

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	v
1 Einleitung	1
1.1 Ein rationaler Zugang	1
1.2 Ein subjektiver Zugang	2
1.3 Wagenschein: Vision vs. Wissenschaft	6
1.4 Liebers (1983): Rezepte für die Anwendung der Mathematik im Physikunterricht	8
1.5 Das Anliegen der Arbeit	8
1.6 Aufbau der Arbeit	10
I Theoretische Grundlagen	15
2 Wissenschaftstheorie: Die Rolle der Mathematik in der Physik	17
2.1 Was ist Physik?	17
2.1.1 Exkurs: Wissenschaftssoziologie - ein Überblick	21
2.1.2 Rückblick	23
2.2 Was ist Mathematik?	24
2.2.1 Platonismus und Physikalismus	26
2.2.2 Formalismus	30
2.2.3 Kitchers naturalistische Sicht der Mathematik	31
2.2.4 Wissenschaftssoziologische Ansätze zum Verständnis der Ma- thematik	34
2.3 Physik und Mathematik	38
2.3.1 Gerhard Ludwigs Beschreibung der Rolle der Mathematik in der (theoretischen) Physik	40
2.3.2 Das Anwendungsproblem	43
2.3.2.1 Wilholts Analyse der Anwendbarkeit der Mathe- matik	48
2.3.2.2 Zusammenfassung	54
2.3.3 Funktionen der Verwendung von Mathematik in der Physik	55
2.3.3.1 Kognitive Entlastung	55
2.3.3.2 Exaktheit	57
2.3.3.3 Kommunikation	58
2.3.3.4 Objektivität	59

2.3.4	Geschichte der Physik unter besonderer Berücksichtigung der Mathematik	60
2.3.4.1	Die „Physik“ der Antike	61
2.3.4.2	Die wissenschaftliche Revolution und Galileo Galilei	65
2.3.4.3	Die Physik nach Galilei	67
2.3.5	Physik ohne Mathematik?	70
2.4	Zusammenfassung	72
3	Empirische Fachdidaktik: Vorstellungen von Lernenden	75
3.1	Begriffsklärungen: Beliefs, Schülervorstellungen und Einstellungen	75
3.1.1	Beliefs und Beliefsysteme - Perspektive der Mathematikdidaktik	76
3.1.2	Schülervorstellungen und Vorverständnis - Perspektive der Physikdidaktik	79
3.1.3	Einstellungen - Perspektive der Psychologie	81
3.1.4	Konsequenzen für diese Arbeit	83
3.2	Die Relevanz von Vorstellungen - Gründe für deren Erforschung . .	84
3.3	Zwischenfazit: Methodische Implikationen für diese Arbeit	89
3.4	Epistemologische Vorstellungen von Lernenden	92
3.5	Vorstellungen Lernender über die Natur der Mathematik	98
3.5.1	Kategorisierungen der Vorstellungen über die Natur der Mathematik	98
3.5.2	Allgemeine globale Vorstellungen Lernender über die Natur der Mathematik	100
3.5.3	Weitere Vorstellungen Lernender über die Natur der Mathematik	101
3.5.4	Vorstellungen Lernender über die Natur der Mathematik unter besonderer Berücksichtigung von Alter und Geschlecht der Lernenden	104
3.5.5	Die Untersuchung von Grigutsch (1996) und Folgeuntersuchungen	104
3.5.6	Epistemologische Vorstellungen zur Mathematik	107
3.6	Vorstellungen Lernender über die Natur der Physik	108
3.6.1	Relevanz von Vorstellungen über die Natur der Physik . . .	108
3.6.2	Welches Bild von Physik sollten Lernende entwickeln? . . .	109
3.6.3	Allgemeine globale Vorstellungen Lernender über die Natur der Physik	115
3.6.4	Weitere Vorstellungen Lernender über die Natur der Physik	117
3.6.5	Proximale und distale Vorstellungen über die Natur der Physik	121
3.7	Vorstellungen Lernender zur Rolle der Mathematik in der Physik .	122
3.7.1	Ergebnisse aus Untersuchungen zu Vorstellungen über die Natur der Physik	122

3.7.2	Varianten der Anwendung von Mathematik in der Physik beim Problemlösen als Manifestationen von Vorstellungen . . .	127
3.8	Zusammenfassung und Fazit	137
4	Mathematische Repräsentationsformen in der Physik	141
4.1	Kognitionswissenschaftliche Grundlagen	142
4.2	Grafische Repräsentationen: Diagramme	145
4.3	Symbolische Repräsentationsformen: algebraische Notation	146
4.4	Wechsel zwischen Repräsentationsformen: Beispiel Funktionen	150
4.5	Zusammenfassung	152
II	Empirische Untersuchung: Planung, Durchführung, Ergebnisse	153
5	Vorstellungen zur Rolle der Mathematik in der Physik empirisch erfassen	155
5.1	Erste Annäherung	155
5.2	Die Vor- und Pilotstudie	156
5.2.1	Vorstudie	157
5.2.2	Pilotstudie	157
5.3	Die Hauptstudie	159
5.3.1	Inhalte der Hauptstudie	159
5.4	Forschungsfragen	161
6	Auswertung der offenen Fragen	165
6.1	Datenerhebung und -aufbereitung	165
6.1.1	Reliabilität der Kategorisierungen	168
6.2	Ergebnisse	172
6.2.1	Ergebnisse der Befragung – „Was ist Physik?“	172
6.2.2	Ergebnisse der Befragung – „Welche Rolle spielt die Mathe- matik in der Physik?“	177
6.2.3	Zusammenfassung und Diskussion	186
6.3	Methodenkritik	188
7	Skalenkonfirmation und die Überprüfung ihrer Gruppeninvarianz	191
7.1	Strukturgleichungsmodelle	192
7.1.1	Allgemeine Grundlagen	192
7.1.2	Mehrgruppenanalyse zur Überprüfung der Messäquivalenz	197
7.1.2.1	Arten der Messäquivalenz	198
7.1.2.2	Auswirkungen fehlender Messäquivalenz	199
7.1.2.3	Formen partieller Invarianz	202
7.1.2.4	Vorgehen und Kriterien	203
7.2	Ein Beispiel: Selbsterleben im Umgang mit Mathematik	204
7.2.1	Untersuchung der SE-F-Skala	206

7.2.2	Untersuchung der SE-D-Skala	207
7.3	Zusammenfassung: Übersicht über Qualität und Eignung der Skalen	209
7.3.1	Überblick über geeignete Skalen	212
7.3.2	Rückblick und Zwischenfazit	215
8	Auswertung der Skalen: Gruppenvergleiche	217
8.1	Datenaufbereitung und Datenauswertung	217
8.2	Ein Beispiel: Selbsterleben im Umgang mit Mathematik	223
8.2.1	Zusammenfassung	227
8.3	Im Fokus: Innersubjektfaktor Repräsentationsform – grafische vs. symbolische Darstellungen	228
8.4	Im Fokus: Innersubjektfaktor Konstruktebene – proximale vs. distale Vorstellungen	232
8.5	Im Fokus: Zwischensubjektfaktor Geschlecht	234
8.6	Im Fokus: Zwischensubjektfaktor Personengruppe	238
8.7	Im Fokus: Zwischensubjektfaktor Leistungsextremgruppe	241
9	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick	247
9.1	Ergebnisse der Inhaltsanalyse	248
9.2	Ergebnisse der Skalenauswertungen: Funktionen der Mathematik in der Physik	249
9.3	Ergebnisse der Skalenauswertungen: epistemologische Vorstellungen	253
9.4	Forschungsfragen und Forschungsantworten	254
9.5	Ausblick	255
A	Anhang: Erhebungsinstrumente	259
A.1	Leitfaden für die Interviews im Rahmen der Pilotstudie	259
A.2	Fragebogen der Pilotstudie	260
A.3	Verzeichnis der verwendeten (potenziellen) Skalenbezeichnungen in dieser Arbeit	265
A.4	Fragebögen der Hauptstudie	266
A.4.1	Version für Schülerinnen und Schüler – Teil 1	266
A.4.2	Version für Schülerinnen und Schüler – Teil 2	269
A.4.3	Version für Studierende	275
B	Ergänzung zu Kapitel 6: Inhaltsanalyse der offenen Fragestellungen	283
B.1	Kodierleitfaden – „Was ist Physik?“	283
B.1.1	Beschreibung der Kategorien	283
B.1.1.1	Überbegriffe	283
B.1.1.2	Hilfsmittel	283
B.1.1.3	Inhalte	284
B.1.1.4	Eigenschaften	287
B.1.1.5	Unterricht	291

	B.1.1.6	Tätigkeiten	291
	B.1.1.7	komplexe Aussagen	294
	B.1.1.8	Ausschuss	294
B.1.2		Kodierregeln	294
B.1.3		Kodierbeispiele	295
	B.1.3.1	Beispiel 1: „enthält/ beschreibt Naturphänomene“	295
	B.1.3.2	Beispiel 2: „logisch und nachvollziehbar“	295
	B.1.3.3	Beispiel 3: „Formeln, Formeln, Formeln“	296
	B.1.3.4	Beispiel 4: „viele Experimente“	296
	B.1.3.5	Beispiel 5: „wichtige Wissenschaft“	296
	B.1.3.6	Beispiel 6: „Physik ist eine wichtige Wissenschaft“	296
	B.1.3.7	Beispiel 7: „Physik ist wichtig“	296
	B.1.3.8	Beispiel 8: „wichtig für Wissenschaft“	296
	B.1.3.9	Beispiel 9: „Arbeit mit Formeln und Modellen“ . .	297
	B.1.3.10	Beispiel 10: „Mathematische Beschreibung der Natur“	297
	B.1.3.11	Beispiel 11: „Alltagsdinge logisch herleiten/ erklären“	297
	B.1.3.12	Beispiel 12: „Interpretation des Geschehens, der Beobachtungen“	297
	B.1.3.13	Beispiel 13: „Formeln zum Berechnen physikal. Größen“	298
	B.1.3.14	Beispiel 14: „elektrischer Strom (z. B. Prinzip Glühlampe)“	298
	B.1.3.15	Beispiel 15: „Allgemeinwissen (bei physikalischen Naturgesetzen)“	298
	B.1.3.16	Beispiel 16: „Bildentstehung → Linsen“	298
	B.1.3.17	Beispiel 17: „Lehre über das Zusammenspiel von Natur und Mensch“	299
	B.1.3.18	Beispiel 18: „Lehre der unbelebten Natur“	299
	B.1.3.19	Beispiel 19: „quantisiert Phänomene“	299
B.2		Kodierleitfaden – „Welche Rolle spielt die Mathematik in der Physik?“	300
B.2.1		Beschreibung der Kategorien	300
	B.2.1.1	Tätigkeiten	300
	B.2.1.2	Auswirkungen	305
	B.2.1.3	mathematische Inhalte	308
	B.2.1.4	abstrakte Beziehungsaussagen	309
	B.2.1.5	subjektive Beurteilungen	310
	B.2.1.6	Ausschuss	311
B.2.2		Kodierregeln	311
B.2.3		Kodierbeispiele	312
	B.2.3.1	Beispiel 1: „Formeln, Formeln, Formeln“	312
	B.2.3.2	Beispiel 2: „für das Umstellen von Formeln wichtig“	312
	B.2.3.3	Beispiel 3: „Umstellen und Lösen der Formeln“ . .	312

B.2.3.4	Beispiel 4: „Mathematische Zusammenhänge helfen beim Lösen von Aufgaben (z.B. Pythagoras, Gleichungssysteme, siehe Tafelwerk)“	313
B.2.3.5	Beispiel 5: "Funktionen → Darstellung von Verläufen (Bsp.: Schwingung)"	313
B.2.3.6	Beispiel 6: „Formeln, um etwas zu berechnen“	313
B.2.3.7	Beispiel 7: „Formeln berechnen“	314
B.2.3.8	Beispiel 8: „mit Formeln wird vieles erklärt“	314
B.2.3.9	Beispiel 9: „in der Physik müssen Formeln aufgestellt/ umgestellt und berechnet werden“	314
B.2.3.10	Beispiel 10: „Umstellen von Formeln/ Berechnung“	315
B.2.3.11	Beispiel 11: „Beschreiben physikalischer Vorgänge → durch mathematische Formeln“	315
B.2.3.12	Beispiel 12: „Zum Formeln umstellen und Rechnen → weniger wichtige Rolle“	315
B.2.3.13	Beispiel 13: „Mathematik wird in der Physik benutzt, um Physik besser darzustellen, also genauer und verständlicher zu machen“	316
B.2.3.14	Beispiel 14: „Umrechnung von Einheiten und Größen“	316
B.2.3.15	Beispiel 15: „wird benötigt um Formeln auf- und umzustellen“	316
B.2.3.16	Beispiel 16: „Hilfe zum Verstehen der Zusammenhänge“	317
B.2.3.17	Beispiel 17: „Grundlage für Berechnungen“	317
B.2.3.18	Beispiel 18: „Grundlage für Physik“	317
B.2.3.19	Beispiel 19: „Graphen/ Diagramme erstellen/ auswerten“	317
B.2.3.20	Beispiel 20: „Letztlich gehen physikalische Gesetze auch auf Experimente zurück, welche ähnliche Ergebnisreihen zeigten. Diese wurden durch Formeln verallgemeinert.“	318
B.3	Intercoderreliabilitäten – „Was ist Physik?“	319
B.4	Intercoderreliabilitäten – „Welche Rolle spielt die Mathematik in der Physik?“	322
B.5	Häufigkeitsverteilung – „Was ist Physik?“	325
B.6	Häufigkeitsverteilung – „Welche Rolle spielt die Mathematik in der Physik?“	328
B.7	Häufigkeitsverteilung – Leistungskontrastgruppen	331
C	Ergänzung zu Kapitel 7: Skalenkonfirmation und Gruppeninvarianz	335
C.1	Selbsterleben im Umgang mit Mathematik	335

C.2	Kognitive Entlastung durch Mathematik	335
C.2.1	Untersuchung der KE-D-Skala	335
C.2.2	Untersuchung der KE-F-Skala	338
C.3	Exaktheit durch die Verwendung von Mathematik	340
C.3.1	Untersuchung der Ex-allg-Skala	340
C.3.2	Untersuchung der Ex-Begr-Skala	343
C.4	Kommunikation mit Hilfe der Mathematik	345
C.4.1	Untersuchung der Komm-D,F-Skalen	347
C.4.2	Die distalen Komm-D,F-Skalen	348
C.4.2.1	Die proximalen Komm-Skalen	349
C.4.3	Untersuchung der Komm-Eff-Skalen	351
C.4.3.1	Die Komm-Eff-d-Skala	351
C.4.3.2	Die Komm-Eff-p-Skala	353
C.5	Objektivität durch die Verwendung von Mathematik	354
C.6	Ästhetik mathematischer Darstellungen	358
C.6.1	Untersuchung der Aest-D-Skala	358
C.6.2	Untersuchung der Aest-F-Skala	359
C.7	Epistemologische Vorstellungen zur Rolle der Mathematik in der Physik	360
C.7.1	Beweisbarkeit physikalischer Gleichungen	360
C.7.2	Verwendung und Nutzen physikalischer Gleichungen	362
C.7.3	Erkenntnisgewinnung mit Hilfe von Gleichungen	364
C.7.4	Naiv realistische Auffassung physikalischer Gleichungen	366
C.7.5	Zeitliche Veränderung physikalischer Gleichungen	369
C.8	Zusammenfassung	371
C.9	Faktorladungen der einzelnen Items	372
D	Ergänzung zu Kapitel 8: Skalenauswertung (thematisch geordnet)	375
D.1	Selbsterleben im Umgang mit Mathematik	375
D.2	Kognitive Entlastung durch Mathematik	375
D.2.1	Zusammenfassung	379
D.3	Exaktheit durch die Verwendung von Mathematik	379
D.3.1	Allgemeine Exaktheit durch die Verwendung von Mathematik	379
D.3.2	Exaktheit durch Begriffsexplikation	381
D.3.3	Zusammenfassung	382
D.4	Kommunikation mit Hilfe der Mathematik	383
D.4.1	Proximale vs. distale Kommunikationsfunktion mit Hilfe gra- fischer Darstellungen	383
D.4.2	Proximale Kommunikationsfunktion von grafischen Darstel- lungen vs. physikalischen Gleichungen	387
D.4.3	Proximale vs. distale Kommunikationseffizienz bei Verwen- dung von grafischen Darstellungen	390

- D.4.4 Proximale vs. distale Kommunikationseffizienz bei Verwendung von physikalischen Gleichungen 394
- D.4.5 Proximale Kommunikationseffizienz bei Verwendung von grafischen Darstellungen vs. physikalischen Gleichungen 397
- D.4.6 Distale Kommunikationseffizienz bei Verwendung von grafischen Darstellungen vs. physikalischen Gleichungen 398
- D.4.7 Zusammenfassung 399
 - D.4.7.1 Kommunikation: allgemein 399
 - D.4.7.2 Kommunikation: Kommunikationseffizienz 401
- D.5 Objektivität bei der Verwendung mathematischer Darstellungen 402
 - D.5.1 Zusammenfassung 404
- D.6 Ästhetik mathematischer Darstellungen 405
 - D.6.1 Zusammenfassung 407
- D.7 Epistemologische Vorstellungen 407
 - D.7.1 Beweisbarkeit physikalischer Gleichungen in der Physik 409
 - D.7.2 Erkenntnisgewinnung durch Gleichungen im Physikunterricht 410
 - D.7.3 Naiv realistische Auffassung von Gleichungen 410
 - D.7.4 Zeitliche Veränderung physikalischer Gleichungen 414
 - D.7.5 Zusammenfassung 414

- Abbildungsverzeichnis 419**
- Tabellenverzeichnis 421**
- Literaturverzeichnis 427**