in Gymnasialklassen. *Zeitschrift für Pädagogik* (32), 639-660.
- Bäuml-Roßnagl, M.-A. (1981). Das Unterrichtsexperiment im Urteil der Lehrer. Ergebnisse einer Lehrerbefragung zur Durchführung von Experimenten im Grundschulunterricht. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarschule* (4), 156-163.
- Becker, M. & Spöttl, G. (2008). *Berufswissenschaftliche Forschung: Ein Arbeitsbuch für Studium und Praxis* (Berufliche Bildung in Forschung, Schule und Arbeitswelt, Bd. 2). Frankfurt am Main [u.a.]: Lang.
- Beck, K., Czycholl, R., Ebner, H. & Reinisch, H. (1988). *Zur Kritik handlungsorientierter Ansätze in der Didaktik der Wirtschaftslehre*. Oldenburg: Bibliotheks- und Informationssystem der Univ. Oldenburg.
- Bell, R., Blair, L., Crawford, B. & Lederman, N. (2003). Just do it? impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (5), 487-509.
- Bernard, F., Ebert, D. & Schröder, B. (1995). *Unterricht Metalltechnik: Fachdidaktische Handlungsanleitungen*. Hamburg: Handwerk u. Technik.
- Blandow, D., Bösenberg, A. & Sachs, C. (1981). *Experimente im polytechnischen Unterricht: Mechanische Technologie Maschinenkunde Steuerungs- und Regelungstechnik Elektrotechnik*. Berlin: Volk und Wissen.
- Bleher, W. (2001). *Das Methodenrepertoire von Lehrerinnen und Lehrern des Faches Technik: Eine empirische Untersuchung an Hauptschulen in Baden-Württemberg*. Hamburg: Kovač.
- Bleher, W. (2008). Konstruktionsaufgabe als Methode im Technikunterricht: Befunde einer empirischen Studie an Hauptschulen. *Unterricht Arbeit + Technik* (37), 59-61.
- Bleher, W. et al. (2008). *umwelt: technik 7-10: Ausgabe B* (1. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Bleher, W. et al. (2009). *Bautechnik: Planen-Bauen-Wohnen* (1. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Bloy, W. & Bloy, I. (2000). *Umgang mit Lernfeldern im bautechnischen Unterricht: Planung und Durchführung*. Hamburg: Handwerk und Technik.

- Bloy, W. & Pahl, J.-P. (Hrsg.). (1995). *Das Unterrichtsverfahren Technisches Experiment: Beiträge zum Handlungslernen in der Versorgungstechnik*. Seelze-Velber: Kallmeyer.
- Bond, T. & Fox, C. (2007). *Applying the Rasch model: Fundamental measurement in the human sciences* (2. Aufl.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Borg, I. & Staufenbiel, T. (2007). *Lehrbuch Theorien und Methoden der Skalierung* (4. Aufl.). Bern: Huber.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Weber, R. (2005). *Statistik: für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. vollst. überarb. und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.
- Bradley, R. (1965). Lecture Demonstration versus Individual Laboratory Work in a General Education Science Course. *The Journal of Experimental Education*, 34 (1), 33-42.
- Brandstätter, E. (2001). *Faktorenanalyse oder Rasch-Modell?: Eine Kreuzvalidierung am Beispiel des Leistungs-Motivations-Tests*. Frankfurt am Main: Lang.
- Bredner, B. (2011). *Statistische Beratung und Lösungen: Prüfung auf Normalverteilung*. Zugriff am 11.05.2011. Verfügbar unter <http://www.bb-sbl.de/tutorial/verteilungen/ueberpruefungnormalverteilung.html>.
- Buchner, A., Erdfelder, E. & Faul, F. (2011) G\* Power (Version 3.1.3) [Computer software]. Verfügbar unter <http://www.psych.uni-duesseldorf.de/abteilungen/aap/gpower3/download-and-register>.
- Bühl, A. (2009). *SPSS 18: Einführung in die moderne Datenanalyse* (12. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Bühner, M. (2006). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (2. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson Studium.
- Buhr, R. & Hartmann, E. (2008). *Technische Bildung für Alle: Ein vernachlässigtes Schlüsselement der Innovationspolitik*. Berlin: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF (Hrsg.). (2007). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards: Eine Expertise*. Bonn: BMBF, Referat Publikationen.
- Bünning, F. (2006a). *Experimentierendes Lernen in der Holz- und Bautechnik fachwissenschaftlich und handlungstheoretisch begründete Experimente für die Berufsfelder Bau- und Holztechnik*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Bünning, F. (2006b). Technische Experimente als Beitrag zum handlungsorientierten Lernen. *Berufsbildung* (100/101), 24-26.
- Bünning, F. (2008). *Experimentierendes Lernen in der Bau- und Holztechnik: - Entwicklung eines fachdidaktisch begründeten Experimentalkonzepts als Grund-*

- lage für die Realisierung eines handlungsorientierten Unterrichts für die Berufsfelder der Bau- und Holztechnik-. Magdeburg: Universität Magdeburg.
- Bünning, F. (2010). Lernerfolge beim experimentierenden Lernen. *Lernen und Lehren - Elektrotechnik und Metalltechnik*, 25 (98), 67-72.
- Bybee, R. (1970). The effectiveness of an individualized approach to a general education earth science laboratory. *Science Education*, 54 (2), 157-161.
- Carlson, J. (2011). Statistical Models for Vertical Linking. In A. A. von Davier (Hrsg.), *Statistical Models for Test Equating, Scaling, and Linking* (S. 59–70). New York: Springer.
- Carstensen, C. (2006). Technische Grundlagen für die Messwiederholung. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehman, D. Leutner, M. Neubrand et al. (Hrsg.), *PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres* (S. 309–324). Münster: Waxmann.
- Carstensen, C., Frey, A., Walter, O. & Knoll, S. (2008). Technische Grundlagen des dritten internationalen Vergleichs. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, M. Hammann, E. Klieme & R. Pekrun (Hrsg.), *PISA 2006 in Deutschland. Die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich* (S. 367–390). Münster: Waxmann.
- Coopridge, J. (1922). Oral versus written instruction and demonstration versus individual work in high-school science. *School Science and Mathematics*, 22 (9), 838-844.
- Coopridge, J. (1923). Laboratory methods in high school science. *School Science and Mathematics*, 23 (6), 526-530.
- Cunningham, H. (1924a). Laboratory methods in natural science teaching. I. *School Science and Mathematics*, 24 (7), 709-715.
- Cunningham, H. (1924b). Laboratory methods in natural science teaching. II. *School Science and Mathematics*, 24 (8), 848-851.
- Cunningham, H. (1946). Lecture demonstration versus individual laboratory method in science teaching—A summary. *Science Education*, 30 (2), 70-82.
- Davier, M. von & Carstensen, C. (2007). *Multivariate and Mixture Distribution Rasch Models: Extensions and Applications*. New York: Springer.
- Davier, M. von & Davier, A. von. (2011). A General Model for IRT Scale Linking and Scale Transformations. In A. A. von Davier (Hrsg.), *Statistical Models for Test Equating, Scaling, and Linking* (S. 225–242). New York: Springer.
- Deutsche Gesellschaft für Psychologie. (2007). *Richtlinien zur Manuskriptgestaltung* (3. Aufl.). Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Diehl, J. & Arbinger, R. (2001). *Einführung in die Inferenzstatistik* (3. korrigierte Aufl.). Eschborn bei Frankfurt am Main: Klotz.
- Diehl, J. & Staufenbiel, T. (2007). *Statistik mit SPSS für Windows: Version 15* (1. Aufl.). Eschborn bei Frankfurt am Main: Klotz.

- Ditton, H. & Krüsken, J. (2009). To Those Who Have, Will More be Given?: A Longitudinal Study Concerning the Development of School Achievement and the Effects of Social Background during Primary School. *Journal for Educational Research Online*, 2009 (1), 33-61.
- Downing, E. (1925). A Comparison of the Lecture-Demonstration and the Laboratory Methods of Instruction in Science. *The School Review*, 33 (9), 688-697.
- Downing, E. (1931). Methods in Science Teaching. *The Journal of Higher Education*, 2 (6), 316-320.
- Dugard, P. & Todman, J. (1995). Analysis of Pre-test-Post-test Control Group Designs in Educational Research. *Educational Psychology*, 15 (2), 181-198.
- Duit, R., Häußler, P. & Prenzel, M. (2001). Schulleistungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 169–185). Weinheim [u.a]: Beltz.
- Dyer, J. (1927). *A Analysis of Certain Outcomes in the Teaching of Physics in Public High Schools, with an Investigation of the Efficiency of a Laboratory Method in Establishing such Outcomes*. Philadelphia: Westbrook Publishing Co.
- Eckstein, P. (2006). *Angewandte Statistik mit SPSS: Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler* (5., aktualisierte Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- Eicker, F. (1983). *Experimentierendes Lernen: Ein Beitrag zur Theorie beruflicher Bildung und des Elektrotechnikunterrichts*. Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2010). *Statistik und Forschungsmethoden* (1. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Embretson, S. & Reise, S. (2000). *Item response theory for psychologists*. New York, NY: Psychology Press.
- Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis: Das Erinnern von Sprache Bildern und Handlungen*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Engelkamp, J. (1997). *Das Erinnern eigener Handlungen*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Engelkamp, J. (2000). Fortschritte bei der Erforschung des episodischen Gedächtnisses. *Zeitschrift für Psychologie*, 208 (1-2), 91-109.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. (1983). Zum Einfluss von Wahrnehmen und Tun auf das Behalten von Verb-Objekt-Phrasen. *Sprache & Kognition*, 2 (2), 117-127.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. (1997). Sensory factors in memory for subject-performed tasks. *Acta Psychologica*, 96 (1-2), 43-60.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. (2006). *Lehrbuch der kognitiven Psychologie*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Eschweiler, M., Evanschitzky, H. & Woisetschläger, D. (2007). *Laborexperimente in der Marketingwissenschaft: Bestandaufnahme und Leitfaden bei varianzanaly-*

- lytischen Auswertungen* (Arbeitspapiere des Betriebswirtschaftlichen Instituts für Anlagen und Systemtechnologien, Nr. 45). Münster: IAS.
- Ewing, E. (1926). *Individual laboratory versus teacher demonstration method of teaching chemistry*. Philadelphia, Pennsylvania (Unpublished master's thesis, Temple University).
- Fischer, H. et al. (2003). Naturwissenschaftsdidaktische Lehr-Lernforschung: Defizite und Desiderata. *ZfDN - Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft*, 9, 179-209.
- Flowers, J. (1971). *A Comparison of the Laboratory and Enriched Lecture Demonstration Method of Teaching Science to Eighth Grade Students of Different Ability Levels*. Tennessee (Masters thesis, Univ. of Tennessee at Martin).
- Fortmüller, R. (1997). *Wissen und Problemlösen : eine wissenspsychologische Analyse der notwendigen Voraussetzungen für die Bewältigung von (komplexen) Problemen und Konsequenzen für den Unterricht in berufsbildenden Vollzeitschulen*. Wien: Manz-Verl. Schulbuch.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken* (1. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Gage, N. & Berliner, D. (1996). *Pädagogische Psychologie* (5., vollst. überarb. Aufl.). Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Garrett, R. & Roberts, I. (1982). Demonstration versus Small Group Practical Work in Science Education. A critical review of studies since 1900. *Studies in science education*, 9, 109-146.
- Geißel, B. (2008). Ein Kompetenzmodell für die elektrotechnische Grundbildung: Kriteriumsorientierte Interpretation von Leistungsdaten. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.), *Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung. Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (Diskussion Berufsbildung, Bd. 9, S. 121–142). Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- George, R. (1990). *Experimentelle Zugänge zur Realität* (1. Aufl.). Marburg: Verl. Red.-Gemeinschaft Soznat.
- Glasson, G. (1989). The effects of hands-on and teacher demonstration laboratory methods on science achievement in relation to reasoning ability and prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), 121-131.
- Gollin, E. & Sharps, M. (1988). Facilitation of free recall by categorical blocking depends on stimulus type. *Memory & Cognition*, 16 (6), 539-544.
- Gößling, J. (2010). *Selbständig entdeckendes Experimentieren – Lernwirksamkeit der Strategieranwendung*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Granzer, D., Köller, O., Bremerich-Vos, A., van den Heuvel-Panhuizen, M., Reiss, K. & Walther, G. (Hrsg.). (2009). *Bildungsstandards Deutsch und Mathematik: Leistungsmessung in der Grundschule*. Weinheim: Beltz.
- Grube, C. (2011). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung*. Kassel: Universitätsbibliothek Kassel.

- Gschwendtner, T. (2008). Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.), *Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung. Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (Diskussion Berufsbildung, Bd. 9, S. 103–119). Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Gschwendtner, T., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2010). Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. In E. Klieme (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes* (Beiheft, Bd. 56, S. 258–269). Weinheim: Beltz.
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie : psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit* (2., vollst. überarb. und erg. Aufl.). Bern: Huber.
- Hager, W. (2004). *Testplanung zur statistischen Prüfung psychologischer Hypothesen: Die Ableitung von Vorhersagen und die Kontrolle der Determinanten des statistischen Tests*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Hair, J. (2006). *Multivariate data analysis* (6th ed.). Upper Saddle River N.J.: Pearson Prentice Hall.
- Haller, K. (1999). *Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen: eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum* (Studien zum Physiklernen, Bd. 5). Berlin, Bremen: Logos.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J. & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37 (7), 655-675.
- Hartig, J., Jude, N. & Wagner, W. (2008). Methodische Grundlagen der Messung und Erklärung sprachlicher Kompetenzen. In E. Klieme (Hrsg.), *Unterricht und Kompetenzerwerb in Deutsch und Englisch. Ergebnisse der DESI-Studie* (S. 34–54). Weinheim: Beltz.
- Hartig, J. & Kühnbach, O. (2006). Schätzung von Veränderung mit „plausible values“ in mehrdimensionalen Rasch-Modellen. In A. Ittel & H. Merkens (Hrsg.), *Veränderungsmessung und Längsschnittstudien in der empirischen Erziehungswissenschaft* (S. 27–44). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hegarty-Hazel, E. (1990). *The student laboratory and the science curriculum*. London u.a.: Routledge.
- Heller, K. A. & Bartnitzky, H. (Hrsg.). (1984). *Leistungsdiagnostik in der Schule* (4. Aufl.). Bern: Huber.
- Helmke, A. & Weinert, F. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert, N. Birbaumer, C. F. Graumann & Deutsche Gesellschaft für Psychologie (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 71-176). Göttingen [u.a.]: Hogrefe.

- Henseler, K. & Höpken, G. (1996). *Methodik des Technikunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Henzler, S., Henzler, J., Leins, K. & Meidel, W. (1997). *Technik 2: An allgemeinbildenden Schulen*. Hamburg: Handwerk und Technik.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in science education*, 22 (1), 85-142.
- Höffler, T. (2007). *Lernen mit dynamischen Visualisierungen: Metaanalyse und experimentelle Untersuchungen zu einem naturwissenschaftlichen Lerninhalt*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88 (1), 28-54.
- Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 68). Berlin: Logos.
- Höpken, G. (2003). *Standards für eine allgemeine technische Bildung*. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verl.
- Horton, R. (1929). New Studies in Education: Measurable Outcomes of Individual Laboratory Work in High School Chemistry. *Teachers College Record*, 30 (4), 369-370.
- Hüttner, A. (2005). *Technik unterrichten: Methoden und Unterrichtsverfahren im Technikunterricht* (2. Aufl.). Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer.
- Jankisz, E. & Moosbrugger, H. (2008). Planung und Entwicklung von psychologischen Tests und Fragebogen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 28–72). Berlin: Springer.
- Johnson, H. (1991). *The relative effectiveness and efficiency of hands-on, demonstration and videotape laboratories for non-science majors students*. Washington: Unveröffentlichte Master-Thesis, Washington State University.
- Johnson, P. (1928). A Comparison of the Lecture-Demonstration, Group Laboratory Experimentation, and Individual Laboratory Experimentation Methods of Teaching High School Biology. *The Journal of Educational Research*, 18 (2), 103-111.
- Jude, N. (2006). *IRT-Skalierung mit ConQuest: Workshop für das Nachwuchsnetzwerk Deutschdidaktik*. Zugriff am 05.05.2011. Verfügbar unter [http://www.symposium-deutschdidaktik.de/fileadmin/template/download/aktivitaeten/nachwuchsnetzwerk/Folien\\_Jude.pdf](http://www.symposium-deutschdidaktik.de/fileadmin/template/download/aktivitaeten/nachwuchsnetzwerk/Folien_Jude.pdf).
- Kähler, W.-M. (2008). *Statistische Datenanalyse: Verfahren verstehen und mit SPSS gekonnt einsetzen* (5., verb. und erw.). Wiesbaden: Vieweg.

- Kanter, G. & Borchert, J. (Hrsg.). (1980). *Unterricht und Erfolgskontrolle*. Berlin: Marhold.
- Kiebler, E. & Woody, C. (1923). The Individual Laboratory Versus the Demonstration Method of Teaching Physics. *The Journal of Educational Research*, 7 (1), 50-58.
- Killermann, W. (1996). Biology education in Germany: Research into the effectiveness of different teaching methods. *International Journal of Science Education*, 18 (3), 333-346.
- Klauer, K. (2001). Wie misst man Schulleistungen? In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 103–115). Weinheim [u.a]: Beltz.
- Klauer, K. & Leutner, D. (2007). *Lehren und Lernen: Einführung in die Instruktionspsychologie* (1. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Klix, F. & Spada, H. (1998). *Wissen* (Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C [i.e. D], Praxisgebiete. Serie II, Kognition, Bd. 6). Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Knöll, B. (2007). *Differenzielle Effekte von methodischen Entscheidungen und Organisationsformen beruflicher Grundbildung auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung in der gewerblich-technischen Erstausbildung: eine empirische Untersuchung in der Grundausbildung von Elektroinstallateuren*. Aachen: Shaker.
- Knox, W. (1927). The Demonstration Method versus the Laboratory Method of Teaching High-School Chemistry. *The School Review*, 35 (5), 376-386.
- Kolen, M. & Brennan, R. (1995). *Test equating: Methods and practices*. New York: Springer.
- Köller, O. (1998). *Zielorientierungen und schulisches Lernen* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 4). Münster: Waxmann.
- König, J. & Blömeke, S. (2009). Disziplin- oder Berufserfahrung? Zur Struktur des pädagogischen Wissens angehender Lehrkräfte. In N. Schaper, A. H. Hilligus & P. Reinhold (Hrsg.), *Lehrerbildung auf dem Prüfstand 2009 - 2* (1). *Kompetenzmodellierung und -messung in der Lehrerbildung* (S. 126–147). Landau/Pfalz: Empirische Pädagogik.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Zeitschrift für Psychologie in Erziehung und Unterricht* (44), 185-201.
- Kruglak, H. (1952). A Comparison of the Conventional and Demonstration Methods in the Elementary College Physics Laboratory. *Journal of Experimental Education*, 20 (3), 293-300.
- Kubinger, K. (2000). Und für die Psychologische Diagnostik hat es doch revolutionäre Bedeutung. *Psychologische Rundschau*, 51 (1), 33-34.
- Kubinger, K. & Draxler, C. (2007). Probleme bei der Testkonstruktion nach dem Rasch-Modell. *Diagnostica*, 53 (3), 131-143.

- Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen. (1982). *Technik/ Wirtschaft Arbeitslehre: Gesamtschule* (Die Schule in Nordrhein-Westfalen, Bd. 31031).
- Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen. (1993a). *Leistungskurse im Fach Technik: Gymnasiale Oberstufe* (Die Schule in Nordrhein-Westfalen, Bd. 4731).
- Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen. (1993b). *Technik: Gymnasium* (Die Schule in Nordrhein-Westfalen, Bd. 3422).
- Künsting, J. (2007). *Einflüsse auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen: die Rolle inhaltlichen Vorwissens für lernwirksame Strategienutzung und der Vergleich unterschiedlicher Zielvorgaben in Experimentiersituationen*. Saarbrücken: VDM Verl. Dr. Müller.
- Lienert, G. & Raatz, U. (1994). *Testaufbau und Testanalyse* (5., völlig Neubearb. u. erw. Aufl.). Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Madigan, S. & Lawrence, V. (1980). Factors Affecting Item Recovery and Hypernesia in Free Recall. *The American Journal of Psychology*, 93 (3), 489-504.
- Majerich, D. (2004). *Developing understandings of chemistry in a large-enrollment science lecture demonstration-based course for non-majors: The extent of meaningful learning and implications for practice*. Philadelphia (Ed. D. Dissertation).
- Masters, G. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, 47 (2), 149-174.
- Mayer, R. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McCarthy, C. (2005). Effects of thematic-based, hands-on science teaching versus a textbook approach for students with disabilities. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (3), 245-263.
- McKee, E., Williamson, V. & Ruebush, L. (2007). Effects of a Demonstration Laboratory on Student Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 16 (5), 395-400.
- Michel, E. & Roebbers, C. (2007). Lehrfilme im Grundschulunterricht: Vergleich von drei Unterrichtsmethoden. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 54, 191-207.
- Moosbrugger, H. (2008). Item-Response-Theorie (IRT). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 216–239). Berlin: Springer.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2008a). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 7–26). Berlin: Springer.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Hrsg.). (2008b). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin: Springer.

- Moreno, R. (2005). Instructional technology: Promise and pitfalls. In L. M. PytlikZillig, M. Bodvarsson & R. H. Bruning (Hrsg.), *Technology-based education. Bringing researchers and practitioners together* (S. 1–19). Greenwich: Information Age Pub.
- Nachtigall, C. & Wirtz, M. (2004). *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Inferenzstatistik* (Statistische Methoden für Psychologen, Bd. 2, 3. Aufl.). Weinheim: Juventa-Verl.
- Nagy, G. & Neumann, M. (2010). Psychometrische Aspekte des Tests zu den voruniversitären Mathematikleistungen in TOSCA-2002 und TOSCA-2006: Unterrichtsvalidität, Rasch-Homogenität und Messäquivalenz. In U. Trautwein, M. Neumann, G. Nagy, O. Lüdtke & K. Maaz (Hrsg.), *Schulleistungen von Abiturienten. Die neu geordnete gymnasiale Oberstufe auf dem Prüfstand* (S. 281–306). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Nashan, R. & Ott, B. (1995). *Unterrichtspraxis Metalltechnik, Maschinentchnik: Didaktisch-methodische Grundlagen für Schule und Betrieb* (2., unveränd. Aufl.). Bonn: Dümmler.
- Nash, H. & Phillips, M. (1927). A Study of the Relative Value of Three Methods of Teaching High-School Chemistry. *The Journal of Educational Research*, 15 (5), 371-379.
- Neumann, M. & Nagy, G. (2007). Naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Sekundarstufe II. In U. Trautwein (Hrsg.), *Schulleistungen von Abiturienten. Regionale, schulformbezogene und soziale Disparitäten* (S. 143–160). Münster: Waxmann.
- Nickolaus, R. (2002). Handlungsorientiertes Lernen und Ausbilden - Erwartungen und Effekte. *Berufliche Rehabilitation*, Jg. 16, Heft 3, 123-132.
- Nickolaus, R., Gschwendtner, T., Geißel, B. & Abele, S. (2010). Konzeptionelle Vorstellungen zur Kompetenzerfassung und Kompetenzmodellierung im Rahmen eines VET-LSA bei Kfz-Mechatronikern und Elektronikern. In D. Münk & A. Schelten (Hrsg.), *Kompetenzermittlung für die Berufsbildung. Verfahren, Probleme und Perspektiven im nationalen, europäischen und internationalen Raum*. (S. 251–268). Bielefeld: Bertelsmann.
- Nickolaus, R., Heinzmann, H. & Knöll, B. (2004). *Differenzielle Effekte von Unterrichtskonzeptionsformen in der gewerblichen Erstausbildung. NI 606/2-1 DFG-Abschlußbericht*. : Stuttgart, Univ Inst f. Erziehungswissenschaft und Psychologie (IEP) Abt Berufs-Wirtschafts-und Technikpädagogik (BWT) 28 Okt 2004.
- Oswald, M. & Gadenne V. (1984). Wissen, Können und künstliche Intelligenz. Die Konzeption des deklarativen und prozeduralen Wissens: Eine Analyse der Konzeption des deklarativen und prozeduralen Wissens. *Sprache & Kognition* (3), 173-184.
- Ott, B. & Pyzalla, G. (2003). Versuchsorientierter Technikunterricht im Lernfeldkonzept. In B. Bonz & B. Ott (Hrsg.), *Allgemeine Technikdidaktik - Theo-*

- rieansätze und Praxisbezüge (Berufsbildung konkret, Bd. 6, S. 117–147). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Pahl, J.-P. (2007). *Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren: Ein Kompendium für den Lernbereich Arbeit und Technik* (Berufsbildung, Arbeit und Innovation. Studentexte, Band 2, 2. Druck-Aufl.). Bielefeld: Bertelsmann.
- Pahl, J.-P. (2008). *Bausteine beruflichen Lernens im Bereich "Arbeit und Technik": Teil 2: Methodische Grundlegungen und Konzeptionen* (3., erw. u. aktualisierte Aufl.). Bielefeld: Bertelsmann.
- Pahl, J.-P. (2010). Handlungsorientierung kontrovers- eine Diskussion. *Lernen und Lehren - Elektrotechnik und Metalltechnik*, 25. (98), 73-76.
- Pahl, J.-P. & Ruppel, A. (1998). *Bausteine beruflichen Lernens im Bereich Technik 2 Methodische Konzeptionen für den Lernbereich Technik*. Alsbach: Leuchtturm-Verl.
- Pahl, J.-P. & Vermehr, B. (1995). Des Unterrichtsverfahren *Technisches Experiment*. In W. Bloy & J.-P. Pahl (Hrsg.), *Das Unterrichtsverfahren Technisches Experiment. Beiträge zum Handlungslernen in der Versorgungstechnik* (S. 45–68). Seelze-Velber: Kallmeyer.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach* (Oxford psychology series). Oxford: Oxford Univ. Press.
- Pätzold, G., Wingels, J. & Klusmeyer, J. (2003). Methoden im berufsbezogenen Unterricht: Einsatzhäufigkeit, Bedingungen und Perspektiven. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Beiheft: Bd. 17*, 118-130.
- Payne, V. (1932a). The lecture-demonstration and individual laboratory methods compared: I. The literature. *Journal of Chemical Education*, 9 (5), 932-939.
- Payne, V. (1932b). The lecture-demonstration and individual laboratory methods compared: II. The distribution of time. *Journal of Chemical Education*, 9 (6), 1097-1102.
- Payne, V. (1932c). The lecture-demonstration and individual laboratory methods compared: III. Experimental. *Journal of Chemical Education*, 9 (7), 1277-1294.
- Pietsch, M. & Tosana, S. (2008). Beurteilereffekte bei der Messung von Unterrichtsqualität. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 11 (3), 430-452.
- Pospeschill, M. (2006). *Statistische Methoden: Strukturen, Grundlagen, Anwendungen in Psychologie und Sozialwissenschaften* (1. Aufl.). München [u.a.]: Elsevier.
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehman, R., Leutner, D., Neubrand, M. et al. (Hrsg.). (2006). *PISA 2003: Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres*. Münster: Waxmann.

- Pruitt, C. (1923). *An experiment on the relative efficiency of methods of conducting chemistry laboratory work*. Bloomington, Indiana (Unpublished master's thesis, Indiana University).
- Pugh, D. (1927). A comparison of the lecture-demonstration and the individual laboratory methods of performing chemistry experiments, as measured by non-standard objective tests. *High School Teacher* (3), 184-187.
- Rade, A. (2009). The Effectiveness of Lecture Demonstrations to Enhance Learning of Chemistry. In M. Gupta-Bhowon, S. Jhaumeer-Laulloo, H. Li Kam Wah & P. Ramasami (Hrsg.), *Chemistry Education in the ICT Age* (S. 145–151). Berlin: Springer.
- Rasch, B., Frieese, M., Homann, W. & Naumann, E. (2006a). *Quantitative Methoden: Einführung in die Statistik* (Bd. 1). Berlin: Springer.
- Rasch, B., Frieese, M., Homann, W. & Naumann, E. (2006b). *Quantitative Methoden: Einführung in die Statistik* (Bd. 2). Berlin: Springer.
- Rauch, D. & Hartig, J. (2008). Interpretation von Testwerten in der IRT. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 240–256). Berlin: Springer.
- Rauner, F. (1985) Experimentierendes Lernen in der technischen Bildung. In Hochschule (Hrsg.), *Experimentelle Statik an Fachhochschulen. Didaktik Technik Organisation Anwendung ; Seminar an der Hochschule Bremen 13. und 14. Dezember 1984* (S. 15–39). Hochschuldidaktische Materialien: Bd. 6. Alsbach: Leuchtturm-Verlag.
- Renkl, A. (1991). *Die Bedeutung der Aufgaben- und Rückmeldungsgestaltung für die Leistungsentwicklung im Fach Mathematik*. Heidelberg: Universität Heidelberg.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik* (3. Aufl.). Karlsruhe: Univ.-Verl. Karlsruhe (Univ., Habil.-Schr.--Karlsruhe, 1978).
- Rost, J. (1996). *Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion* (1. Aufl.). Bern [u.a.]: Huber.
- Rost, J. (1999). Was ist aus dem Rasch-Modell geworden? *Psychologische Rundschau*, 50 (3), 140-156.
- Rost, J. & Spada, H. (1978). Probabilistische Testtheorie. In K. J. Klauer (Hrsg.), *Handbuch der pädagogischen Diagnostik* (Bd. 1, S. 59–98). Düsseldorf: Schwann.
- Ryle, G. (1969). *Der Begriff des Geistes*. Stuttgart: Reclam.
- Sachs, C. (1975). Experimentelle Tätigkeit im polytechnischen Unterricht. *Polytechnische Bildung und Erziehung*, 17 (12), 477-482.
- Sachs, C. (1994). Experimentieren im Technikunterricht. *Unterricht Arbeit + Technik*, 4 (13), 4-9.

- Scheid, K. (1913). *Methodik des chemischen Unterrichts*. Leipzig: Quelle u. Meyer.
- Schelten, A. (1997). *Testbeurteilung und Testerstellung: Grundlagen der Teststatistik und Testtheorie für Pädagogen und Ausbilder in der Praxis* (2. Aufl.). Stuttgart: Steiner.
- Schermelleh-Engel, K. & Werner, C. (2008). Methoden der Reliabilitätsbestimmung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 117–133). Berlin: Springer.
- Schiefele, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Schmayl, W. (1982). *Das Experiment im Technikunterricht: Methodologische und didaktische Studien zur Grundlegung einer Unterrichtsmethode* (Texte zur mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Forschung und Lehre, Bd. 11). Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
- Schmidt, M. (2008). *Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I: Entwicklung und Erprobung eines Testinventars* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 87). Berlin: Logos.
- Schnell, R., Hill, P. & Esser, E. (2008). *Methoden der empirischen Sozialforschung* (8., unveränd.). München [u.a.]: Oldenbourg.
- Schulte, H. (1991). *Technikunterricht: Allgemeine technische Bildung* (1. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Schwamborn, A. (2010). *Visualisieren naturwissenschaftlicher Sachverhalte: Der Einsatz von vorgegebenen und selbst generierten Visualisierungen als Textverstehenshilfen beim Lernen aus naturwissenschaftlichen Sachtexten*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Schweizer, K. (2006). *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Berlin: Springer.
- Seel, N. (2000). *Psychologie des Lernens: Lehrbuch für Pädagogen und Psychologen*. München [u.a.]: Reinhardt.
- Seifert, H. & Weitz, B. (1999). *Handlungsorientierte Methoden und ihre Umsetzung*. Bad Homburg vor der Höhe: Gehlen.
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2007). *Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe*. Zugriff am 26.01.2010. Verfügbar unter [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2007/2007\\_09\\_01-Handreich-RIpl-Berufsschule.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2007/2007_09_01-Handreich-RIpl-Berufsschule.pdf).
- Stachowiak, H. (1980). *Modelle und Modelldenken im Unterricht: Anwendungen der allgemeinen Modelltheorie auf die Unterrichtspraxis* (Forschen und Lernen, Bd. 4). Bad Heilbrunn/Obb: Klinkhardt.

- Steffens, K. (1985). *Experimentelle Statik an Fachhochschulen: Didaktik Technik Organisation Anwendung ; Seminar an der Hochschule Bremen 13. und 14. Dezember 1984* (Hochschuldidaktische Materialien, Bd. 6) (Hochschule, Hrsg.). Hochschuldidaktische Materialien: Bd. 6. Alsbach: Leuchtturm-Verlag.
- Steffens, M. (1998). *Das Gedächtnis für ausgeführte Handlungen* (Aktuelle psychologische Forschung, Bd. 24). Lengerich [u.a.]: Pabst.
- Steffens, M. (2007). Memory for goal-directed sequences of actions: Is doing better than seeing? *Psychonomic Bulletin & Review*, 14 (6), 1194-1198.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen: kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht: Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 42). Berlin: Logos.
- Thillmann, H. (2007). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren von der Erfassung zur Förderung*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Urban, D. & Mayerl, J. (2011). *Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung* (Studienskripten zur Soziologie, 4. Aufl.). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- Walter, C. (1930). The individual laboratory method of teaching physics when no printed directions are used. *School Science and Mathematics*, 30 (4), 429-432.
- Walter, O. (2005). *Kompetenzmessung in den PISA-Studien: Simulationen zur Schätzung von Verteilungsparametern und Reliabilitäten* (1. Aufl.). Lengerich [u.a.]: Pabst.
- Walter, O. & Rost, J. (2011). Psychometrische Grundlagen von Large Scale Assessments. In L. F. Hornke, M. Amelang & M. Kersting (Hrsg.), *Methoden der psychologischen Diagnostik* (Psychologische Diagnostik, Bd. 2, [Vollst. Neuausg.], S. 87-149). Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Ward, J. (1956). Group-Study versus Lecture-Demonstration Method in Physical Science Instruction for General Education College Students. *The Journal of Experimental Education*, 24 (3), 197-210.
- Warm, T. (1989). Weighted likelihood estimation of ability in item response theory. *Psychometrika*, 54 (3), 427-450.
- Watson, R. (2000). The role of practical work. In M. Monk & J. Osborne (Hrsg.), *Good practice in science teaching. what research has to say* (S. 57-71). Buckingham [u.a.]: Open University Press.
- Weinert, F. (1996). Lerntheorien und Instruktionsmodelle. In F. E. Weinert, N. Birbaumer, C. F. Graumann & Deutsche Gesellschaft für Psychologie (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 1-42). Göttingen [u.a.]: Hogrefe.

- Wellenreuther, M. (2000). *Quantitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft: eine Einführung*. Weinheim [u.a.]: Juventa-Verl.
- Weltner, K. & Warnkross, K. (1974). Über den Einfluss von Schülerexperimenten, Demonstrationsunterricht und informierendem Physikunterricht auf Lernerfolg und Einstellung der Schüler. In L. Roth (Hrsg.), *Beiträge zur empirischen Unterrichtsforschung* (2. Aufl., S. 120–134). Hannover [u.a.]: Schroedel.
- Wilson, M. (2005). *Constructing measures: An item response modeling approach*. Mahwah N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Winkelmann, H. & Böhme, K. (2009). Anlage und Durchführung der Pilotierung der Bildungsstandards. In D. Granzer, O. Köller, A. Bremerich-Vos, M. van den Heuvel-Panhuizen, K. Reiss & G. Walther (Hrsg.), *Bildungsstandards Deutsch und Mathematik. Leistungsmessung in der Grundschule* (S. 31–106). Weinheim: Beltz.
- Winther, E. (2010). *Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 39). Münster: Waxmann.
- Wirtz, M. & Nachtigall, C. (2006). *Deskriptive Statistik* (Statistische Methoden für Psychologen, Bd. 1, 4., überarb). Weinheim: Juventa-Verl.
- Wöll, G. (2004). *Handeln: Lernen durch Erfahrung: Handlungsorientierung und Projektunterricht* (Grundlagen der Schulpädagogik, Bd. 23, 2. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Wright, B. & Linacre, M. (1994). Reasonable mean-square fit values. *Rasch Measurement Transactions*, 8 (3), 370. 09.06.2011.  
<http://www.rasch.org/rmt/rmt83b.htm>.
- Wu, M. & Adams, R. (2007). *Applying the Rasch model to psycho-social measurement: A practical approach*. Melbourne: Educational Measurement Solutions.
- Wu, M., Adams, R., Wilson, M. & Haldane, S. (2007). *ACER ConQuest: Version 2.0. Generalised Item Response Modelling Software*. Camberwell: ACER Press.
- Wu, M. & Haldane, S. (2007) Conquest 2.0 [Computer software]: Australian Council for Educational Research.
- Yager, R., Engen, H. & Snider, B. (1969). Effects of the laboratory and demonstration methods upon the outcomes of instruction in secondary biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 6 (1), 76-86.
- Zöfel, P. (2003). *Statistik für Psychologen: Im Klartext*. München: Pearson Studium.

## 12 ANHANG

### 12.1 ENTWICKELTE LERNMATERIALIEN FÜR DAS TECHNISCHE EXPERIMENT

#### 12.1.1 EXPERIMENTIERBOGEN FÜR DAS TECHNISCHE EXPERIMENT



Vom Versuchsleiter auszufüllen:  
(Treatment H; B; L)

### Auswahl einer geeigneten Profilform für den Längsträger eines Verpackungsroboters

Ein technisches Experiment zur Ermittlung und Überprüfung von Anforderungen unterschiedlicher Aluminiumprofile

Bitte trage hier dein Kennzeichen und das heutige Datum ein.

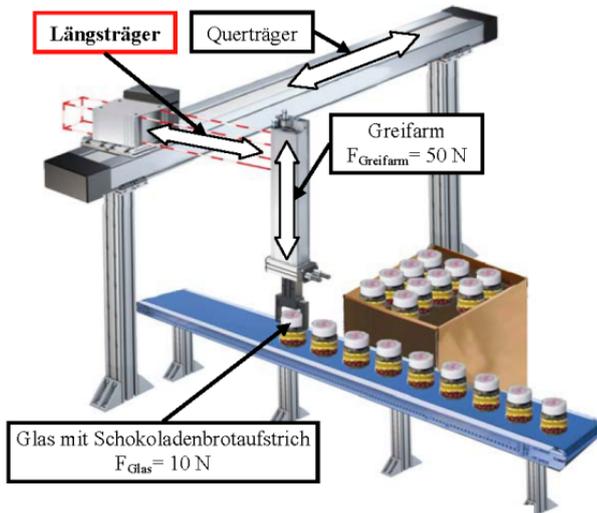
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trage in die vorderen 2 Kästchen die <b>Initialen deines Vaters</b> ein.</li> <li>▪ Trage in die hinteren 4 Kästchen <b>den Tag</b> und den <b>Monat deines Geburtstags (TTMM)</b> ein.</li> </ul> <p><b>Kennzeichen</b> <input type="text"/><input type="text"/> - <input type="text"/><input type="text"/><input type="text"/><input type="text"/></p> <p>(Wenn dein Vater z. B. Manuel Neuer hieße und du am 07.12.1985 Geburtstag hättest, lautete dein Kennzeichen <input type="text"/>M<input type="text"/>N<input type="text"/> - <input type="text"/>0<input type="text"/>7<input type="text"/>1<input type="text"/>2<input type="text"/>)</p>	<p><b>Datum:</b></p>
---	----------------------



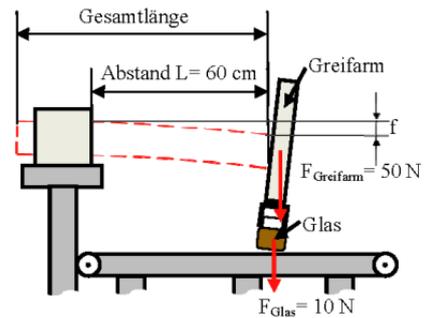
## Auswahl einer Profilform eines Verpackungsroboters

### ■ Der Auftrag

Ein Betrieb in dem Schokoladenbrot aufstrich produziert wird, will seine Verpackung automatisieren. Mithilfe eines Roboters sollen die Gläser von einem Transportband in Kartons sortiert werden. Dabei wird der **Längsträger** des Roboters besonders durch die Last des Greifarms und des Glases beansprucht. Die Form für das Profil des **Längsträgers** des Verpackungsroboters steht noch nicht fest. Es muss also ein geeignetes Profil für den Längsträger ermittelt werden, das den Anforderungen entspricht.



Automatisierte Verpackungsanlage



Seitenansicht des Verpackungsroboters

Wie du in nebenstehender Tabelle sehen kannst, stehen insgesamt **vier Profile** für den Längsträger zur Auswahl.

Doch welches Profil ist für den Längsträger am besten geeignet?

Mögliche Profilformen für den Längsträger:			
① Rechteckiges Vollmaterial	② Rechteckiges Rohr	③ Doppel T-Träger	④ Rundrohr
			



Dein Auftrag ist es,...

- ... dich zu informieren, welche **Anforderungen** an den **Längsträger** des Roboters gestellt werden.
- ... durch Versuche herauszufinden, welches Profil die Anforderungen für den **Längsträger** erfüllt und welches nicht.
- ... das Profil auszuwählen, welches die Anforderungen am besten erfüllt.

**Los geht's!  
Jetzt bist du gefragt.**



■ Anforderungen an das Profil des Längsträgers

An das Profil des Längsträgers werden die unten aufgeführten Anforderungen gestellt. Die Grenzwerte dürfen nicht über- bzw. unterschritten werden.

1) Anforderung	2) Beschreibung	3) Grenzwert
<b>Gesamtlänge</b>	Die Gesamtlänge, die der Längsträger nicht überschreiten darf.	max. 70 cm
<b>Biegesteifigkeit B</b>	Widerstand des jeweiligen Profils gegen Biegeverformung.	$B = \text{min. } 700 \text{ Nm}^2$
<b>Kosten K</b>	Kosten des jeweiligen Profils auf die Gesamtlänge von 70 cm.	$K = \text{max. } 150\text{€}/70 \text{ cm}$
<b>Gewicht m</b>	Gewicht des jeweiligen Profils bei einer Gesamtlänge von 70 cm.	$m = \text{max. } 400 \text{ g}$

Technische Daten der Profile:

In der nachfolgenden Tabelle sind nochmals die vier möglichen Profilformen für den Längsträger abgebildet. Die Dicke  $t$  ist bei allen, außer dem rechteckigen Vollmaterial dieselbe.

Profilform:	① Rechteckiges Vollmaterial	② Rechteckiges Rohr	③ Doppel T-Träger	④ Rundrohr
<b>Abmessungen:</b>	$A = 25\text{mm}; B = 25\text{mm}$	$A = 25\text{mm}; B = 25\text{mm}; t = 2\text{mm}$	$A = 25\text{mm}; B = 25\text{mm}; t = 2\text{mm}$	$D_1 = 25\text{mm}; D_2 = 21\text{mm}$
<b>Querschnittsfläche:</b> (die quergestrichelte Fläche)	$A_q = 625\text{mm}^2$	$A_q = 184\text{mm}^2$	$A_q = 142\text{mm}^2$	$A_q = 142\text{mm}^2$
<b>Abstand L:</b>	Der maximale Abstand, den der Greiferarm von dem Querträger haben darf, sind 60 cm (siehe Seite 2). Der Abstand wird mit L abgekürzt und in Zentimetern (cm) angegeben.			

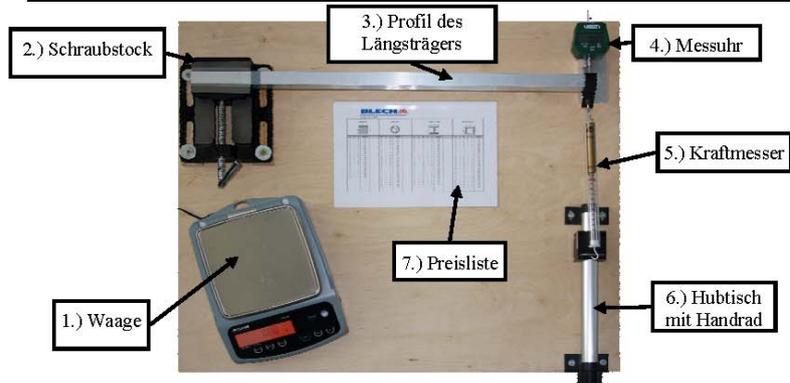


**Ideen/ Vermutungen:**

- Stelle hier deine Vermutungen auf, welches Profil die Anforderungen am besten erfüllen könnte. Trage dazu die restlichen Anforderungen aus der Tabelle (von S. 3) unter das gegebene Beispiel „Gesamtlänge“ ein.
- Ordne dann die Profile (①②③④ von S. 3) den Anforderungen zu, in dem du die Nummern der Profile entsprechend auf dem Pfeil platzierst. Als Beispiel ist die „Gesamtlänge“ bereits eingetragen.

- |                    |                     |          |                           |
|--------------------|---------------------|----------|---------------------------|
| 1. Gesamtlänge L : | Anforderung erfüllt | ← ①②③④ → | Anforderung nicht erfüllt |
| 2. _____ :         | Anforderung erfüllt | ← →      | Anforderung nicht erfüllt |
| 3. _____ :         | Anforderung erfüllt | ← →      | Anforderung nicht erfüllt |
| 4. _____ :         | Anforderung erfüllt | ← →      | Anforderung nicht erfüllt |

**Versuchsaufbau:**



- Als Hilfe für die Versuchsdurchführung ist es wichtig dein Vorgehen zu planen. Ordne dazu jedem **Handlungsschritt** des Versuches die Nummern der benötigten **Versuchsmaterialien** (z.B. Kraftmesser, Waage, Profil, etc. ) des Versuchsaufbaus zu.

Handlungsschritte	Verwendete Versuchsmaterialien (Mehrfachnennungen sind möglich)
Wiegen der Profile des Längsträgers	
Biegen der Profile des Längsträgers	
Kosten der Profile des Längsträgers ermitteln	

Wenn du mit der Planung des Experiments fertig bist, melde dich kurz  
bei deinem Versuchsleiter!



■ Versuchsergebnisse:

– Halte hier deine Ergebnisse fest.

Profilformen:	① 	② 	③ 	④ 
<b>Abstand L [cm]</b>	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm
<b>Belastung durch die äußere Kraft F [N]</b> <i>Bitte trage hier die (maximal auftretende) Belastung des Profils in Newton ein.</i>				
<b>Durchbiegung f [mm]</b> <i>Bitte trage hier die Durchbiegung des Profils in Millimeter ein.</i>				
<b>Durchbiegung f [m]</b> <i>Bitte trage hier die Durchbiegung des Profils in Meter ein.</i>				
<b>Biegesteifigkeit B [Nm<sup>2</sup>]</b> <i>Bitte trage hier die Biegesteifigkeit des Profils in Newton mal Meter<sup>2</sup> ein.</i>				
<b>Gewicht m in Kilogramm [kg]</b> <i>Bitte trage hier das Gesamtgewicht des Profils in Kilogramm ein.</i>				
<b>Kosten K pro Zentimeter [€/70 cm]</b> <i>Bitte trage hier die Kosten für die Gesamtlänge des Profils in ein.</i>				

Hier hast du Platz für evtl. Notizen oder Rechnungen:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

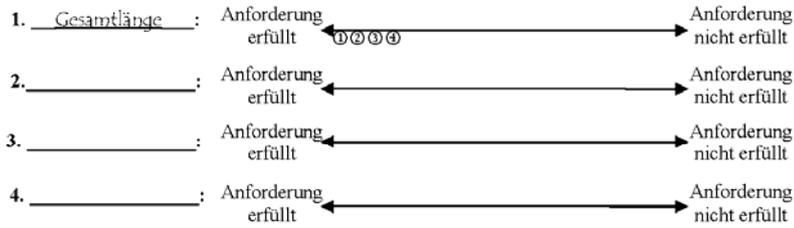
---

---



■ **Versuchsauswertung:**

- Welche deiner Ideen/Vermutung haben sich bestätigt und welche nicht? Ordne dazu wieder die Profile (ⓐⓑⓒⓓⓔ) aufgrund deiner **Ergebnisse** den Anforderungen zu und **vergleiche** sie mit **deinen Zuordnungen zu Beginn** des Experiments (siehe Ideen/Vermutungen).



■ **Versuchsbewertung:**

- Entscheide, welches Profil aufgrund deiner Versuchsauswertung am Besten für den Längsträger geeignet ist und schreibe deine Antwort auf.

---



---

- Der ⓐ **doppel T-Träger** und das ⓔ **Rundrohr** besitzen beide gleich große **Querschnittsflächen  $A_q$**  (siehe Tabelle S. 3), sind aus dem gleichen Material und wurden gleich stark belastet. Dennoch hast du im Experiment unterschiedliche **Durchbiegungen  $f$**  für das jeweilige Profil ermittelt. Welch weiterer Faktor könnte für diesen Unterschied verantwortlich sein?

---



---

Vielen Dank für deine Mitarbeit!

12.1.2 INFORMATIONSBLATT ZUR BIEGESTEIFIGKEIT

Vorgehen zur experimentellen Ermittlung der Biegesteifigkeit:

Damit du die Biegesteifigkeit experimentell bestimmen kannst, musst du die Werte für den Abstand  $L$ , die wirkende Kraft  $F$  und die dadurch entstandene Durchbiegung  $f$  ermitteln. Hast du die Werte ermittelt, kannst du die Biegesteifigkeit mit nebenstehender Formel ausrechnen.

**Biegesteifigkeit B**

$$B = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot f}$$

- Kraft  $F$  in Newton (N)
- Abstand  $L$  in Meter (m)
- Durchbiegung  $f$  in Meter (m)

Die Biegesteifigkeit wird mit  $B$  abgekürzt und in der Einheit **Newton mal Meter<sup>2</sup> (Nm<sup>2</sup>)** angegeben.

Nachfolgend ist ein Beispiel für die Berechnung der Biegesteifigkeit gegeben.

**Beispielrechnung für die Ermittlung der Biegesteifigkeit**

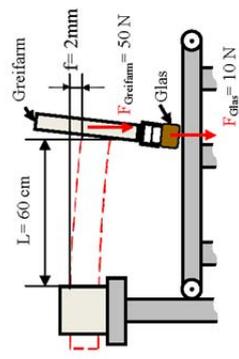
(die Beispielwerte müssen nicht mit deinen Versuchsergebnissen übereinstimmen)

**1. Schritt:** Ablesen der Werte aus dem Versuch.  
 Abstand  $L = 60 \text{ cm}$     Kraft  $F = 50 \text{ N} + 10 \text{ N} = 60 \text{ N}$     Durchbiegung  $f = 2 \text{ mm}$

**2. Schritt:** Umrechnung der Einheiten.  
 Abstand  $L = 60 \text{ cm} \rightarrow L = 0,6 \text{ m}$     Durchbiegung  $f = 2 \text{ mm} \rightarrow f = 0,002 \text{ m}$

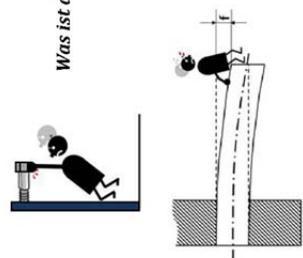
**3. Schritt:**  
 Einsetzen der Werte in die Formel und ausrechnen der Biegesteifigkeit  $B$ .  

$$B = \frac{60 \text{ N} \cdot (0,6 \text{ m})^3}{3 \cdot 0,002 \text{ m}} = 2160 \text{ Nm}^2$$



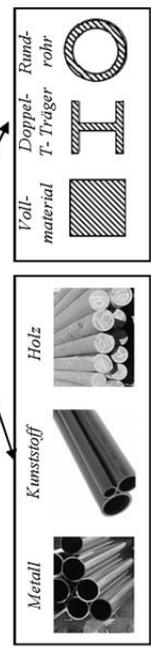
Durchbiegung  $f$  des Längsträgers bei Abstand  $L$  unter der Belastung durch die Kräfte  $F$  des Greifarms und des Glases.

**Was ist die Biegesteifigkeit?**



Wird ein Bauteil wie z. B. der Längsträger des Verpackungsroboters (s. Abbildung rechts unten), belastet, so biegt er sich durch. Die Biegesteifigkeit  $B$  gibt an, wie stark ein Körper, z.B. der Längsträger, der Biegeverformung  $f$  entgegenwirkt.

Die Biegesteifigkeit hängt von dem Material und der Form eines Bauteils ab.



Die Biegesteifigkeit kann man entweder **berechnen, oder** **experimentell ermitteln.**

Die Berechnung ist aufwendig und kompliziert. Daher kannst du in deinen Versuchen die Biegesteifigkeit **experimentell ermitteln.**

12.1.3 PREISTABELLE FÜR DIE UNTERSCHIEDLICHEN LÄNGSTRÄGERPROFILE DES VERPA-CKUNGSROBOTERS

**BLECH/A**  
 Aluminiumprofile und Aluminiumrohr/Aluminiumrohre  
 Preisliste Stand 2010

Rechteckprofil			Rohr/ rund			Doppel- T- Träger			Rohr/ rechteckig								
A	X	B	D <sub>a</sub>	X	D <sub>i</sub>	A	X	B	A	X	B	A	X	B	X	t	K=€/m
4	x	4	15	x	14	16	x	12	12	x	12	12	x	12	x	1	190
5	x	5	15	x	13,5	18	x	12	18	x	12	18	x	12	x	2	192
6	x	6	15	x	13	18	x	12	18	x	12	18	x	14	x	1	195
8	x	8	15	x	12,5	20	x	18	20	x	18	20	x	15	x	1	200
10	x	10	16	x	15	20	x	18	20	x	18	20	x	15	x	1,5	202
12	x	12	16	x	14,5	20	x	18	20	x	18	20	x	15	x	2	204
14	x	14	16	x	14	20	x	18	20	x	18	20	x	16	x	1	210
15	x	15	16	x	13,5	20	x	18	20	x	18	20	x	16	x	4	215
18	x	18	18	x	17	21	x	21	21	x	21	21	x	18	x	1,5	220
18	x	18	18	x	16,5	21	x	21	21	x	21	21	x	18	x	2	225
20	x	20	18	x	16	22	x	23	22	x	23	22	x	20	x	1	230
25	x	25	18	x	15,5	22	x	23	22	x	23	22	x	20	x	1,5	232
30	x	30	19	x	18	23	x	24	23	x	24	23	x	20	x	2	234
35	x	35	19	x	17,5	23	x	24	23	x	24	23	x	20	x	2,5	236
40	x	40	20	x	19	23	x	24	23	x	24	23	x	20	x	3	238
45	x	45	20	x	18,5	24	x	30	24	x	30	24	x	25	x	1,5	240
50	x	50	20	x	18	24	x	30	24	x	30	24	x	25	x	2	240
55	x	55	20	x	17,5	25	x	25	25	x	25	25	x	25	x	2,5	242
60	x	60	21	x	20	25	x	25	25	x	25	25	x	25	x	3	243
70	x	70	21	x	19	25	x	25	25	x	25	25	x	30	x	4	245
80	x	80	24	x	23	25	x	25	25	x	25	25	x	30	x	1,5	250
			24	x	22,5	25	x	25	25	x	25	25	x	30	x	2	252
			25	x	24	30	x	30	30	x	30	30	x	30	x	2,5	253
			25	x	23,5	30	x	30	30	x	30	30	x	30	x	3	254
			25	x	21,5	30	x	30	30	x	30	30	x	30	x	4	255
			25	x	21	30	x	30	30	x	30	30	x	34	x	2	260

## 12.2 ENTWICKELTE MATERIALIEN FÜR DIE TREATMENTS DER UNTERSUCHUNG

### 12.2.1 SCREENSHOTS DER HANDLUNGSSCHRITTE „WIEGEN“ UND „KOSTEN ERMITTELN“ DER SIMULATION DES TREATMENTS BEOBACHTEN

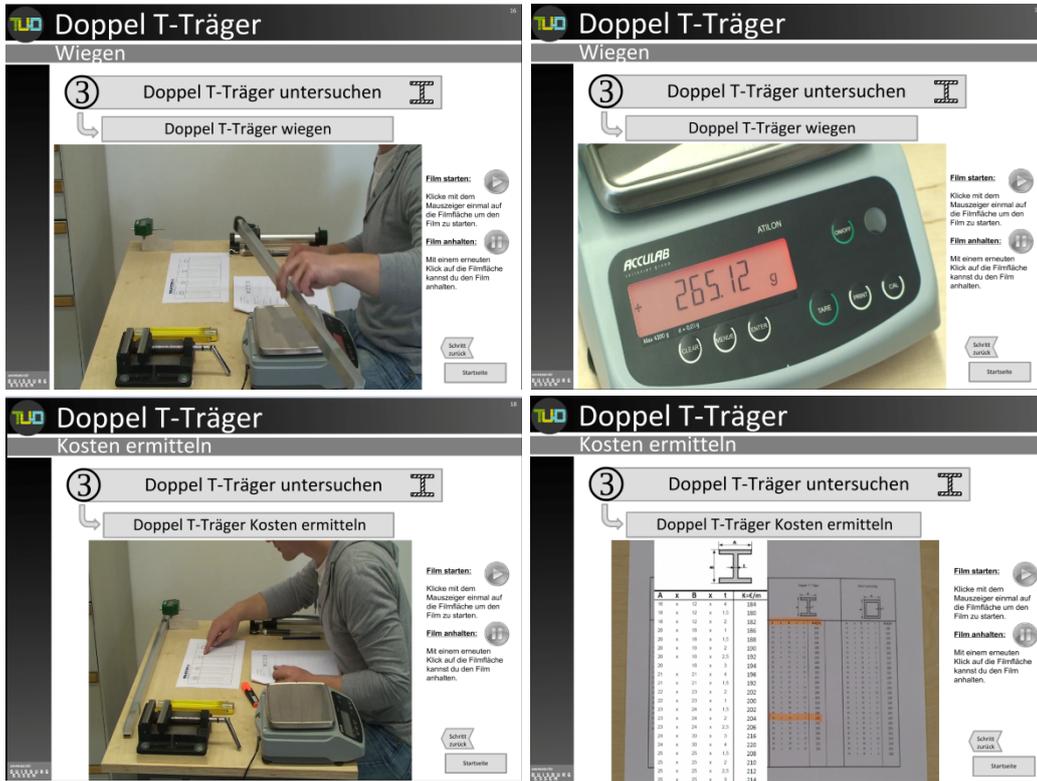


Abbildung 12.1: Screenshots der Handlungsschritte Wiegen und Kosten ermitteln exemplarische dargestellt für die Profilform des Doppel T-Trägers

12.2.2 LÖSUNGSBLATT FÜR DAS TREATMENT *LESEN***Ergebnisse der Versuchsdurchführung**

Nach dem der Versuch von dir geplant wurde, kannst du im nachfolgenden Text die Versuchsdurchführungen und dessen Ergebnisse ermitteln.

Zunächst wird kurz beschrieben, wie der Versuch durchgeführt wurde. Im Anschluss werden die Versuchsergebnisse dargestellt.

Profilformen des Längsträgers:			
① Rechteckiges Vollmaterial	② Rechteckiges Rohr	③ Doppel T-Träger	④ Rundrohr
			

**Wiegen:**

Das jeweilige Profil des Längsträgers wurde, nachdem die Waage eingeschaltet und auf null gestellt wurde, auf die Waage gelegt. Dabei konnten folgende Werte für die Profile von der Waage abgelesen werden. Alle Profile haben eine Gesamtlänge von 70cm.

Das Wiegen des **rechteckigen Vollmaterials** ergab ein Gewicht  $m = 1179,25$  g.

Das Wiegen des **Rundrohrs** ergab ein Gewicht  $m = 270,26$  g.

Das Wiegen des **rechteckigen Rohrs** ergab ein Gewicht  $m = 342,74$  g.

Das Wiegen des **Doppel-T-Trägers** ergab ein Gewicht  $m = 265,12$  g.

**Biegen:**

Das jeweilige Profil des Längsträgers wurde in einem Schraubstock befestigt. Nach Befestigung des Profils im Schraubstock ragte das Profil 60 cm über, d.h. es hatte einen Abstand von  $L = 60$ cm. Nachdem die Messuhr auf null gestellt wurde, der Kraftmesser am Hubtisch und dem Profil befestigt war, wurde mithilfe des Hubtisches das Profil durchgebogen, bis der Kraftmesser eine Kraft  $F = 60$  N anzeigte.

Abschließend wurde die Durchbiegung  $f$  von der Messuhr abgelesen.

Das Biegen des **rechteckigen Vollmaterials** ergab eine Durchbiegung  $f = 2,39$  mm.

Das Biegen des **Rundrohrs** ergab eine Durchbiegung  $f = 7,92$  mm.

Das Biegen des **rechteckigen Rohrs** ergab eine Durchbiegung  $f = 5,31$  mm

Das Biegen des **Doppel-T-Trägers** ergab eine Durchbiegung  $f = 5,49$  mm.

**Kosten ermitteln:**

Aus einer Preisliste für Aluminiumprofile wurde für das jeweilige Profil des Längsträgers folgende Preise ermittelt.

Kosten für das **rechteckige Vollmaterial** ( $A=25$ mm;  $B=25$ mm) sind  $K = 190€/1$  m.

Kosten für das **Rundrohr** ( $D_A=25$ mm;  $D_i= 21$ mm) sind  $K = 240€/1$  m.

Kosten für das **rechteckige Rohr** ( $A=25$ mm;  $B=25$ mm;  $t=2$ mm) sind  $K = 240€/1$  m.

Kosten für den **Doppel-T-Träger** ( $A=25$ mm;  $B=25$ mm;  $t=2$ mm) sind  $K = 210€/1$  m.

## 12.3 ENTWICKELTE INSTRUMENTE ZUR ERFASSUNG DER ABHÄNGIGEN VARIABLEN

### 12.3.1 WISSENSTEST DER VORUNTERSUCHUNG

Überblick der Testaufgaben aus der Voruntersuchung. Die Zuordnung der Aufgaben wurde gemäß den zu erfassenden Wissensarten (prozedural/deklarativ) vorgenommen.

Tabelle 12.1: Übersicht der Testaufgaben der Voruntersuchung

Prozedurales Wissen			Deklaratives Wissen		
	<i>Sachwissen</i>	<i>Handlungswissen</i>		<i>Sachwissen</i>	<i>Handlungswissen</i>
Aufgabe 1		X	Aufgabe 4	X	
Aufgabe 2		X	Aufgabe 6	X	
Aufgabe 3a		X	Aufgabe 7a	X	
Aufgabe 3b		X	Aufgabe 9	X	
Aufgabe 5		X	Aufgabe 10		X
Aufgabe 8		X	Aufgabe 11		
Aufgabe 14	X		Aufgabe 12a	X	
Aufgabe 18	X		Aufgabe 12b	X	
Aufgabe 19		X	Aufgabe 13	X	
Aufgabe 21	X		Aufgabe 15	X	
Aufgabe 23		X	Aufgabe 16	X	
Aufgabe 24	X		Aufgabe 17	X	
Aufgabe 25		X	Aufgabe 20	X	
			Aufgabe 22	X	



### Fragebogen und Wissenstest.

Bitte trage hier dein Kennzeichen und das heutige Datum ein.

<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Trage in die vorderen 2 Kästchen die <b>Initialen</b> deines Vaters ein.</li><li>▪ Trage in die hinteren 4 Kästchen den <b>Tag</b> und den <b>Monat</b> deines Geburtstags (ITMM) ein.</li></ul> <p><b>Kennzeichen:</b> <input type="text"/> <input type="text"/> - <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>(Wenn dein Vater z. B. Max Mustermann hieße und du am 07.12.1985 Geburtstag hättest, lautete dein Kennzeichen MM- 0712)</p>	<p><b>Datum:</b></p>
--	----------------------

## Wissenstest

- Versuche, wo es dir möglich ist, die Fragen zu beantworten.
- Falls du die Frage nicht beantworten kannst, geh zur Bearbeitung der nächsten Frage über.
- Versuche nicht zu raten.
- Die Fragen können in *beliebiger Reihenfolge* gelöst werden.
- Bei Fragen mit vorgegebenen Antworten ist *jeweils nur eine* richtig bzw. falsch.
- Es darf daher *nur eine* Antwort angekreuzt werden.
- Kreuzt du mehr als eine Antwort an, gilt die Aufgabe als nicht gelöst.
- Es dürfen *keine Hilfsmittel* benutzt werden.

1.) Welche Antwort entspricht dem Bruch  $\frac{1}{10} = ?$

- 0,01                       0,0001                       0,1
- 1/100                       0,001                       Weiß nicht

2.) Welche Antwort entspricht dem Bruch  $\frac{2}{1000} = ?$

- 0,02                       0,0002                       0,2
- 0,00002                       0,002                       Weiß nicht

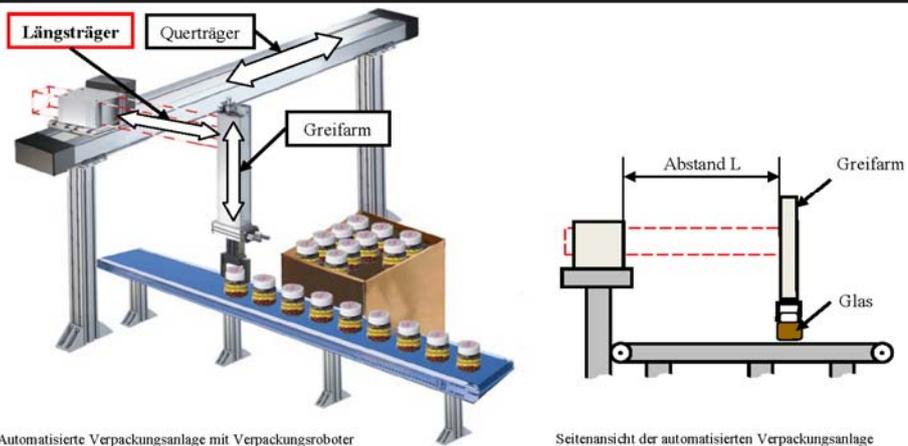
3.) Rechne um.

0,404 kg = \_\_\_\_\_ g  
2,57 mm = \_\_\_\_\_ m

4.) Welche Einheit hat die Kraft (F).

5.) Wie viel Kilogramm (kg) entsprechen einer Kraft F von 6,5N? Berechne.

Alle weiteren Fragen beziehen sich auf den unten abgebildeten Verpackungsroboter.  
Die Form für das Profil des **Längsträgers** des Verpackungsroboters steht noch nicht fest. In einem Experiment werden vier Profile getestet. Alle weiteren Fragen beziehen sich auf dieses Experiment.



Automatisierte Verpackungsanlage mit Verpackungsroboter

Seitenansicht der automatisierten Verpackungsanlage

6.) Wenn der Greifarm des Verpackungsroboters ein Glas anhebt, dann wird der **Längsträger**...

- |                                    |                                    |                                     |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> geknickt. | <input type="checkbox"/> verdreht. | <input type="checkbox"/> gedrückt.  |
| <input type="checkbox"/> gebogen.  | <input type="checkbox"/> gezogen.  | <input type="checkbox"/> Weiß nicht |

7.) Welche vier Anforderungen werden an den Längsträger des Verpackungsroboters gestellt?

8.) Wenn 1 m eines Längsträgers 190€ kostet, wie viel kosten dann 70cm?

9.) Welches der vier Profile wird sich als Längsträger des abgebildeten Verpackungsroboters am stärksten Verformen, wenn es durch eine Kraft F belastet wird?  
 Ordne jedem Profil einen Wert zu! **Beachte:** Jeder Wert kann nur **einmal** zugeordnet werden.

1=am stärksten    2=am 2. stärksten    3= am 3. stärksten    4= am 4. stärksten    5= es verformt sich nicht









10.) Du willst mithilfe eines Experiments herausfinden, welches der vier Profile als Längsträger am besten geeignet ist.  
 In welcher Reihenfolge würdest du vorgehen? Kreuze an.

- A) Mithilfe eines Versuchsaufbaus die exakten Werte ermitteln.
- B) Feststellen der Anforderungen.
- C) Ideen und Vermutungen formulieren, wie die Anforderungen ermittelt werden könnten.
- D) Anhand der Versuchsergebnisse das bestgeeignetste Profil auswählen.

D-A-C-B

B-C-D-A

B-C-A-D

B-A-C-D

A-D-B-C

Weiß nicht

11.) Ordne dem abgebildeten Profil die zugehörige Bezeichnung zu, indem du die entsprechende Zahl in das Kästchen neben dem Profil einträgst.

1=Rechteckrohr

2=Rundrohr

3=H-Träger

4=Doppel-T-Träger

5=Rechteck Vollmaterial



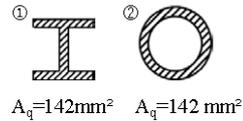
12. a) Wie nennt sich der Fachbegriff für den Widerstand, den ein Material gegen eine Biegeverformung aufbringt?

12. b) Nenne die Formel für den Fachbegriff.

13.) Abgebildet siehst du zwei Profilquerschnitte für den Längsträger. Beide sind aus dem gleichen Material und gleich lang.

Bei gleicher Belastung durch eine Kraft  $F$  hat sich das Profil ① weniger verformt als das Profil ②.

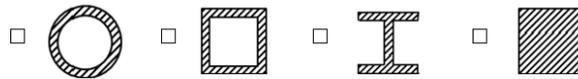
Welch weiterer Faktor könnte für dieses Ergebnis entscheidend sein?



14.) Wie verändert sich die **Durchbiegung  $f$**  des Längsträgers, wenn sich bei gleichbleibender **Kraft  $F$**  der **Abstand  $L$**  vergrößert?

15.) Mit welchem Instrument kannst du die Kraft  $F$ , die auf den Längsträger wirkt, erfassen?

16.) Welches der vier Profile für den Längsträger wird sich am stärksten verformen?  
Kreuze an.



17.) Mit Hilfe von welchem Instrument kann man die Durchbiegung  $f$  des Längsträgers ermitteln?  
Kreuze an.

- |                                  |                                      |                                       |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Waage   | <input type="checkbox"/> Zollstock   | <input type="checkbox"/> Schraubstock |
| <input type="checkbox"/> Messuhr | <input type="checkbox"/> Kraftmesser | <input type="checkbox"/> Weiß nicht   |

18.) Wie verändert sich die **Biegesteifigkeit  $B$**  des Längsträgers, wenn sich bei gleichem **Abstand  $L$**  die **Kraft  $F$**  und die **Durchbiegung  $f$**  verdoppeln?

- |  |                                      |                                       |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> bleibt gleich | <input type="checkbox"/> wird größer | <input type="checkbox"/> wird kleiner |
|  |                                      | <input type="checkbox"/> weiß nicht   |



23.) Wie groß ist die **Durchbiegung f** des Längsträgers? Kreuze das Ergebnis an.

Folgende Werte sind gegeben:

Biegesteifigkeit B	Kraft F	Abstand L
2000Nm <sup>2</sup>	60N	1m

0,01m                       0,0001m                       0,1  
 1/100m                       0,001m                       Weiß nicht

24.) In einem Experiment wurden vier Profilformen für den Längsträger des Verpackungsroboters auf Ihre Biegesteifigkeit B untersucht.

Das Experiment ergab folgende Werte:

Rangfolge	Profilform	Kraft F	Durchbiegung f	Abstand L
	A	100 N	3 mm	100 cm
	B	100 N	1,5 mm	100 cm
	C	100 N	2,5 mm	100 cm
	D	100 N	2 mm	100 cm

**Ordne die Profile nach Ihrer Biegesteifigkeit in eine Rangfolge an. Trage dazu die Zahlen 1-4 in die Spalte „Rangfolge“ ein.**  
**1= höchste Biegesteifigkeit ....4= geringste Biegesteifigkeit**

25.) In zwei Messungen mit dem gleichen Profil für den Längsträger wurden folgende Werte ermittelt:

	Kraft F	Durchbiegung f	Abstand L
<b>1. Messung</b>	60N	0,01m	1m
<b>2. Messung</b>	120N	0,02m	1m

Welche Biegesteifigkeit besitzt der Träger? Berechne!

Vielen Dank für deine Mitarbeit!

## 12.3.2 WISSENSTEST DER HAUPTUNTERSUCHUNG

Überblick der Testaufgaben aus der Hauptuntersuchung. Die Zuordnung der Aufgaben wurde gemäß den zu erfassenden Wissensarten (prozedural/deklarativ) vorgenommen.

Tabelle 12.2: Übersicht der Testaufgaben der Hauptuntersuchung

Prozedurales Wissen			Deklaratives Wissen		
	<i>Sachwissen</i>	<i>Handlungswissen</i>		<i>Sachwissen</i>	<i>Handlungswissen</i>
Aufgabe 1		X	Aufgabe 4	X	
Aufgabe 2		X	Aufgabe 6	X	
Aufgabe 3a		X	Aufgabe 7a	X	
Aufgabe 3b		X	Aufgabe 7b	X	
Aufgabe 5		X	Aufgabe 10	X	
Aufgabe 8		X	Aufgabe 11		X
Aufgabe 9		X	Aufgabe 12	X	
Aufgabe 14		X	Aufgabe 13a	X	
Aufgabe 18		X	Aufgabe 13b	X	
Aufgabe 19		X	Aufgabe 15	X	
Aufgabe 20	X		Aufgabe 16	X	
Aufgabe 21b		X	Aufgabe 17	X	
Aufgabe 24		X	Aufgabe 21a	X	
Aufgabe 25		X	Aufgabe 22	X	
Aufgabe 27		X	Aufgabe 23	X	
			Aufgabe 26	X	



Vorname

## Fragebogen und Wissenstest.

Bitte trage hier dein Kennzeichen und das heutige Datum ein.

<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Trage in die vorderen 2 Kästchen die <b>Initialen</b> deines Vaters ein.</li><li>▪ Trage in die hinteren 4 Kästchen <b>den Tag</b> und den <b>Monat</b> deines Geburtstags (TTMM) ein.</li></ul> <p><b>Kennzeichen</b> <input type="text"/> <input type="text"/> - <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>(Wenn dein Vater z. B. Manuel Neuer hieße und du am 07.12.1985 Geburtstag hättest, lautete dein Kennzeichen <input type="text"/> <input type="text"/> - <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>)</p>	<p>Datum:</p>
--	---------------

### Wissenstest

- Versuche, wo es dir möglich ist, die Fragen zu beantworten.
- Falls du die Frage nicht beantworten kannst, geh zur Bearbeitung der nächsten Frage über.
- Versuche nicht zu raten.
- Die Fragen können in *beliebiger Reihenfolge* gelöst werden.
- Bei Fragen mit vorgegebenen Antworten ist *jeweils nur eine* richtig bzw. falsch.
- Es darf daher *nur eine* Antwort angekreuzt werden.
- Kreuzt du mehr als eine Antwort an, gilt die Aufgabe als nicht gelöst.
- Es dürfen *keine Hilfsmittel* benutzt werden.

1.) Welche Antwort entspricht dem Bruch  $\frac{3}{10} = ?$

- 0,03                       0,0003                       0,3
- 3/100                       0,003                       Weiß nicht

2.) Welche Antwort entspricht dem Bruch  $\frac{2}{1000} = ?$

- 0,02                       0,0002                       0,2
- 0,00002                       0,002                       Weiß nicht

3.) Rechne um.

0,404 kg = \_\_\_\_\_ g  
2,57 mm = \_\_\_\_\_ m

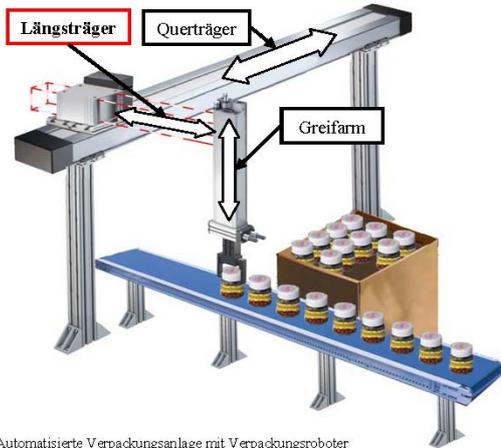
4.) Welche Einheit hat die Kraft (F).

\_\_\_\_\_

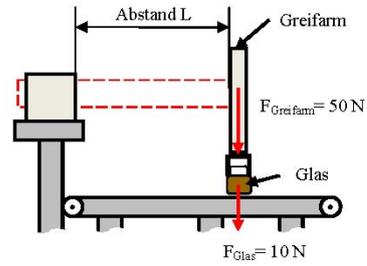
5.) Wie viel Kilogramm (kg) entsprechen einer Kraft F von 6,5N? Berechne.

\_\_\_\_\_

Alle weiteren Fragen beziehen sich auf den unten abgebildeten Verpackungsroboter.  
 Die Form für das Profil des **Längsträgers** des Verpackungsroboters steht noch nicht fest. In einem Experiment werden vier Profile getestet. Alle weiteren Fragen beziehen sich auf dieses Experiment und die getesteten Profile.



Automatisierte Verpackungsanlage mit Verpackungsroboter



Seitenansicht der automatisierten Verpackungsanlage

6.) Wenn der Greifarm des Verpackungsroboters ein Glas anhebt, dann wird der **Längsträger**...

<input type="checkbox"/> geknickt.	<input type="checkbox"/> verdreht.	<input type="checkbox"/> gedrückt.
<input type="checkbox"/> gezogen.	<input type="checkbox"/> gebogen.	<input type="checkbox"/> Weiß nicht

7.) Welche Anforderungen werden an den Längsträger des Verpackungsroboters gestellt?

1.) \_\_\_\_\_ 2.) \_\_\_\_\_  
 3.) \_\_\_\_\_ 4.) \_\_\_\_\_

8.) Wenn 1 m eines Längsträgers 190€ kostet, wie viel kosten dann 70cm?

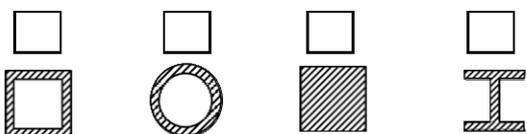
\_\_\_\_\_

9.) Berechne die Gesamtkraft  $F_{Ges}$  mit der der Längsträger belastet wird, wenn er das Glas anhebt.

$F_{Ges} =$  \_\_\_\_\_

10.) Welches der vier Profile wird sich als Längsträger des abgebildeten Verpackungsroboters am stärksten Verformen, wenn es durch eine Kraft F belastet wird?  
 Ordne jedem Profil einen Wert zu! **Beachte:** Jeder Wert kann nur **einmal** zugeordnet werden.

1=am stärksten    2=am zweit stärksten    3= am dritt stärksten  
 4= am viert stärksten    5= es verformt sich nicht



11.) Du willst mithilfe eines Experiments herausfinden, welches der vier Profile als Längsträger am besten geeignet ist.  
 In welcher Reihenfolge würdest du vorgehen? Kreuze an.

A) Mithilfe eines Versuchsaufbaus die exakten Werte ermitteln.  
 B) Feststellen der Anforderungen.  
 C) Ideen und Vermutungen formulieren, wie die Anforderungen ermittelt werden könnten.  
 D) Anhand der Versuchsergebnisse das bestgeeignetste Profil auswählen.

D-A-C-B                       B-C-D-A                       B-C-A-D  
 B-A-C-D                       A-D-B-C                       Weiß nicht

12.) Ordne dem abgebildeten Profil die zugehörige Bezeichnung zu, indem du die entsprechende Zahl in das Kästchen neben dem Profil einträgst.

1= Doppel-I-Träger                      2=I-Träger  
 3= H-Träger                              4= Doppel-T-Träger  
 5= T-Träger                              6= Doppel-H-Träger

  Weiß nicht

13. a) Wie nennt sich der Fachbegriff für den Widerstand, den ein Material gegen eine Biegeverformung aufbringt?

\_\_\_\_\_

13. b) Nenne die Formel für den Fachbegriff.

\_\_\_\_\_

14.) Der Längsträger darf bei einer Gesamtlänge von 70cm nicht teurer sein als 150€.  
 Welche Profile erfüllen diese Anforderung?

①  ②  ③  ④ 

140€ pro 70cm    210€ pro 1m    160€ pro 70cm    210€ pro 1m

\_\_\_\_\_

15.) Abgebildet siehst du zwei Profilquerschnitte für den Längsträger. Beide sind aus dem **gleichen Material** und **gleich lang**.  
 Bei gleicher Belastung durch eine Kraft  $F$  hat sich das Profil ① weniger verformt als das Profil ②.  
 Welcher weitere Faktor könnte für dieses Ergebnis entscheidend sein?

① 

② 

$A_q=142\text{mm}^2$      $A_q=142\text{mm}^2$

16.) Mit Hilfe von welchem Instrument kann man die **Durchbiegung  $f$**  des Längsträgers ermitteln?  
 Kreuze an.

<input type="checkbox"/> Waage	<input type="checkbox"/> Zollstock	<input type="checkbox"/> Schraubstock
<input type="checkbox"/> Messuhr	<input type="checkbox"/> Kraftmesser	<input type="checkbox"/> Weiß nicht

17.) Mit welchem Instrument kannst du die Kraft  $F$ , die auf den Längsträger wirkt, erfassen?

18.) Wie verändert sich die **Durchbiegung  $f$**  des Längsträgers, wenn sich bei gleichem **Abstand  $L$**  die **Kraft  $F$**  vergrößert?

19.) Wie verändert sich die **Durchbiegung  $f$**  des Längsträgers, wenn sich bei gleichbleibender **Kraft  $F$**  der **Abstand  $L$**  vergrößert?

20.) In einem Experiment wurden **vier unterschiedliche Profilformen** für den Längsträger des Verpackungsroboters auf Ihre Biegesteifigkeit  $B$  untersucht.

Das Experiment ergab folgende Werte:

Rangfolge	Kraft $F$	Durchbiegung $f$	Abstand $L$
	100 N	3 mm	100 cm
	100 N	1,5 mm	100 cm
	100 N	2,5 mm	100 cm
	100 N	2 mm	100 cm

Ordne die Profile nach Ihrer Biegesteifigkeit in eine Rangfolge an. Trage dazu die Zahlen 1-4 in die Spalte „Rangfolge“ ein.  
 1= höchste Biegesteifigkeit ....4= geringste Biegesteifigkeit

21.) In einem Experiment wurde eine Profilform für den Längsträger untersucht und folgende Werte ermittelt:

Ermittelte Werte:

Kraft F	Abstand L	Durchbiegung f
80 N	60 cm	4 mm

**WICHTIG:** F = 60 N ← Einheit  
Wert ↗

Welche Einheiten der Werte müssen umgerechnet werden, damit die **Biegesteifigkeit B** berechnet werden kann?

Rechne die Einheiten der Werte in die benötigten Einheiten um.

22.) Welcher Faktor hat neben dem Material noch einen Einfluss auf die **Biegesteifigkeit B** des Längsträgers?

23.) Welche drei Werte benötigst du, um die **Biegesteifigkeit B** allgemein berechnen zu können? Nenne die Bezeichnungen und die Abkürzungen der notwendigen Werte.

1.) \_\_\_\_\_ 2.) \_\_\_\_\_ 3.) \_\_\_\_\_

24.) In einer Messung eines Profils des Längsträgers wurden folgende Werte ermittelt:

	Kraft F	Durchbiegung f	Abstand L
<b>1. Messung</b>	120 N	0,02 m	1 m

Welche Biegesteifigkeit besitzt der Träger?

- Ergänze dazu die Berechnung der 1. Messung und berechne die Biegesteifigkeit des Profils.

**1. Messung:**

$$B = \frac{120 \text{ N} \cdot (1 \text{ m})^3}{3 \cdot \boxed{\phantom{000000}}}$$

B =

25.) In zwei Messungen mit dem **gleichen Profil** des Längsträgers wie in Aufgabe 24 wurden folgende Werte ermittelt:

	Kraft F	Durchbiegung f	Abstand L	Biegesteifigkeit B
<b>1. Messung</b>	240 N	0,04 m	1 m	2000 Nm <sup>2</sup>
<b>2. Messung</b>	60 N	0,01 m	1 m	

Welche Biegesteifigkeit besitzt der Träger in der 2. Messung?



## 12.3.3 FACHINTERESSE UND KONTROLLVARIABLEN

Dieser Test wurde in der Vor- als auch in der Hauptstudie unverändert eingesetzt.

### Fragebogen

Auf diesem Blatt sollst du zunächst unter **Punkt 1** Angaben zu deiner Person machen.

Unter **Punkt 2** findest du acht Aussagen, mit denen wir dein Interesse am Technikunterricht erfragen möchten.

Mache pro Aussage immer nur *ein* Kreuz für das, was am ehesten auf dich zutrifft.

Alle Daten werden anonym behandelt.

#### 1.) Angaben zur Person:

Wie alt bist du?

Kreuze hier dein Geschlecht an: Mädchen  Junge

In welcher Schulform gehst du im Moment zur Schule?

Gymnasium:  Gesamtschule:  Realschule:  Andere:

In welcher Klasse bist du im Moment?

Bitte trage hier **deine** letzte Zeugnisnote für folgende Fächer ein:

Technik  Mathematik  Physik  Deutsch  Englisch

#### 2.) Einstellungen zum Fach Technik:

	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft nicht zu	Trifft gar nicht zu
a) Macht dir das Fach Technik Spaß?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Hast du schon mal im Technikunterricht ein Experiment bearbeitet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Beteiligst du dich am Technikunterricht aktiv?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Mir liegt viel daran, viel über Technik zu wissen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Ich freue mich auf den Technikunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f) Technik gehört für mich zu den wichtigen Fächern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g) Mein Interesse am Fach Technik ist hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h) Machen dir technische Experimente Spaß?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 12.3.4 PROTOKOLLBOGEN DER TREATMENTS ZUR GEWÄHRLEISTUNG DER DURCHFÜHRUNGSOBJEKTIVITÄT

Wenn Fragen trotzdem auftauchen sollten, dann ist der Zeitpunkt, die Frage und die gegebene Antwort zu dokumentieren. Wichtig: Es dürfen nur Antworten gegeben werden, die keine Lösungsansätze o.ä. beinhalten.

#### Protokollbogen für Fragen während des Tests:

Bitte Tragen Sie in unteres Feld die Fragen (F:) und die gegebenen Antworten (A:) ein.	Kennzeichen der Schülerin oder Schüler	Zeitpunkt der Frage:
F: Was ist die Biegesteifigkeit? A: Das kann ich dir leider nicht verraten.	MM- 0710	13:30